

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE GENERADOR EÓLICO DE 500W DE
POTENCIA PARA VELOCIDAD DE VIENTO DE 8 m/s.**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PABLO GUSTAVO CARDENAS AQUINO

LIMA – PERÚ

2013

CONTENIDO

Prologo

1. Introducción

1.1. Antecedentes

1.2. Objetivos

1.3. Justificación

1.4. Alcance

2. Diseño de Modelo a escala del Generador

2.1 Diseño del Rotor del Modelo a Escala del Aerogenerador.

2.2 Diseño del Modelo del Generador Eléctrico

3. Metodología de Experimentación

3.1 Marco Teórico

3.2 Fases de un Experimento

3.3 Metodología Aplicada al Proyecto

4. Puesta a Punto de Modelo a Escala y Pruebas

4.1 Pruebas del Modelo de Generador Eléctrico

4.2 Pruebas del Modelo de Generador Eólico

5. Análisis de Resultados

6. Dimensionamiento del Prototipo de Generador Eólico de 500W

6.1 Diseño del Rotor del Prototipo Aerogenerador.

6.2 Diseño del modelo del Generador Eléctrico.

7. Puesta a Punto y Pruebas en el Prototipo.

7.1 Pruebas del Prototipo de Generador Eléctrico.

7.2 Pruebas del Prototipo de Generador Eólico.

8. Resultados

Conclusiones

Bibliografía

Anexos

PROLOGO

Este proyecto está dirigido a la construcción de un prototipo de generador eólico de 500 W de potencia para velocidad de viento de 8 m/s., con un generador eléctrico de flujo axial de imanes permanentes, el mismo que nos permita generar una potencia suficiente para los consumos básicos eléctricos.

El desarrollo de la energía eólica es la fuente alternativa de energía que viene adquiriendo mayor importancia en el país desde hace muchos años, mayormente por que es competitiva, especialmente en las zonas rurales donde existe demanda de energía en pequeñas cantidades.

El presente trabajo trata del diseño y construcción de un generador eléctrico de flujo axial con imanes permanentes, cuyo comportamiento magnético es adecuado para este tipo de generadores.

El primer capítulo es la introducción en el cual se menciona el propósito del presente trabajo, el mismo que se resume los diferentes, procesos y soluciones necesarias para la construcción de un prototipo de generador eólico de 500 W.

En el segundo capítulo, contiene el Diseño de Modelo a escala del Generador Eólico y los requerimientos iniciales, así como el Diseño del Rotor del Modelo a Escala del Aerogenerador y el Diseño del Modelo del Generador Eléctrico.

En el tercer capítulo, revisión y análisis de las leyes del electromagnetismo, conocida como ecuaciones de Maxwell, donde cada una de ellas relata localmente

el comportamiento eléctrico y magnético. Deduciendo de esta manera el Método y Fundamento teórico de Experimentación.

En el cuarto capítulo es la puesta a punto de modelo a escala y pruebas donde se puede percibir el proceso construcción del modelo de generador eléctrico. Así como la simulación de pruebas del modelo de generador eléctrico y las pruebas del modelo de generador eólico.

En el quinto capítulo. Tenemos Análisis de Resultados De la prueba del generador eléctrico y De las pruebas del modelo de generador eólico

En el sexto capítulo, el Dimensionamiento del Prototipo de Generador Eólico de 500W de Potencia. Así como los requerimientos iniciales. Así mismo tenemos el Diseño del Rotor del Prototipo Aerogenerador, Diseño de perfiles de alabe según NACA 4412 y el Diseño del modelo del Generador Eléctrico.

El séptimo y octavo capítulo, tenemos la Puesta a punto y Pruebas del Prototipo. Construcción e instalación del prototipo, Pruebas del Prototipo de Generador Eléctrico y Generador Eólico y por consiguiente el resultado de los mismos.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La organización INTERMEDIATE TECHNOLOGY DEVELOPMENT GROUP - ITDG Soluciones Prácticas, se propuso desarrollar un proyecto, en el cual se procuraba proveer de energía eléctrica a baja escala a poblados muy lejanos de las ciudades, por lo cual se pensó en desarrollar un sistema de energía eólica, con generadores eólicos de 500 W de potencia.

La dirección del proyecto me encargó desarrollar un prototipo de generador eólico de 500 W de potencia, para que provea de energía a una velocidad de viento de 8m/s.

El equipo deberá de ser de una fabricación sencilla el cual requiera un mínimo de mantenimiento, y en caso sea necesario una reparación, se podrá realizar con equipamiento y materiales encontrados localmente.

1.1. ANTECEDENTES

La organización ITDG, ha venido desarrollando proyectos de electrificación rural con generadores eólicos de 100W de potencia, los cuales han sido desarrollados empíricamente por la organización. Por lo que no cuentan con un sustento teórico suficiente como para desarrollar un modelo de generador eólico de 500W de potencia.

Actualmente se cuenta con generadores eólicos en el mercado nacional e internacional, que suministren esta cantidad de energía, pero estos necesitan de

mantenimiento continuo por parte de personal calificado, para su buen desempeño, lo cual no sería posible, si lo que se pretende es proveer de energía a zonas alejadas de los centros urbanos donde el acceso por parte de personal calificado y equipamiento especializado para este trabajo sería muy complicado.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General.

Construir un prototipo de Generador Eólico de 500W de potencia utilizando una velocidad de viento de 8 m/s, con un generador eléctrico de flujo axial de imanes permanentes.

1.2.2. Objetivos Específicos.

Los objetivos específicos de este trabajo son:

- Calcular los parámetros de diseño necesarios para la construcción de un generador eólico de 500W de potencia.
- Calcular los parámetros necesarios para construir un generador eléctrico de flujo axial de imanes permanentes que genere 500W bajo las condiciones de uso del aerogenerador.
- Establecer las curvas características del aerogenerador y del generador eléctrico.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El trabajo se realizó por la adjudicación de un proyecto de electrificación rural realizada por la organización ITDG – Soluciones Prácticas. La dirección del

proyecto me solicitó el diseño y la construcción de un prototipo funcional de Generador Eólico de 500W, bajo las condiciones climáticas específicas, velocidad de viento de 8 m/s.

En el **Anexo A** se adjunta documentos.

1.4. ALCANCE

El alcance principal de este proyecto es lograr la construcción de un Aerogenerador de 500W de potencia, para una velocidad de viento regular de 8 m/s y con la capacidad suficiente como para cargar una batería de 24V. Para lo cual se seguirá los siguientes pasos:

Construcción de Modelo a Escala de Generador Eólico.

- **Diseño de Modelo a escala de la turbina (Rotor) del Generador Eólico**
 - Se realiza el dimensionamiento de los álabes para un modelo a escala de generador eólico que será utilizado para obtener los parámetros de diseño para la turbina (rotor) del prototipo de generador eólico de 500W de potencia.
- **Diseño del Modelo a escala de Generador Eléctrico.**
 - Se realiza el dimensionamiento del modelo a escala del generador para obtener los parámetros de diseño del prototipo de generador eléctrico de 500W de potencia.
- **Pruebas del Modelo a escala de Generador Eléctrico.**
 - Se obtienen los parámetros de diseño del modelo a escala de generador eléctrico, que servirán de base para el diseño del generador eléctrico de 500W de potencia.
- **Pruebas del Modelo a escala de Generador Eólico en Túnel de Viento.**

- Se obtienen los parámetros de diseño del modelo a escala de generador eólico, que servirán de base para el diseño del Generador Eólico de 500W de potencia.

Construcción de prototipo de Generador Eólico de 500W de potencia.

- Diseño de Rotor del prototipo de Generador Eólico de 500W de potencia.
 - Se realiza el dimensionado del prototipo final del rotor del generador eólico, con los parámetros obtenidos en las pruebas con el modelo a escala del generador eólico.
- Diseño de prototipo de Generador Eléctrico de 500W de potencia.
 - Se realiza el dimensionado del prototipo final del generador eléctrico con los parámetros obtenidos en las pruebas con el modelo a escala del generador eléctrico.
- Pruebas de prototipo de Generador Eléctrico de 500W de potencia.
 - Se obtienen los parámetros de diseño del prototipo de generador eólico de 500W de potencia, para verificar la funcionalidad del equipo.
- Pruebas en Campo del prototipo de Generador Eólico de 500W de potencia.
 - Se obtienen los parámetros de diseño del prototipo de generador eólico de 500W de potencia, para verificar la funcionalidad del equipo.

En el presente trabajo no se presentará el estudio de resistencia mecánica de los materiales de los álabes y/o generador eléctrico.

En el presente trabajo no se realiza el estudio de los componentes auxiliares del generador eólico, como el sistema de dirección (Cola), Análisis y diseño de la torre de soporte.

En el presente trabajo no se realiza el diseño del sistema electrónico del generador eólico.

CAPITULO 2

DISEÑO DE MODELO A ESCALA DEL GENERADOR

Requerimientos iniciales.

Velocidad del viento= 8 m/s

Potencia requerida= 50W

Densidad del viento = 1,2 kg/m³

2.1. Diseño del Rotor del Modelo a Escala del Aerogenerador.

Basado en las tesis presentadas, se eligió el perfil de alabe NACA 4412, con el cual se desarrollo el diseño de alabes del rotor del aerogenerador.

Tabla 2.01.
Datos Iniciales de Diseño- Diseño del Rotor

Número de álabes	Z	3
Potencia Eléctrica	P (Watt)	50
Velocidad del viento	V (m/s)	8
Lamnda = U/V	λ	6
Velocidad tangencial	U (3 palas)	64
RPM de la turbina eólica	N (3 palas)	916.73
Angulo de ataque	α	6
Angulo beta	β	15
Eficiencia del generador	η_g	0.8
Eficiencia de la transmisión	η_t	1
Densidad del aire	$\rho(\text{kg/m}^3)$	1.2
Cocficiente de potencia	c_p (3 palas)	0.3
Area de trabajo	A	0.68
Radio de la turbina (Calculado)	R (3 palas)	0.46
Radio de la Turbina (Diseño)	R(3 palas)	0.5
Radio del generador (m)	r	0.2

Lamnda (λ): Relación de velocidad del viento y velocidad tangencial de los alabes, depende del perfil, y construcción de los alabes. Se asume un valor de 6 para este caso.

Eficiencia del Generador (η_g): depende del diseño y construcción del generador eléctrico. Se asume para este caso 0,8.

Eficiencia de transmisión (η_t): en este caso la transmisión es directa, por lo que se toma un valor de 1.

Coeficiente de potencia (c_p): coeficiente de potencia, depende del tipo de aerogenerador y la cantidad de alabes que se considera para el diseño, para este caso se trata de un aerogenerador de 3 alabes, por lo que el factor de potencia es 0,5

Angulo de ataque (α): Angulo de ataque del viento sobre la superficie de los alabes, de diseño se toma 6° .

Angulo β : Angulo de inclinación de los alabes.

Ecuaciones para el cálculo.

Potencia Mecánica obtenida del viento

$$P_m = \frac{1}{2} \cdot (\rho \cdot v^3 \cdot A) \quad (2.1)$$

Potencia Aprovechable Máxima.

Basados en el teorema de Betz la máxima potencia aprovechable (P_{max}) será:

$$P_{max} = \frac{16}{27} \left[\frac{1}{2} \cdot (\rho \cdot v^3 \cdot A) \right] \quad (2.2)$$

Potencia Disponible.

Considerando el coeficiente de potencia (C_p), para nuestro caso hemos tomado $C_p = 0.5$, así como la eficiencia del generador (η_g) y la eficiencia de transmisión (η_t)

Potencia Eléctrica disponible obtenida del viento será:

$$P = cp \cdot \left(\frac{16}{27} \left[\frac{1}{2} \cdot (\rho \cdot v^3 \cdot A) \right] \right) \cdot \eta g \cdot \eta t \quad (2.3)$$

Velocidad tangencial.

$$U = \lambda \cdot v \quad (2.4)$$

Velocidad Angular del rotor (RPM)

$$N = \frac{60 \cdot U}{2 \cdot \pi \cdot R} \quad (2.5)$$

Área de trabajo (A).

$$A = \frac{2.27 \cdot P}{16 \cdot \rho \cdot v^3 \cdot cp \cdot \eta g \cdot \eta t} \quad (2.6)$$

Radio de la turbina (R)

$$R = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (2.7)$$

Se obtiene el siguiente cuadro, de resultados teóricos:

Tabla 2.2.
Potencia Eléctrica y Mecánica en Función de Viento - Teórica

Velocidad del Viento	P_Mecánica	P_Electrica
(m/s)	W	W
3	6	4
4	13	9
5	26	18
6	44	31
7	71	49
8	105	74
9	150	105
10	206	144
11	274	192
12	356	249

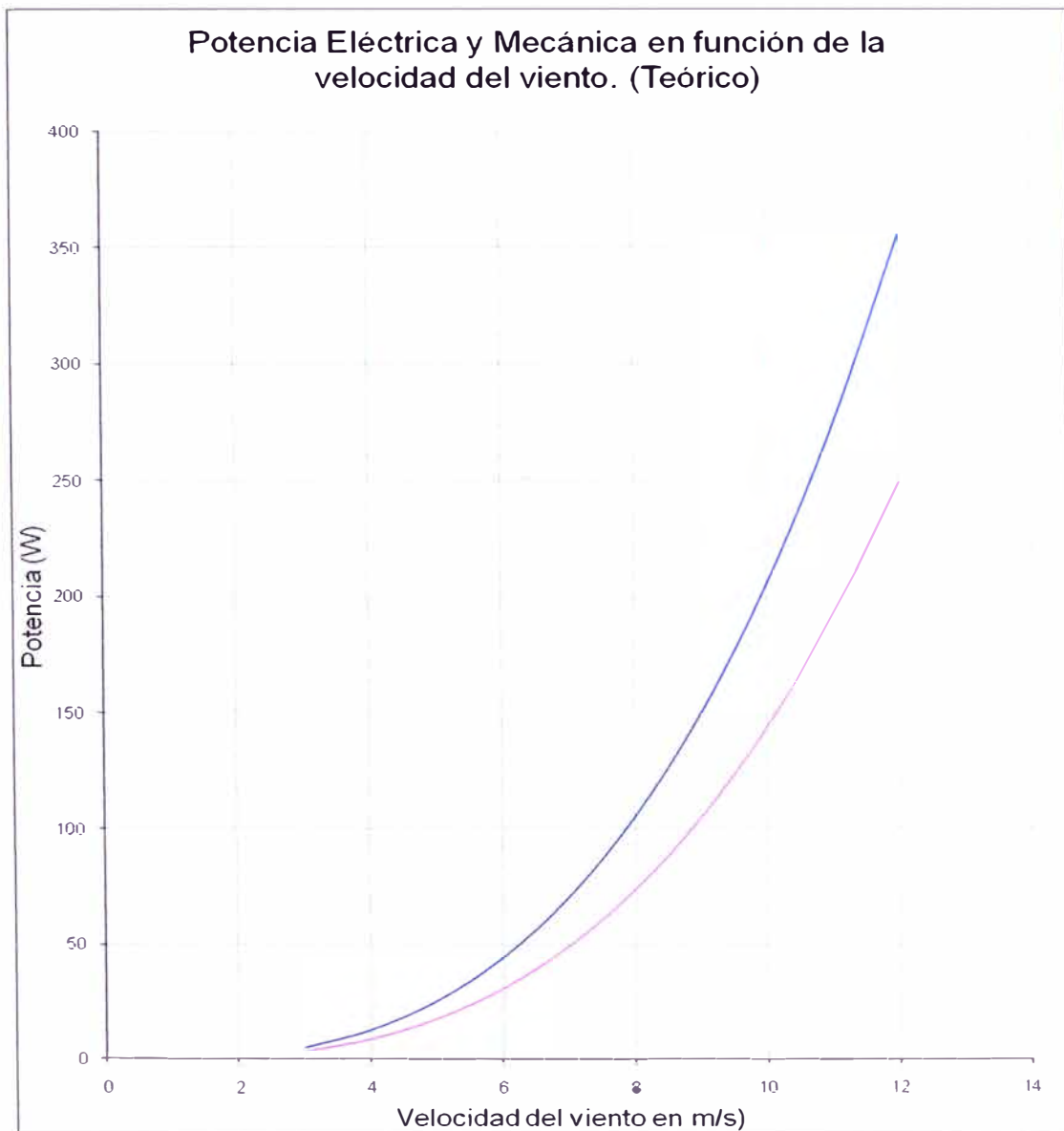


Gráfico 2.1
Curva teórica de la potencia Mecánica y Eléctrica en Función de la Velocidad del Viento, Para el Modelo de 50W

Se observa que para los parámetros de diseño escogidos se obtiene una potencia eléctrica aproximada de 50W a 8m/s de viento.

Diseño de perfiles de alabe según NACA 4412:

Datos de diseño:

$$\lambda=8$$

$$r = 0.5\text{m (para diseño)}$$

Tabla 2.3
Angulo de Ataque y Largo de Sección de Alabe en Función del Radio del Rotor

r	λr	ϕ	$\phi(\text{rad})$	B	C
0.025	0.400	45.47	0.794	40.47	0.07
0.050	0.800	34.23	0.597	29.23	0.08
0.075	1.200	26.54	0.463	21.54	0.07
0.100	1.600	21.34	0.372	16.34	0.06
0.125	2.000	17.71	0.309	12.71	0.06
0.150	2.400	15.08	0.263	10.08	0.05
0.175	2.800	13.10	0.229	8.10	0.04
0.200	3.200	11.57	0.202	6.57	0.04
0.225	3.600	10.35	0.181	5.35	0.03
0.250	4.000	9.36	0.163	4.36	0.03
0.275	4.400	8.54	0.149	3.54	0.03
0.300	4.800	7.85	0.137	2.85	0.03
0.325	5.200	7.26	0.127	2.26	0.02
0.350	5.600	6.75	0.118	1.75	0.02
0.375	6.000	6.31	0.110	1.31	0.02
0.400	6.400	5.92	0.103	0.92	0.02
0.425	6.800	5.58	0.097	0.58	0.02
0.450	7.200	5.27	0.092	0.27	0.02
0.475	7.600	5.00	0.087	0.00	0.02
0.500	8.000	4.75	0.083	-0.25	0.02

Se obtiene B y C a diferentes secciones a un radio "r" de los alabes.

B: Largo del Alabe a un radio r

C: Ancho del alabe a un radio r

Se obtiene el siguiente gráfico del ancho del alabe en función del radio.

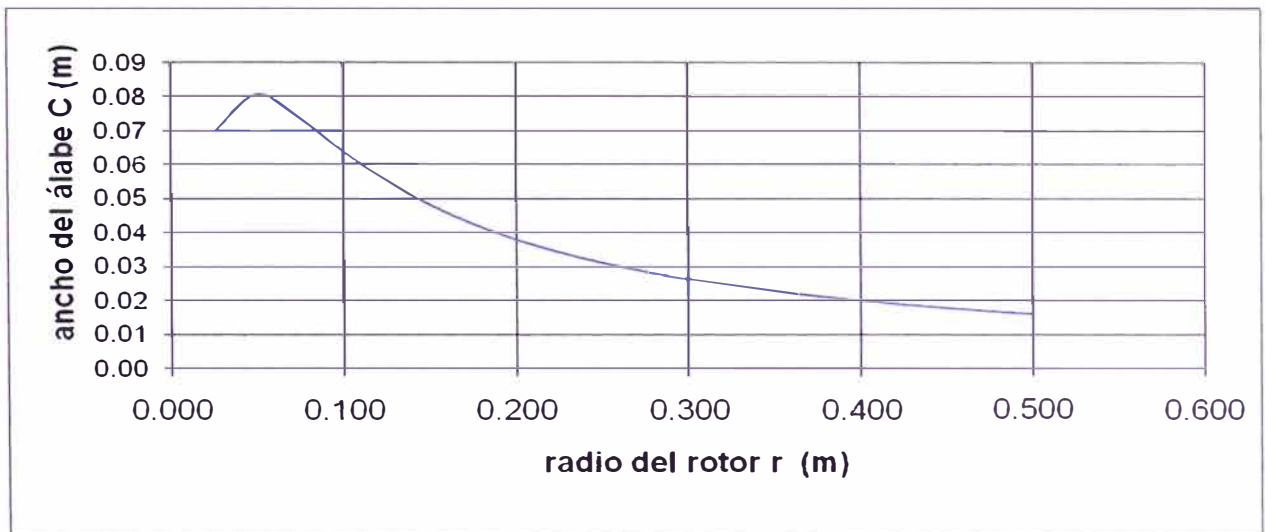


Gráfico 2.2
Ancho de Sección de Alabe en Función del Radio del Rotor
Para el Modelo de 50W

Como el perfil es demasiado complejo para la construcción debido a la irregular variación del ancho del alabe a radios cercanos al centro del rotor. Es necesario una linealización por lo que se toman dos puntos de referencia a $r=0.25$ y $r=0.45$

Puntos de linealización

0.25	1.333	24.580	0.429	19.580	0.211
0.45	2.400	15.080	0.263	10.080	0.144

Con los puntos de linealización modificados se procede a calcular los parámetros para el resto de puntos del alabe.

Tabla 2.4
Angulo de Ataque y Largo de Sección de Alabe en Función del Radio del Rotor - Después de la linealización
Para el Modelo de 50W

r	$\Phi(\text{rad})$	Φ	B	C
0.025	0.4048	23.193	18.19	0.29
0.050	0.3965	22.715	17.72	0.28
0.075	0.3881	22.238	17.24	0.27
0.100	0.3798	21.761	16.76	0.26
0.125	0.3715	21.284	16.28	0.25
0.150	0.3631	20.807	15.81	0.24
0.175	0.3548	20.329	15.33	0.24
0.200	0.3465	19.852	14.85	0.23
0.225	0.3382	19.375	14.37	0.22
0.250	0.3298	18.898	13.90	0.21
0.275	0.3215	18.420	13.42	0.20
0.300	0.3132	17.943	12.94	0.19
0.325	0.3048	17.466	12.47	0.19
0.350	0.2965	16.989	11.99	0.18
0.375	0.2882	16.512	11.51	0.17
0.400	0.2799	16.034	11.03	0.16
0.425	0.2715	15.557	10.56	0.15
0.450	0.2632	15.080	10.08	0.14
0.475	0.2549	14.603	9.60	0.14
0.500	0.2465	14.125	9.13	0.13

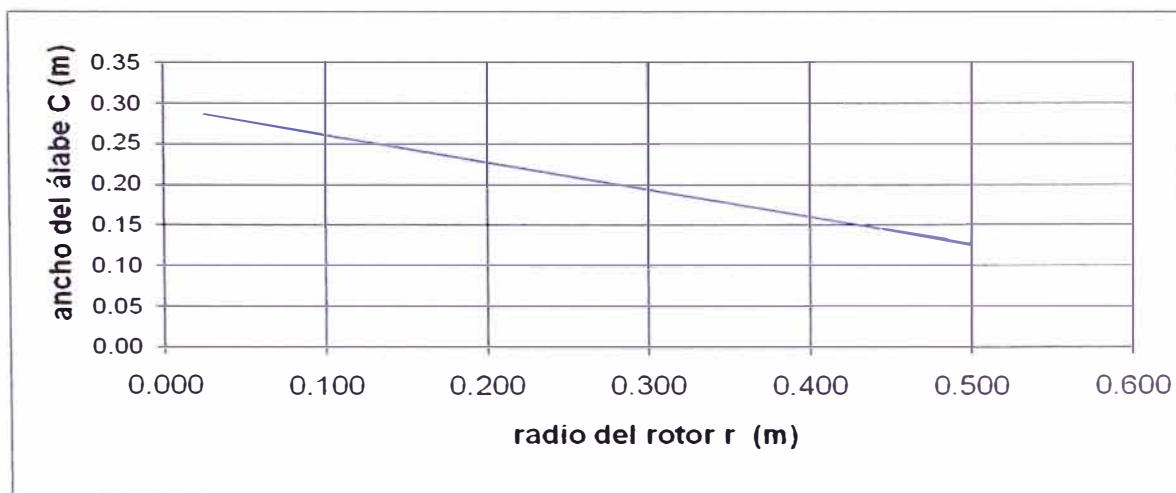


Gráfico 2.3
Ancho de Sección de Alabe en función del radio del Rotor
Después de la linealización
Para el Modelo de 50W

Siguiendo el perfil NACA 4412.

Tabla 2.5
Parámetros de Diseño según el perfil NACA 4412

Shape NACA 4412

	X	Y(+)	Y(-)
0	0.00	0.00	0.00
1	1.25	2.44	-1.43
2	2.50	3.39	-1.95
3	5.00	4.73	-2.49
4	7.50	5.76	-2.74
5	10.00	6.59	-2.86
6	15.00	7.89	-2.88
7	20.00	8.80	-2.74
8	25.00	9.41	-2.50
9	30.00	9.76	-2.26
10	40.00	9.80	-1.80
11	50.00	9.19	-1.40
12	60.00	8.14	-1.00
13	70.00	6.69	-0.65
14	80.00	4.89	-0.39
15	90.00	2.71	-0.22
16	95.00	1.47	-0.16
17	100.00	0.13	-0.13
18	100.00		0.00

Se procede a dimensionar los perfiles a un radio r .

Los cuadros con las dimensiones de los perfiles se muestran en el **Anexo B**

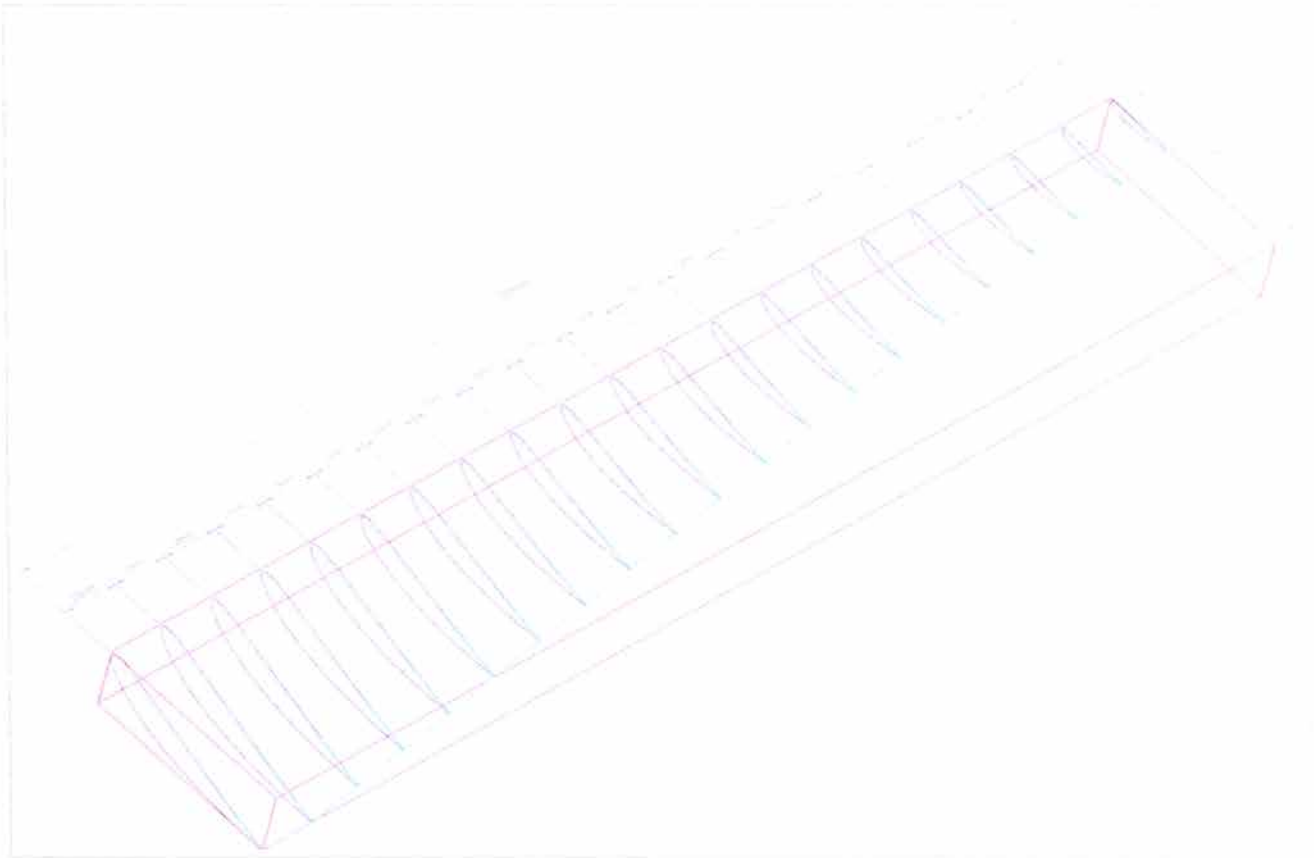


Gráfico 2.4
Vista Isométrica de Alabe, Siguiendo los Perfiles Obtenidos.
Diseño final de modelo.

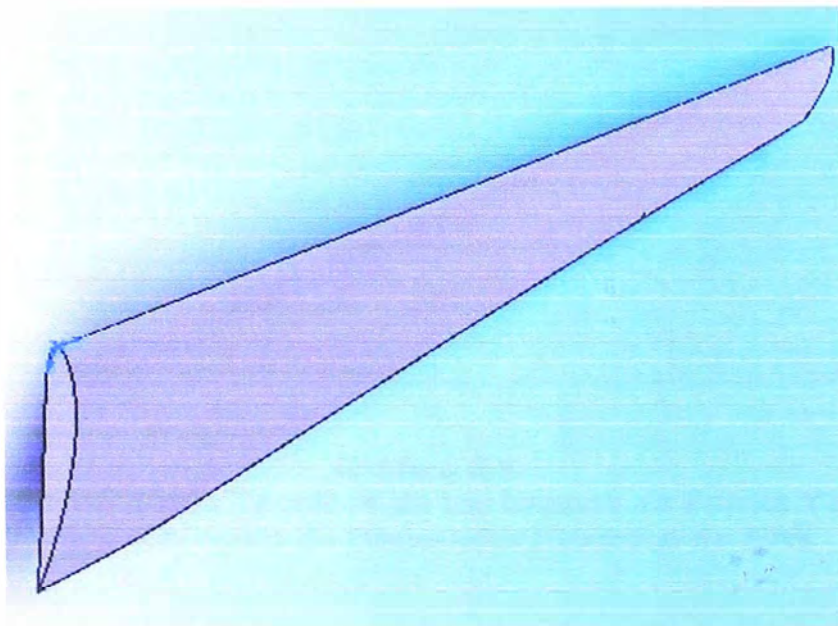


Gráfico 2.5
Modelo en Solid Work del Alabe

2.2. Diseño del Modelo del Generador Eléctrico

Se observa en la parte anterior que se puede obtener una velocidad de giro máxima de 1222 RPM, por lo que se tomará como diseño una velocidad de giro de 800 RPM.

Con este generador se deberá cargar una batería de 12 V, por lo que el voltaje de diseño será de 13V.

Para el prototipo se ha escogido imanes de Ferrita Y30, cuya curva característica es.

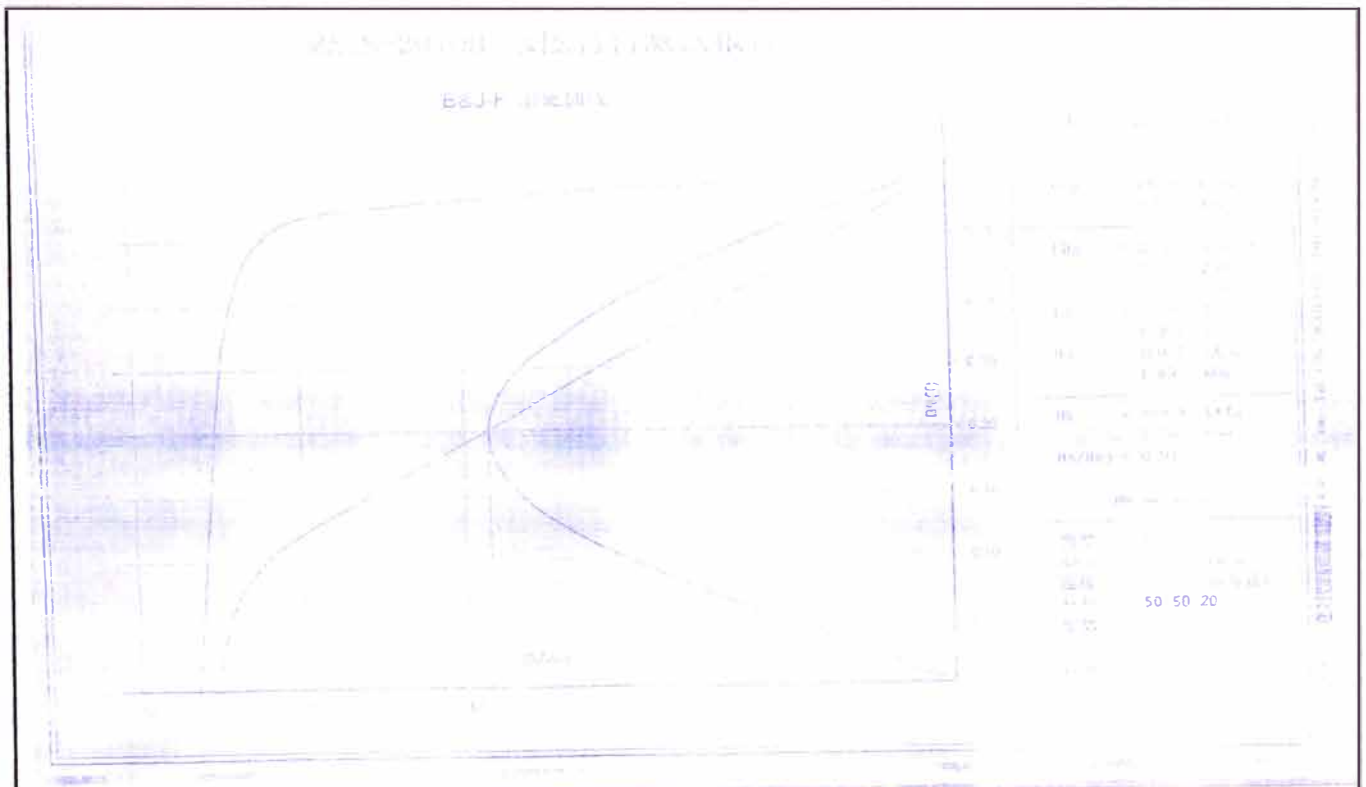


Gráfico 2.6
Hoja de Datos Técnicos de los Imanes de Ferrita Y30
Para el Modelo de Generador Eléctrico de 50W

Generador Eléctrico

Es del tipo axial de imanes permanentes y esta diseñado para generar desde velocidades muy bajas de giro, permitiendo de este modo un acoplamiento directo turbina – generador, y por lo tanto, obviar las pérdidas de los sistemas de transmisión y sus respectivos costos. Así mismo permite una mejor confiabilidad ya que evita el uso de piezas que requieren de continuo mantenimiento.

Las especificaciones técnicas para el diseño han sido tomadas en función de las características de la turbina eólica. El rotor está compuesto por un conjunto de imanes de alta calidad, dispuestos convenientemente, alrededor de dos placas circulares y paralelas de un material adecuado, con un sistema que permite el giro del rotor, mientras que el estator es fabricado de espiras cubiertas de alguna resina, para mantener la posición de las bobinas, dimensionadas adecuadamente y que van unidas al eje.

La generación es en corriente alterna (CA) trifásica que luego será transformada a corriente continua (DC) a través de algún sistema electrónico, como un puente de diodos, de manera que la energía pueda ser utilizada de manera más eficiente.

Característica del Generador

Generador Triásico Conexión Estrella

Doble disco de Polos, de imanes de Ferrita Y30

Disco de Bobinados único

Número de polos: 8

Velocidad promedio del rotor: 800 RPM

Número de bobinas:	6
Voltaje de Salida:	12V Trifásico
Potencia Nominal:	50 W

Hallando el campo magnético dentro del núcleo de aire (entrehierro)

Debido a que la teoría en campos magnéticos es muy compleja como se muestra en el anexo A, se ha realizado el cálculo del campo magnético generado por los imanes en un arreglo específico teniendo en cuenta los requerimientos y características del generador.

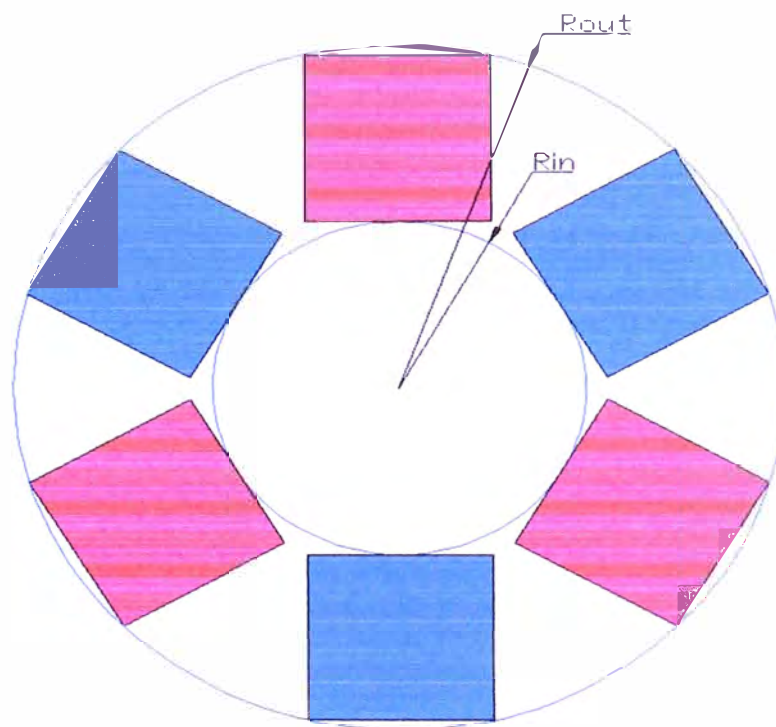


Gráfico 2.7
Distribución de los Imanes en el Disco Generador del Rotor

En el arreglo de los imanes de ferrita Y30, los cuadrados azules son los imanes con el polo sur apuntando hacia afuera y los cuadrados de color rojo son los imanes con el polo sur apuntando hacia adentro.

el polo norte apuntando hacia afuera, de tal forma que al girar formen una alternancia del campo magnético para poder generar energía eléctrica.

Teniendo en cuenta este arreglo se realizó una simulación, utilizando el software COMSOL - Multiphysics, basado en cálculos de elementos finitos para campos magnéticos cuasi estáticos.

Por lo que se obtuvo los siguientes resultados:

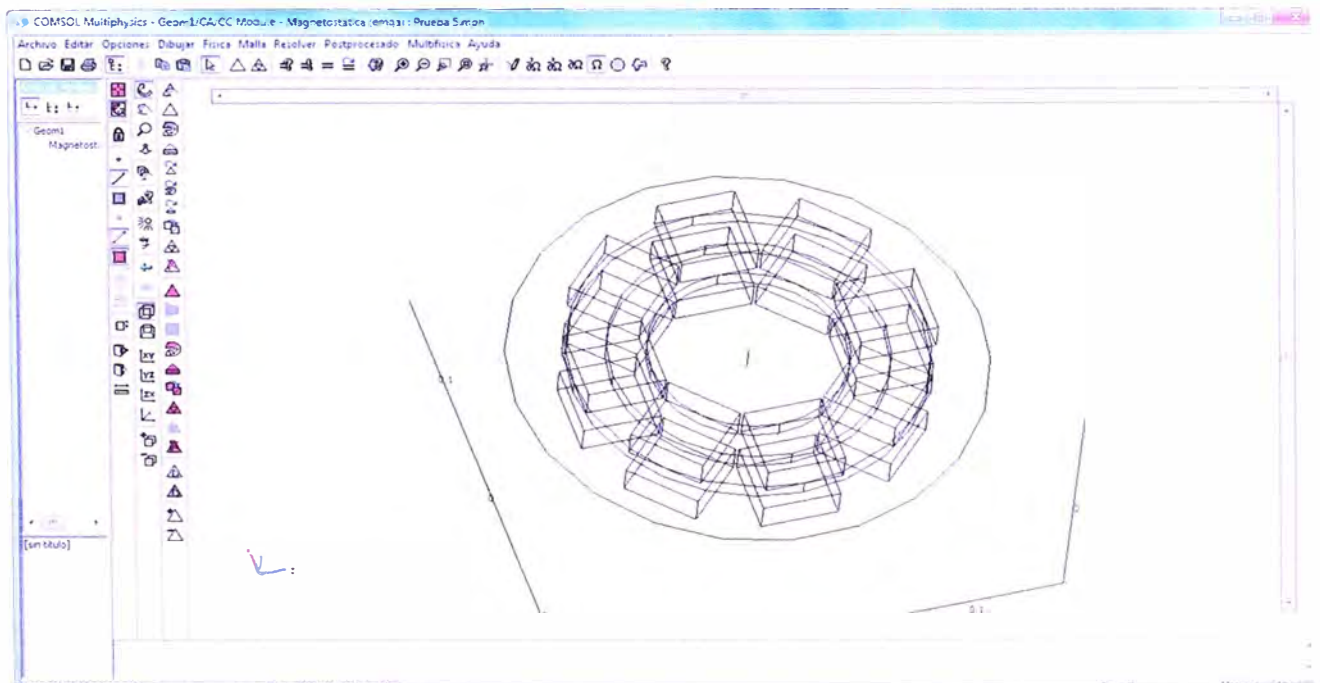


Gráfico 2.7
Arreglo de los imanes en el Software Comsol Multiphysics

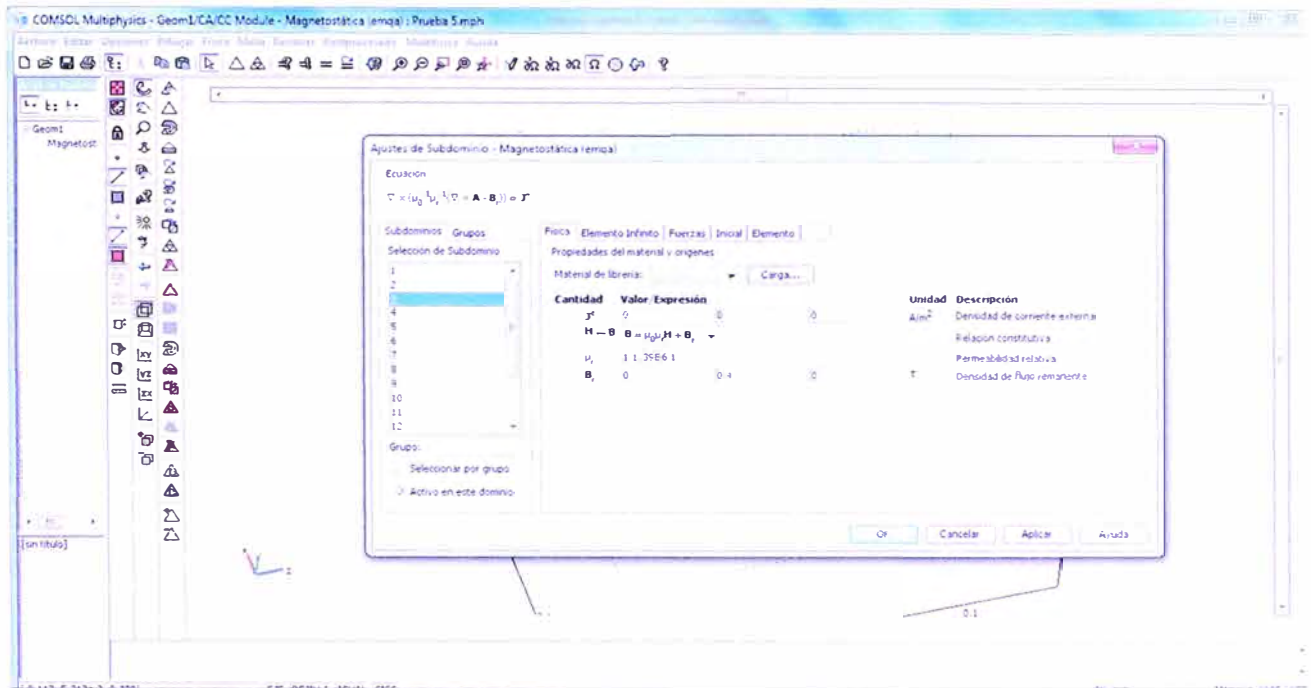


Gráfico 2.8
Introducción de los Parámetros de Diseño de los Componentes en el Software Comsol Multiphysics

Se colocaron parámetros de los imanes teniendo en cuenta un campo remanente de 0.4 T en dirección Y que es lo que define al tipo de imanes de ferrita Y30.

Se obtuvo el siguiente resultado de los campos magnéticos a una distancia media entre las dos capas de imanes:

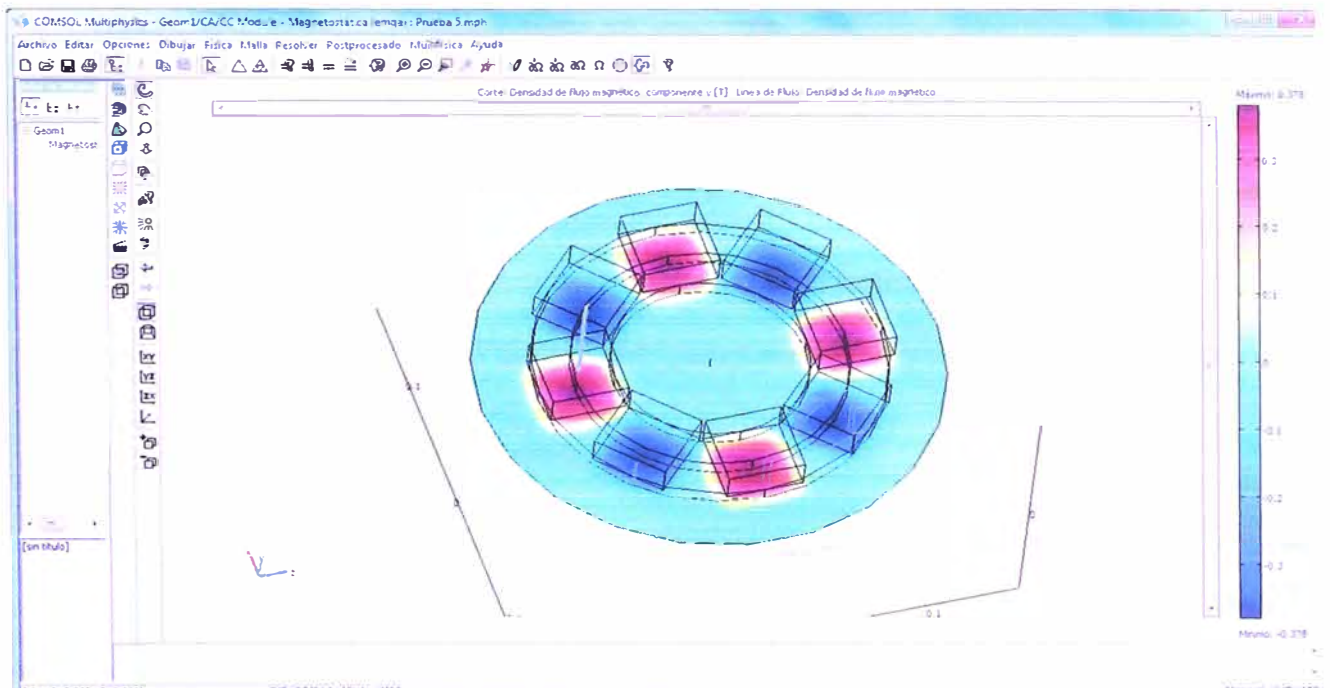


Gráfico 2.9
Resultados en el Software Comsol Multiphysics

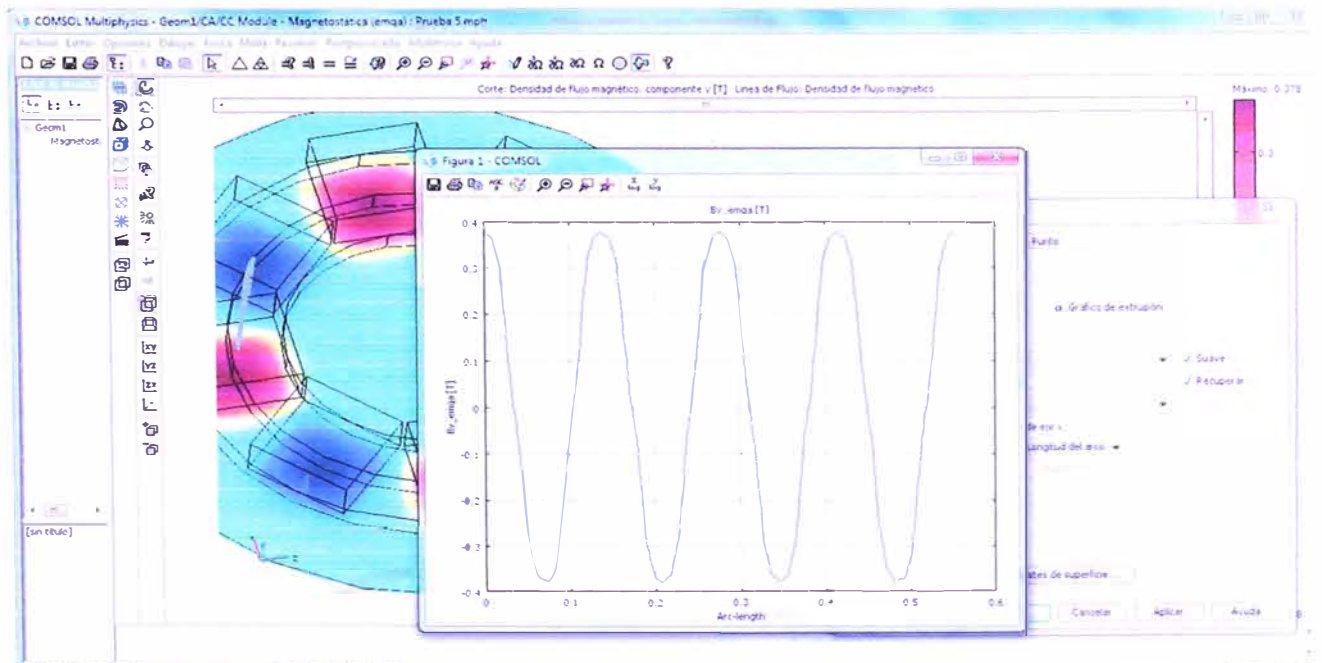


Gráfico 2.10
Campo Magnético entre los Imanes a lo Largo de la Circunferencia Central
Resultados en el Software Comsol Multiphysics

El número de bobinas por fase se determina debido a que contamos con 6 bobinas, y dado que se trata de un sistema trifásico, a cada fase le corresponde 2 bobinas.

Número de espiras por bobina:

$$N_b = \frac{N_c}{M_b} = 70 \quad (2.10)$$

El número total de bobinas: $N_t = 6$

Cálculo del voltaje Pico de fase

Asumimos inicialmente un área del núcleo de aire, del bobinado, para realizar nuestros cálculos iniciales, este valor se cambiará teniendo en cuenta los valores del voltaje de salida de nuestro generador, así como las dimensiones que físicamente puedan tener las bobinas en el arreglo.

Área del núcleo de aire:

$$A_n = 1367 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad (2.11)$$

El cálculo del voltaje máximo de fase se realiza en vacío, es decir sin colocar ninguna carga al generador, y debido a que tenemos una variación del campo magnético en forma sinusoidal, se utiliza la formula de generación de voltaje debido a un campo magnético con variación sinusoidal.

k_{v1} . : Factor de pérdida en la generación debido a la geometría del generador.

$$k_{v1} = 0.4 \text{ (Se verificará en las pruebas)}$$

Voltaje eficaz de Fase:

$$V_f = 4.44 \cdot k_{v1} \cdot N_c \cdot B_g \cdot A_n \cdot f = 9.8 \text{ V} \quad (2.12)$$

Voltaje pico de fase:

$$V_{fm} = \sqrt{2} \cdot V_f = 13.85 \text{ V} \quad (2.13)$$

Cálculo del voltaje pico de línea en vacío

El cálculo del voltaje máximo de línea se realiza teniendo en cuenta de que se trata de un sistema trifásico con conexión en estrella

$$V_{lmo} = \sqrt{3} \cdot V_{fm} = 24.004 \text{ V} \quad (2.14)$$

Curva teórica del Voltaje de línea en vacío:

Asumiendo que el voltaje que se genera por los imanes es de forma sinusoidal, entonces podemos aproximar, sin un mayor error, la forma que tendrían las ondas de voltaje en cada una de las fases.

Voltaje de línea en la fase A:

$$V_{lineaa}(t) = V_{lmo} \cdot \sin(377 \cdot t) \quad (2.15)$$

Voltaje de línea en la fase B:

$$V_{lineab}(t) = V_{lmo} \cdot \sin\left(377 \cdot t + 2 \frac{\pi}{3}\right) \quad (2.16)$$

Voltaje de línea en la fase C

$$V_{lineac}(t) = V_{lmo} \cdot \sin\left(377 \cdot t + 4 \frac{\pi}{3}\right) \quad (2.17)$$

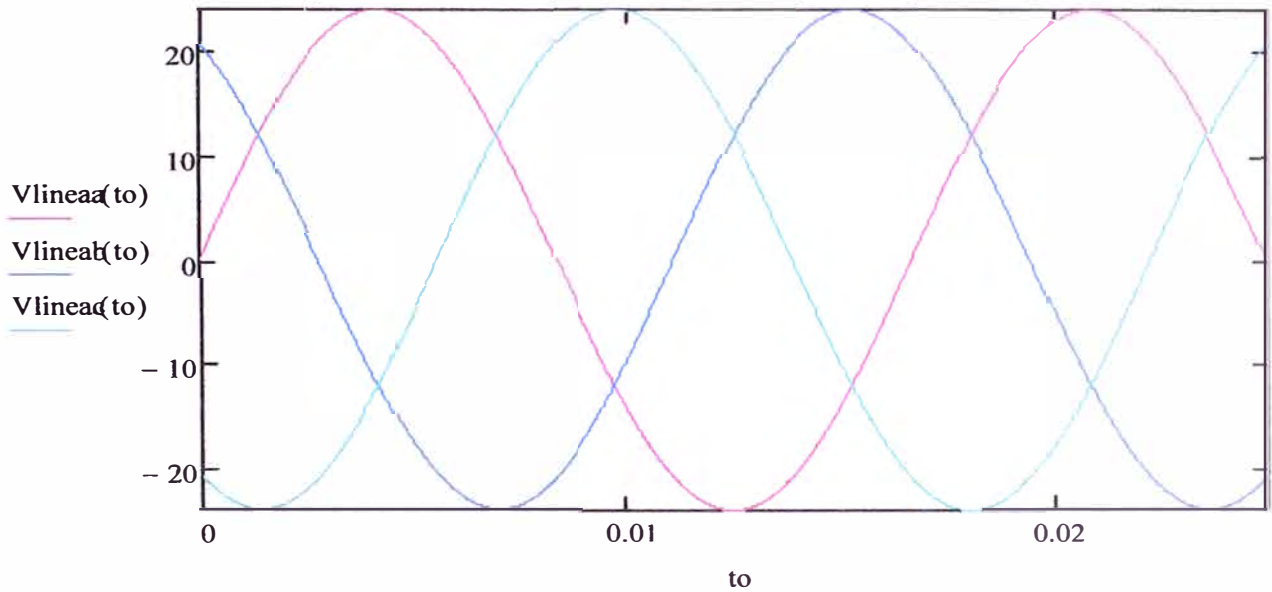


Gráfico 2.11
Curva teórica de voltaje en cada fase
Modelo de Generador de 50W

Otra de las curvas características de un generador es la curva del voltaje pico de vacío en función de la velocidad de Giro del rotor (RPM)

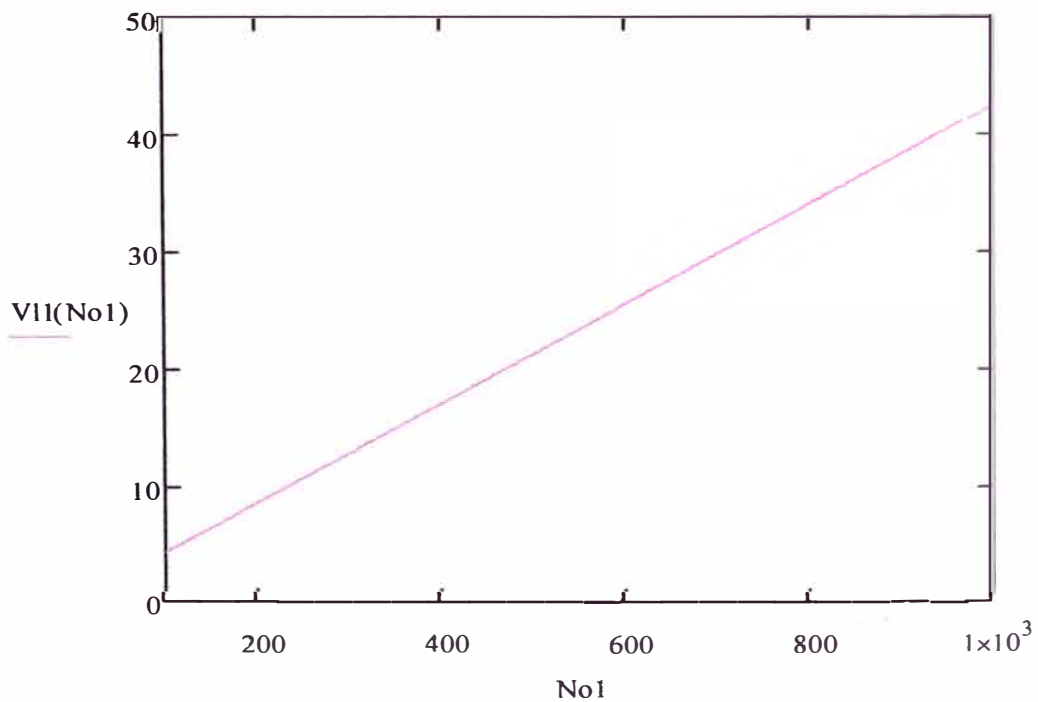


Gráfico 2.12
Curva de Voltaje Pico de Línea en Vacío en Función de la Velocidad del Rotor
(RPM)

Cálculo de la corriente eficaz de línea

Dado que requerimos una potencia máxima específica indicada, y además no conocemos aun la caída de voltaje debido a la impedancia del conductor, asumimos que el voltaje de vacío será el voltaje de la carga, este valor debe de ser verificado al final, por tanto tendremos un valor inicial de la corriente de la carga, entonces tenemos que:

Asumimos un voltaje de carga de 13V

Pot:= 50

Potencia asumida para el cálculo

Voltaje eficaz de línea:

$$V_{ef} = \frac{13}{\sqrt{2}} = 9.192V \quad (2.18)$$

Corriente eficaz de línea:

$$I = \frac{Pot}{\sqrt{3} \cdot V_{ef}} = 3,14 A \quad (2.19)$$

La Corriente eficaz de línea y de fase son iguales dado que se trata de un sistema trifásico con conexión en estrella.

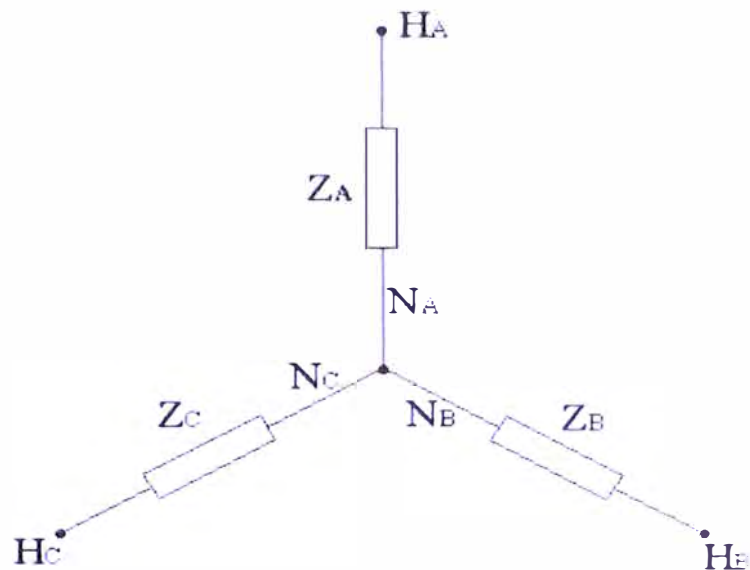


Gráfico 2.13
Esquema Triásico del Generador Eléctrico

Esquema del arreglo de las bobinas:

En la figura se muestra un esquema del arreglo del bobinado, que se hará finalmente, en el cual se muestran las dimensiones que podemos considerar correctas, de acuerdo con las condiciones física con las que contamos, como el espacio que debe ocupar el generador, así como los accesorios que se utilizaran, debe de dejarse un espacio adecuado para poder colocarlos.

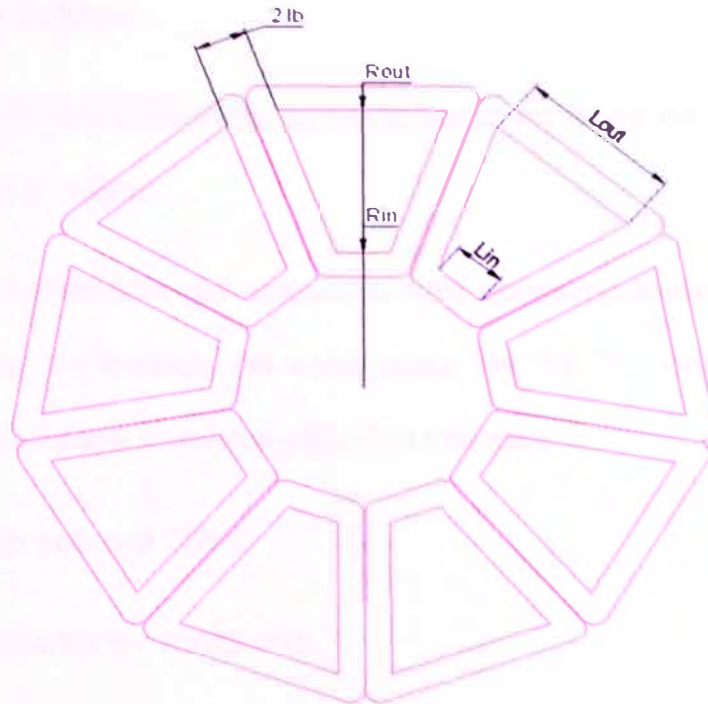


Gráfico 2.14
Esquema del Arreglo de las Bobinas

Donde:

$2.Lb$: Es la separación entre los núcleos de las bobinas

R_{out} : Es el radio exterior del bobinado, el cual es casi igual al radio exterior de los imanes.

R_{in} : Es el radio interior del bobinado, el cual es igual al radio interior de los imanes.

L_{out} : Es la base mayor del trapecio, que forma el núcleo del bobinado

L_{in} : Es la base menor del trapecio, que forma el núcleo del bobinado

$R_{in} = 0.060 \text{ m}$ Se define de acuerdo al arreglo de los imanes.

$R_{out} = 0.12 \text{ m}$ Se toma así para que cubra todo el largo del imán.

Dimensiones de la bobina:

Para el dimensionado del bobinado, primeramente se debe de seleccionar el cable conductor que se va a utilizar.

Asumimos que la temperatura del ambiente esta aproximadamente a 30 °C y que la temperatura máxima de trabajo no sobrepasa los 75 °C, entonces tomamos un conductor calibre # 14 para nuestros cálculos iniciales.

Conductor de cobre a 75° C

Calibre del conductor AWG #18

Características del conductor AWG #18

$C_{max} = 22$	Corriente máxima en A
$R_c = 0.861$	Resistencia $\Omega/100m$
$D_c = 0.063$	Diámetro en m
$A_c = 0.0082$	Área en cm^2

Teniendo en cuenta la cantidad de espiras por bobina, hacemos un arreglo adecuado, para una buena distribución en el espacio con el que contamos.

Si tomamos como referencia la sección de corte de uno de los extremos de una de las bobinas, tenemos:

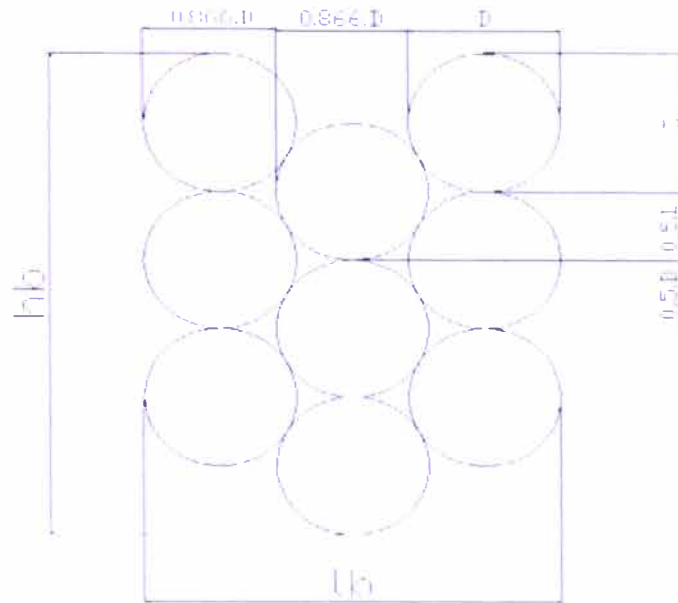


Gráfico 2.15
Esquema del Corte de Una de las Bobinas

Dado que en cada bobina tenemos 70 espiras, el arreglo más conveniente será:

$n_{ha} = 10$ Número de hilos en dirección l_b

$n_{hb} = 7$ Número de hilos en dirección h_b

$$l_b = D_c + 0.866 \cdot D_c \cdot (n_{ha} - 1) = 9.0 \text{ mm} \quad (2.20)$$

$$h_b = D_c \cdot 1.5 + (n_{hb} - 1) \cdot D_c = 7.65 \text{ mm} \quad (2.21)$$

Estas medidas son convenientes, dado que $h_b = 7.65 \text{ mm}$ es el espesor de la bobina y debe de caber dentro de la separación entre los imanes, el cual es de 20 mm.

Con estas dimensiones podemos ya calcular el área del núcleo de la bobina.

Primero calculamos los perímetros, interior y exterior, de las circunferencias que forman las bobinas

$$\text{Per}_{in} = 2 \cdot \pi \cdot R_{in} = 0.423 \text{ m} \quad (2.22)$$

$$\text{Per}_{out} = 2 \cdot \pi \cdot R_{out} = 0.754 \text{ m} \quad (2.23)$$

Luego calculamos las dimensiones de los núcleos de las bobinas:

$$l_{in} = 56 \text{ mm}$$

$$l_{out} = 119 \text{ mm}$$

$$h_{bob} = R_{out} - R_{in} = 0.053 \text{ m} = 53 \text{ mm} \quad (2.24)$$

Finalmente podemos calcular el área de las bobinas:

$$A_{bob} = \frac{h_{bob}}{2} (l_{in} + l_{out}) = 4.603 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (2.25)$$

Cálculo de la longitud del cable

Longitud media de cable en una vuelta:

$$L_{b1} = (l_{in} + l_b) + (l_{out} + l_b) + 2 \cdot \sqrt{(h_{bob} + l_b)^2 + \left(\frac{l_{out} - l_{in}}{2}\right)^2} = 0.33022 \text{ m} \quad (2.26)$$

Longitud total de cable por fase:

$$L_c = N_c \cdot L_{b1} = 46.23 \text{ m} \quad (2.27)$$

Longitud total de cable:

$$L_t = 3.L_c = 138.691m \quad (2.28)$$

Cálculo del circuito eléctrico equivalente:

Rin: Radio interior del imán

Rout: Radio exterior del imán

kw1: factor de enrollamiento

m1: número de fases

P: número de polos

Nc: número de espiras por fase

I: Corriente en el estator

g: Entrehierro

kfd: factor de forma en dirección d

kfq: factor de forma en dirección q

Xad: Reactancia del eje directo

Xaq: Reactancia de eje en cuadratura

Tenemos que:

$$kw1 = 1$$

$$m1 = 3$$

$$kfd = 1.2$$

$$kfq = 1.2$$

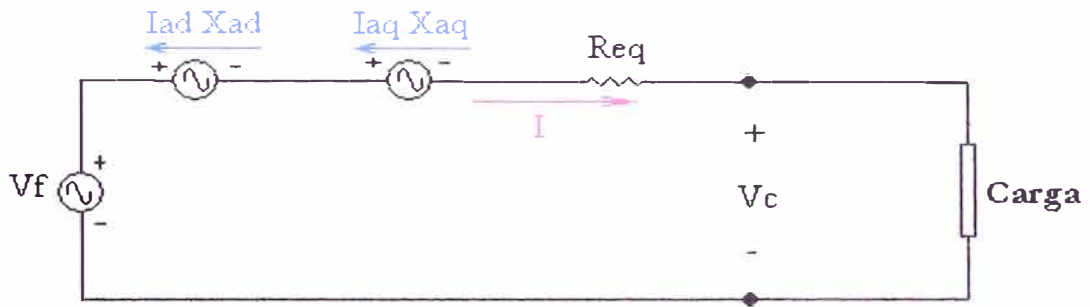


Gráfico 2.16
Circuito Eléctrico Equivalente del Generador - Para una Fase

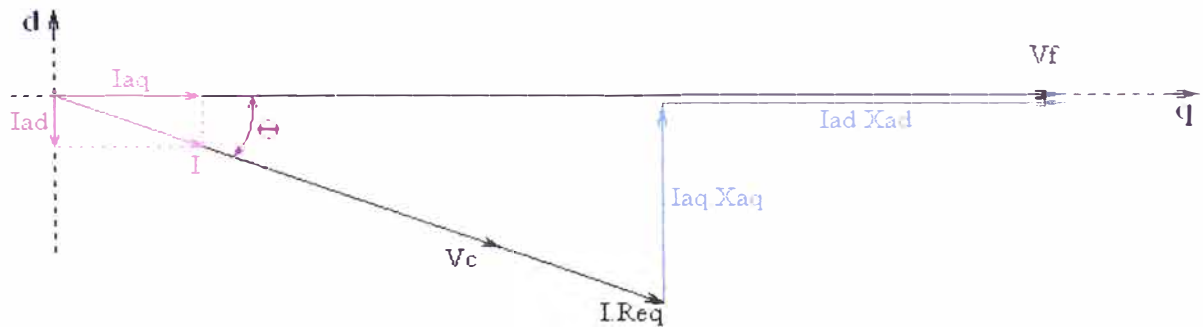


Gráfico 2.17
Diagrama Fasorial del Circuito - Para una Fase

Cálculo de la resistencia equivalente:

Resistencia del cable por bobina:

$$R_{_bob} = \frac{R_c}{100} \cdot L_{b1} \cdot N_b = 0.50345\Omega \quad (2.29)$$

Resistencia del cable por fase:

$$R_{eq} = R_{_bob} \cdot M_b = 1.0069\Omega \quad (2.30)$$

Cálculo de las reactancias:

$$g = \frac{lg - hb}{2} \quad (2.31)$$

$$lg1 = 2 \left((g + 0,5.hb) + \frac{t}{\mu rrec} \right) = 0.04 \quad (2.32)$$

$$Xad = 2.m1.\mu.f \left(\frac{Nc.kw1}{P} \right)^2 \left(\frac{Rout^2 - Rin^2}{lg1} \right).kfd = 0.036 \Omega \quad (2.33)$$

$$lgq = 2 \left((g + 0,5.hb) + t \right) = 0.06 \quad (2.34)$$

$$Xaq = 2.m1.\mu.f \left(\frac{Nc.kw1}{P} \right)^2 \left(\frac{Rout^2 - Rin^2}{lgq} \right).kfq = 0.024 \Omega \quad (2.35)$$

Para tener la potencia requerida por el sistema de 50 W, debemos tener una corriente diferente a la calculada anteriormente, por lo tanto se va probando la cantidad de corriente que se necesita. Con lo que llegamos a:

$$I = 3.14 \text{ A}$$

Del diagrama fasorial obtenemos las siguientes ecuaciones:

$$Vc = \sqrt{(Vf - I.\sin(\theta).Xad)^2 + (I.\cos(\theta).Xaq)^2} - I.Req \quad (2.36)$$

$$\tan(\theta) = \frac{I.\cos(\theta).Xaq}{I.\sin(\theta).Xad} \quad (2.37)$$

Solucionando el sistema de ecuaciones, tenemos:

$$V_c = 6.637 \text{ V}$$

Donde V_c es el voltaje eficaz por fase sobre la carga, para hallar el voltaje máximo de línea se debe tener en cuenta de que se trata de un sistema trifásico con conexión en estrella

Entonces tenemos:

Voltaje pico de línea:

$$V_{ml} = \sqrt{6} \cdot V_c \cdot V_{ml} = 16.247 \text{ V} \quad (2.38)$$

Potencia de la carga:

$$S_c = 3 \cdot V_c \cdot I = 62.528 \text{ W} \quad (2.39)$$

Potencia disipada por el conductor:

$$P_{cu} = 3 \cdot I^2 \cdot R_e \cdot q = 9.93 \text{ W} \quad (2.40)$$

Potencia necesaria en el eje: Sin considerar las pérdidas mecánicas

$$P_{eje} = S_c + P_{cu} = 72.458 \text{ W} \quad (2.41)$$

Eficiencia eléctrica:

$$\eta = \frac{S_c}{P_{eje}} = 86.296 \% \quad (2.42)$$

En el ANEXO C se muestran las dimensiones finales del generador, para su construcción.

CAPITULO 3

METODOLOGÍA DE LA EXPERIMENTACIÓN

3.1. Marco Teórico

En la investigación de enfoque experimental el investigador manipula una o más variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas. Dicho de otra forma, un experimento consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente). Esto se lleva a cabo en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular.

Los métodos experimentales son los adecuados para poner a prueba hipótesis de relaciones causales.

3.2. Fases de un Experimento

Un experimento es una situación simulada, en la que el investigador manipula conscientemente las condiciones de una o de diversas situaciones precedentes (variable independiente) para comprobar los efectos que causa dicha variable en otra situación consiguiente (variable dependiente). Esta situación se da en varias etapas, que pueden resumirse de la siguiente forma:

Planteamiento de un problema de conocimiento. La elección del problema depende los intereses del investigador: comprobar teorías, descubrir o generar conocimiento o mejorar la práctica educativa. Dicho problema está relacionado con la variable dependiente. Las preguntas planteadas deben poder resolverse con la aplicación de un proceso experimental. El enfoque metodológico vendrá determinado por la naturaleza del problema. Es fundamental revisar la bibliografía sobre el problema que se ha formulado.

Formulación de hipótesis: la hipótesis es una respuesta conjetural al problema, dicho de otro modo, es la anticipación de un resultado posible de la investigación experimental. La hipótesis relaciona dos o más variables, éstas deben ser planteadas en términos empíricos, es decir, que se puedan observar o medir.

Realización de un diseño adecuado a la hipótesis: el diseño refleja el plan o esquema de trabajo del investigador, es su organización formal. El diseño incluye diversos subprocesos, describe con detalle qué se debe hacer y cómo realizarlo, como por ejemplo la asignación de sujetos a los diferentes grupos experimentales y las variables implicadas.

Recogida y análisis de datos: para recoger datos el investigador tiene a su alcance diferentes instrumentos o técnicas (test, cuestionarios, escalas, sistemas de observación, etc.). Cada uno posee ventajas e inconvenientes y tiene diferentes usos, por ello, a la hora de elegir un instrumento, el investigador debe tener en cuenta su validez y fiabilidad.

Una vez obtenidos los resultados se han de analizar siguiendo un plan que se tendrá que haber determinado con anterioridad. El análisis de datos consiste en organizar y tratar la información para que se pueda describir, analizar e interpretar.

Elaboración de conclusiones: se incluyen aspectos como hasta que punto y con qué limitaciones queda confirmada la hipótesis experimental, el poder de generalización de los datos obtenidos, la metodología utilizada, coincidencias o desacuerdos con otras investigaciones, implicaciones para la práctica y sugerencias para posteriores investigaciones.

3.3. Metodología Aplicada al Proyecto

En el presente proyecto se ha utilizado el método de comparación que consiste en mantener condiciones ambientales controladas y hallar las constantes correspondientes a cada etapa del diseño.

3.3.1. Generador Eléctrico sin Carga

En el Generador Eléctrico se ha utilizado la siguiente ecuación, para hallar el voltaje inducido para un campo magnético variable sinusoidalmente, como se muestra en la simulación computarizada:

$$V_f = 4.44 \cdot k_{v1} \cdot N_c \cdot B_g \cdot A_n \cdot f \quad (3.1)$$

Donde:

k_{v1} : Factor de pérdida en la generación debido a la geometría del generador.

N_c : Número de espiras consideradas para el generador en estudio.

B_g : Campo Magnético, hallado en la simulación con el software.

A_n : Área del núcleo de aire considerado para el generador.

f : Frecuencia del voltaje inducido.

Voltaje pico de fase:

$$V_{fm} = \sqrt{2} \cdot V_f \quad (3.2)$$

Voltaje pico de línea:

$$V_{lmo} = \sqrt{3} \cdot V_{fm} \quad (3.3)$$

En el laboratorio se puede obtener el valor del voltaje pico de línea, manteniendo el resto de variables controladas, reemplazando en las ecuaciones (3.3), (3.2) y (3.1) se obtendría el valor de k_{v1} , el cual se utilizaría para el diseño del Prototipo.

3.3.2. Generador Eléctrico con Carga

Las ecuaciones que definen el comportamiento del Generador Eléctrico con carga.

Datos:

Rin: Radio interior del imán

Rout: Radio exterior del imán

kw1: factor de enrollamiento

m1: número de fases

P: número de polos

Nc: número de espiras por fase

I: Corriente en el estator

g: Entrehierro

kfd: factor de forma en dirección d

kfq: factor de forma en dirección q

Xad: Reactancia del eje directo

Xaq: Reactancia de eje en cuadratura

Tenemos que:

$$kw1 = 1$$

$$m1 = 3$$

$$kfd = 1.2$$

$$k_{fq} = 1.2$$

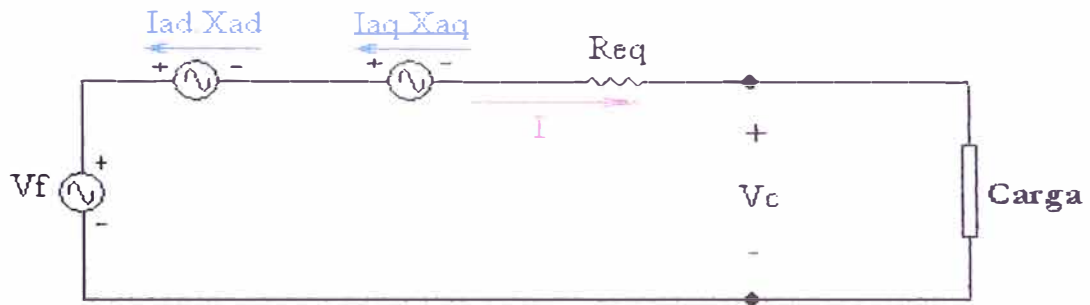


Gráfico 3.1
Circuito Eléctrico Equivalente del Generador - Para una Fase

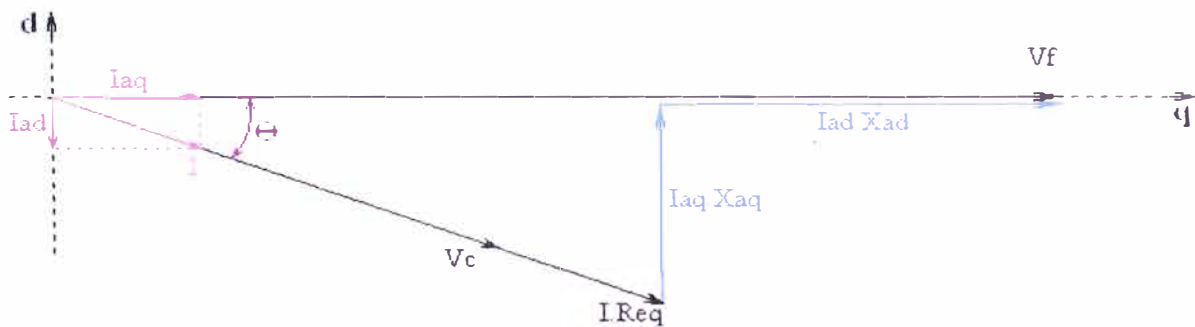


Gráfico 3.2
Diagrama Fasorial del Circuito - Para una Fase

Resistencia del cable por bobina:

$$R_{\text{bob}} = \frac{R_c}{100} \cdot L_b \cdot N_b \quad (3.4)$$

Resistencia del cable por fase:

$$R_q = R_{\text{bob}} \cdot M_b \quad (3.5)$$

Cálculo de las reactancias:

$$g = \frac{lg - hb}{2} \quad (3.6)$$

$$lg1 = 2 \cdot \left((g + 0,5 \cdot hb) + \frac{t}{\mu_{rec}} \right) \quad (3.7)$$

$$X_{ad} = 2 \cdot m1 \cdot \mu \cdot f \left(\frac{Nc \cdot kw1}{P} \right)^2 \cdot \left(\frac{R_{out}^2 - R_{in}^2}{lg1} \right) \cdot kfd \quad (3.8)$$

$$lgq = 2 \cdot ((g + 0,5 \cdot hb) + t) \quad (3.9)$$

$$X_{aq} = 2 \cdot m1 \cdot \mu \cdot f \left(\frac{Nc \cdot kw1}{P} \right)^2 \cdot \left(\frac{R_{out}^2 - R_{in}^2}{lgq} \right) \cdot kfq \quad (3.10)$$

Ecuaciones del Diagrama fasorial:

$$V_c = \sqrt{(V_f - I \cdot \sin(\theta) \cdot X_{ad})^2 + (I \cdot \cos(\theta) \cdot X_{aq})^2} - I \cdot R_{eq} \quad (3.11)$$

$$\tan(\theta) = \frac{I \cdot \cos(\theta) \cdot X_{aq}}{I \cdot \sin(\theta) \cdot X_{ad}} \quad (3.12)$$

De estas ecuaciones las únicas constantes que no conocemos son: kfd y kfq , asumimos que ambas tiene el mismo valor. Debido a que podemos controlar y conocer el resto de variables podemos conocer los valores correspondientes.

Evaluando estos valores, se pueden utilizar para el diseño del prototipo.

De las pruebas realizadas también se puede obtener el valor de la eficiencia del generador eléctrico a diferentes valores de rotación del rotor.

3.3.2. Generador Eólico

Las ecuaciones que definen el diseño inicial del aerogenerador son las siguientes:

Potencia Eléctrica obtenida del viento.

$$P = cp. \left(\frac{16}{27} \left[\frac{1}{2} \cdot (\rho \cdot v^3 \cdot A) \right] \right) \cdot \eta_g \cdot \eta_t \quad (3.13)$$

Velocidad tangencial.

$$U = \lambda \cdot v \quad (3.14)$$

Donde:

U: Velocidad Tangencial de Rotor.

λ : Relación de velocidad del viento y velocidad tangencial de los alabes, depende del perfil, y construcción de los alabes. Se asume un valor de 6 para este caso.

v : velocidad del viento.

P: Potencia eléctrica obtenido por el aerogenerador.

ρ : Peso específico del aire.

A : Área de envergadura del aerogenerador.

C_p : Coeficiente de performance del Aerogenerador.

η_g : Eficiencia del generador eléctrico.

η_t : Eficiencia de transmisión

De las pruebas del aerogenerador se puede obtener por inspección " λ ", despejando la ecuación (3.14), se obtiene la siguiente ecuación:

$$\lambda = \frac{U}{v} \quad (3.15)$$

De la ecuación (3.13) podemos obtener "Cp" de la siguiente forma:

$$Cp = \frac{27}{16} \times \frac{2.P}{(\rho.v^3.A.\eta g.\eta t)} \quad (3.16)$$

De esta forma se obtendrán todas las constantes desconocidas y asumidas inicialmente en el diseño del modelo.

CAPITULO 4

PUESTA A PUNTO DE MODELO A ESCALA Y PRUEBAS

CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

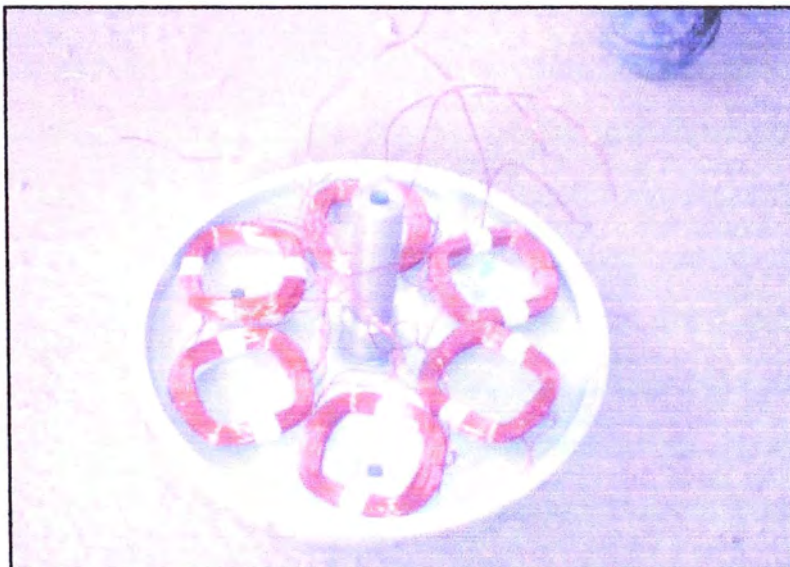


Gráfico 4.1

Fabricación del Generador Eléctrico - Ubicación de bobinas

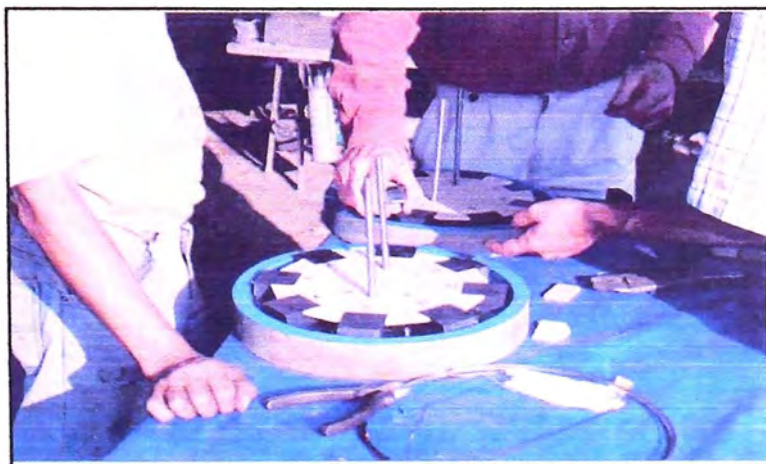


Gráfico 4.2

Fabricación de Generador Eléctrico - Ubicación de Disco de Imanes.

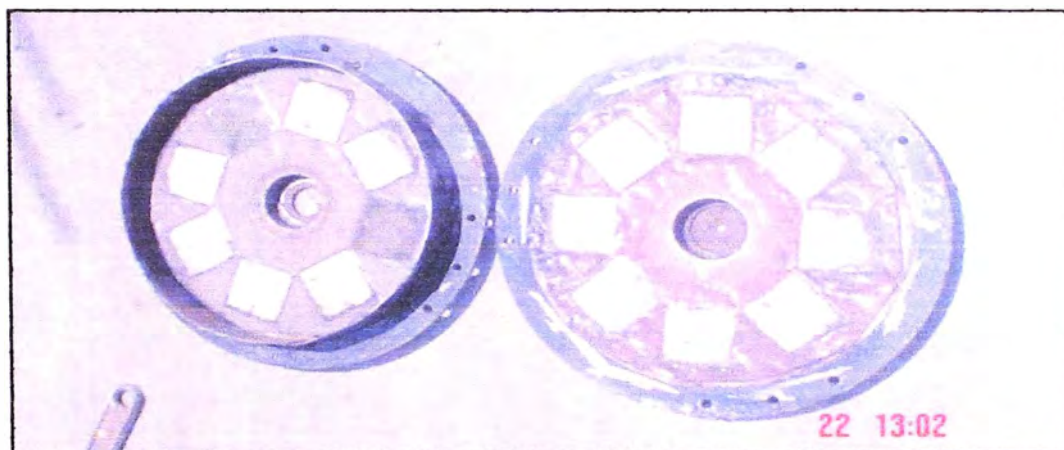


Gráfico 4.3

Fabricación de Generador Eléctrico - Vaciado de resina en disco de imanes

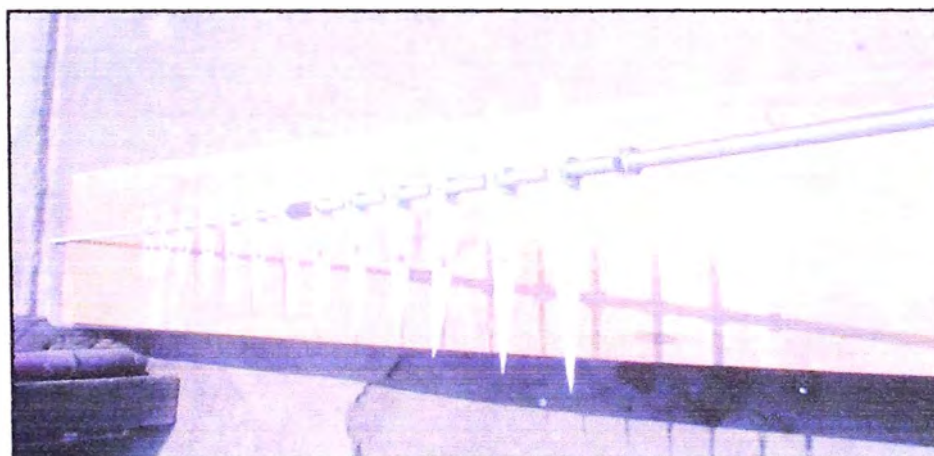


Gráfico 4.4

Fabricación de Rotor - Ubicación de Perfiles de Alabe.



Gráfico 4.5

Fabricación de Rotor - Construcción de Molde para Alabes.

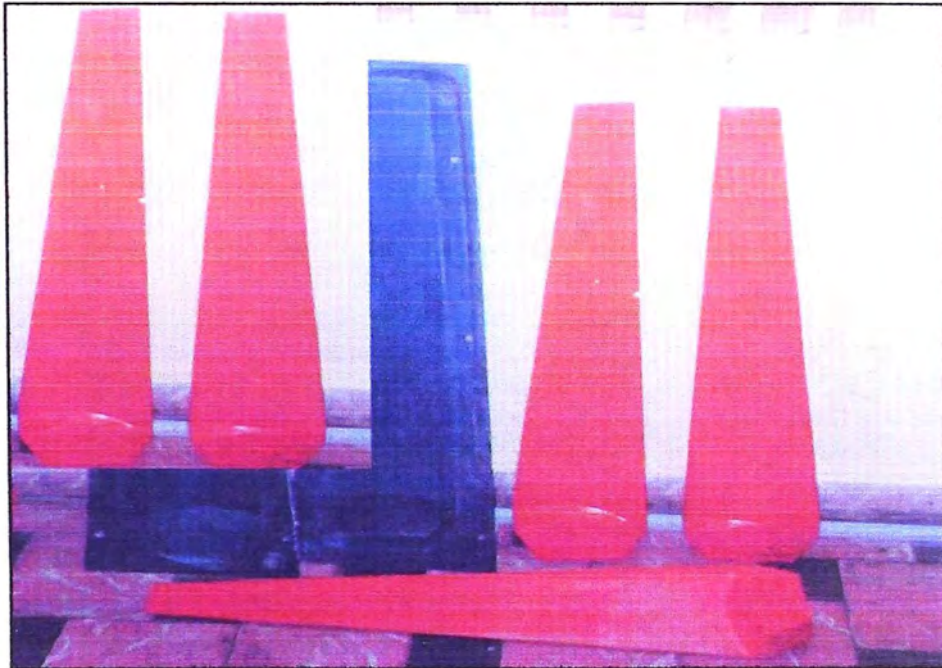


Gráfico 4.6
Fabricación de Rotor - Alabes Terminados

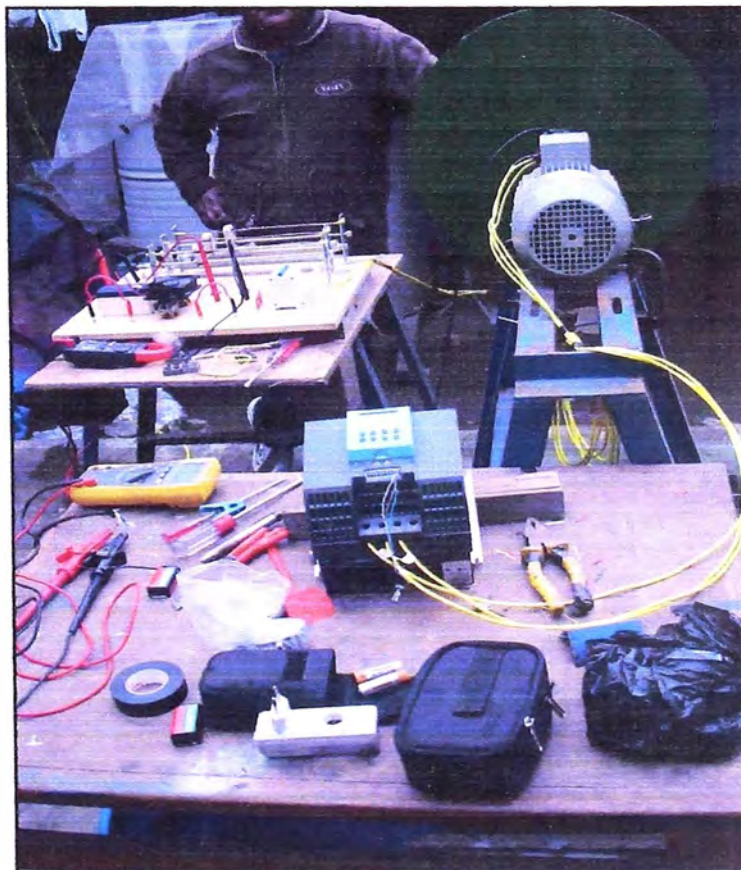


Gráfico 4.7
Pruebas de Generador Eléctrico

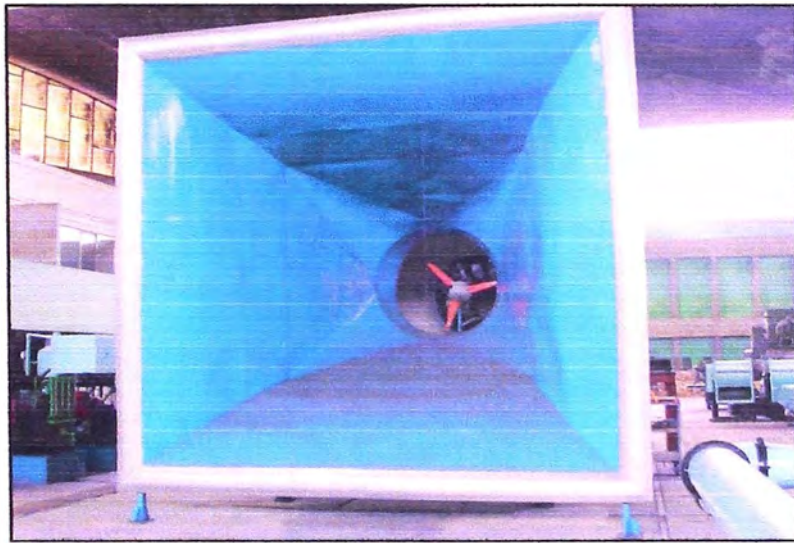


Gráfico 4.8
Aerogenerador en Túnel de Viento

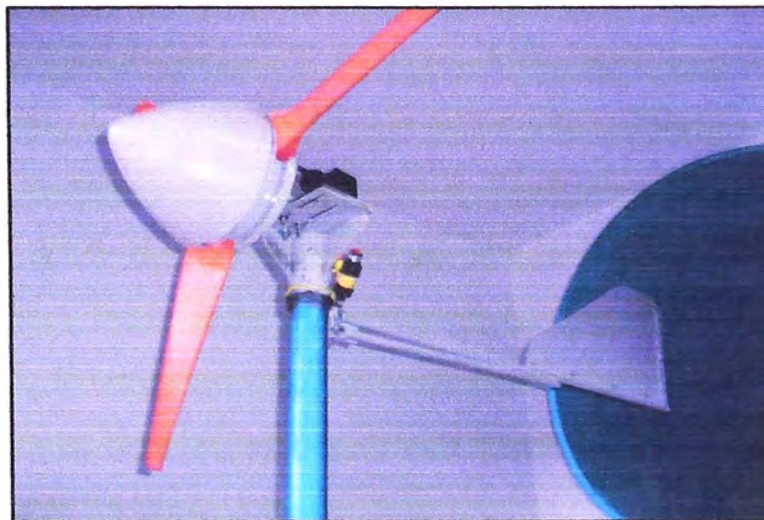


Gráfico 4.9
Modelo de Aerogenerador

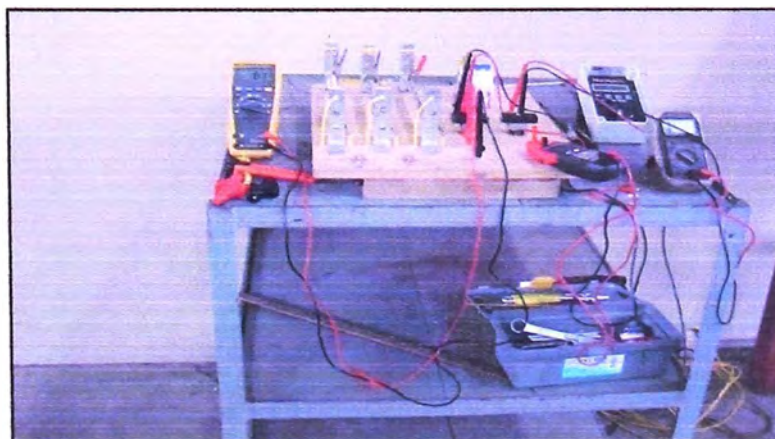


Gráfico 4.10
Banco de Resistencias para Pruebas

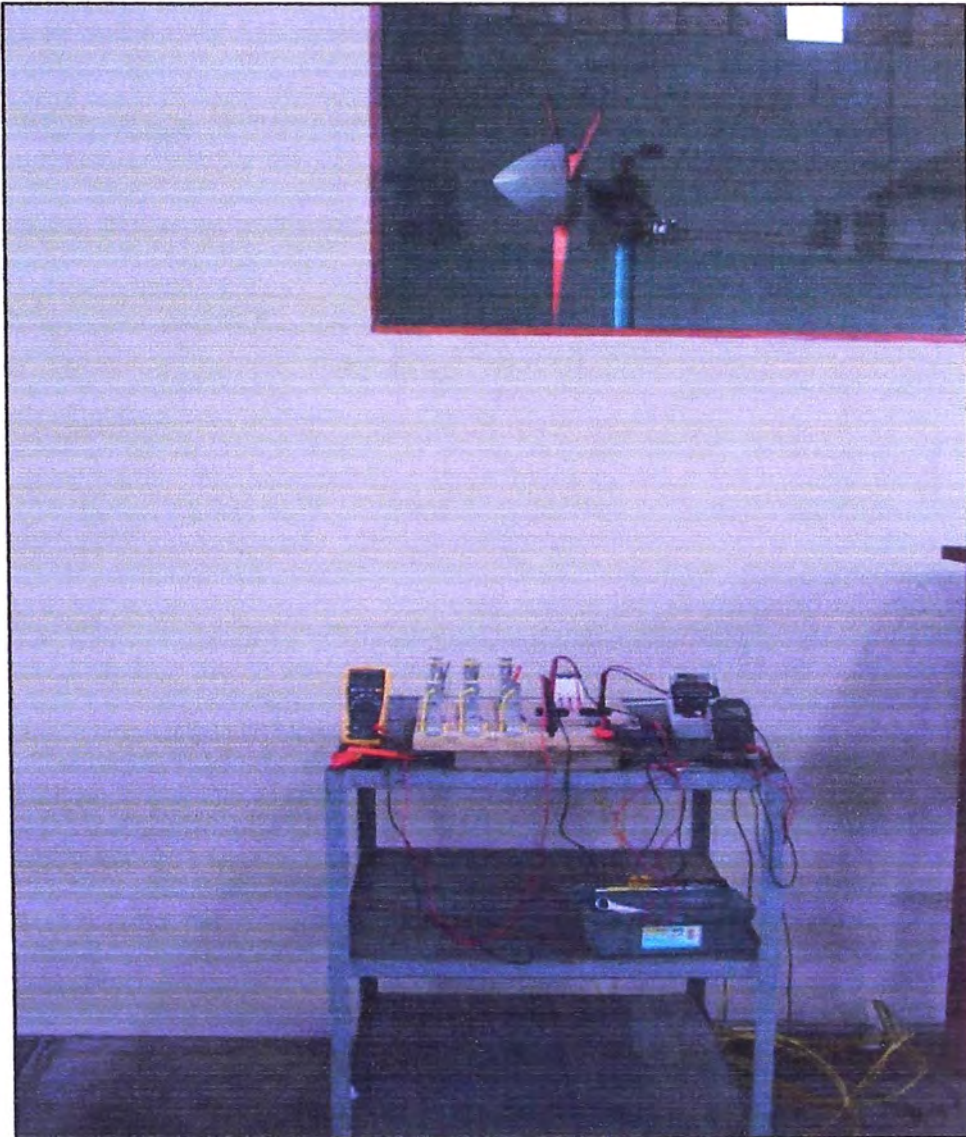


Gráfico 4.11
Banco de Resistencias para Pruebas

4.1. Pruebas del Modelo de Generador Eléctrico

Para las pruebas del generador eléctrico se utilizó el siguiente material:

1 motor de 4 HP de potencia trifásico a 220V

1 variador de frecuencia de capacidad 4HP trifásico

1 Torquímetro.

2 Multímetros

1 Banco de resistencias variables.

1 Mesa de trabajo.

4.1.1. Prueba del Generador en vacio.

Tabla 4.1
Resultados de Pruebas de Generador Eléctrico de 50 W en Vacio

N°	Vacío					
	Torque	Frecuencia	Velocidad	Perdidas	V_linea	V_pico
	Nm	Inducida (Hz)	Rotor RPM	Mecánicas W	AC Vrms	AC Vp
1	0.08		0.00	0.00	1.00	1.41
2	0.08		0.00	0.00	2.00	2.83
3	0.12		0.00	0.00	3.00	4.24
4	0.12		0.00	0.00	4.00	5.66
5	0.16	17.58	263.70	4.35	4.95	7.00
6	0.16	22.10	331.50	5.47	6.25	8.84
7	0.16	26.00	390.00	6.44	7.26	10.27
8	0.16	28.75	431.25	7.12	8.06	11.40
9	0.16	34.10	511.50	8.45	9.44	13.35
10	0.16	37.50	562.50	9.29	10.45	14.78
11	0.16	40.30	604.50	9.98	11.15	15.77
12	0.16	43.80	657.00	10.85	12.00	16.97
13	0.16	47.30	709.50	11.71	13.05	18.46
14	0.20	51.10	766.50	15.82	14.00	19.80
15	0.20	56.40	846.00	17.46	15.50	21.92
16	0.20	58.60	879.00	18.14	16.00	22.63
17	0.20	52.40	786.00	16.22	17.10	24.18
18	0.20	66.30	994.50	20.53	18.18	25.71
19	0.24	69.50	1042.50	25.82	19.06	26.95
20	0.24	73.60	1104.00	27.34	20.15	28.50
21	0.24	75.70	1135.50	28.12	21.00	29.70
22	0.24	80.50	1207.50	29.91	22.06	31.20
23	0.24	84.40	1266.00	31.35	23.11	32.68
24	0.28	87.40	1311.00	37.88	23.90	33.80

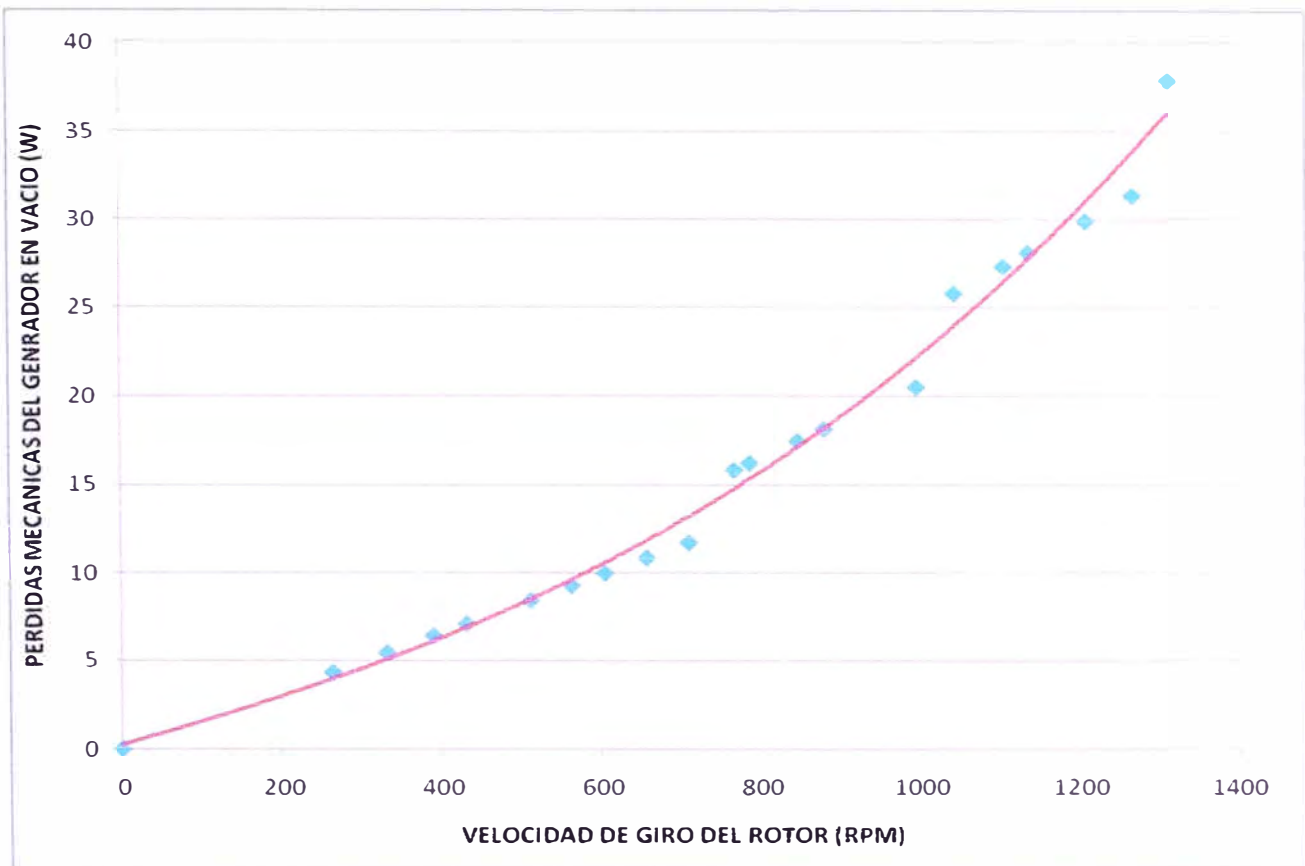


Gráfico 4.12

Pérdidas mecánicas del Generador en Vacío en función de la velocidad de giro

4.1.2. Prueba del generador con carga.

Tabla 4.2
Resultados de Pruebas de Generador Eléctrico de 50 W en Con carga a
Voltaje AC eficaz de 13 V

Carga (Vac=13,0 V)								
Nº	Torque	Frecuencia	Velocidad	Potencia	Voltaje	Corriente	Potencia	Eficiencia
		Inducida	Rotor	Mecánica	AC	AC	AC	Generador
	Nm	(Hz)	RPM	W	Vrms	Arms	W	%
1	0.20	48.5	727.5	15.01	13.00	0.65	14.64	97.48
2	0.39	50.1	751.5	31.02	13.00	1.33	29.95	96.54
3	0.79	51.3	769.5	63.53	13.00	2.20	49.54	77.98
4	0.99	54.0	810.0	83.59	13.00	3.50	78.81	94.28
5	1.46	56.0	840.0	128.29	13.00	5.20	117.09	91.27
6	1.97	57.7	865.5	178.63	13.00	6.30	141.85	79.41
7	2.17	59.9	898.5	203.98	13.00	7.32	164.82	80.80
8	2.36	61.4	921.0	228.10	13.00	8.21	184.86	81.05
9	2.76	64.4	966.0	279.12	13.00	9.85	221.79	79.46
10	2.96	66.0	990.0	306.48	13.00	10.70	240.93	78.61
11	3.27	68.2	1023.0	350.48	13.00	11.70	263.44	75.17

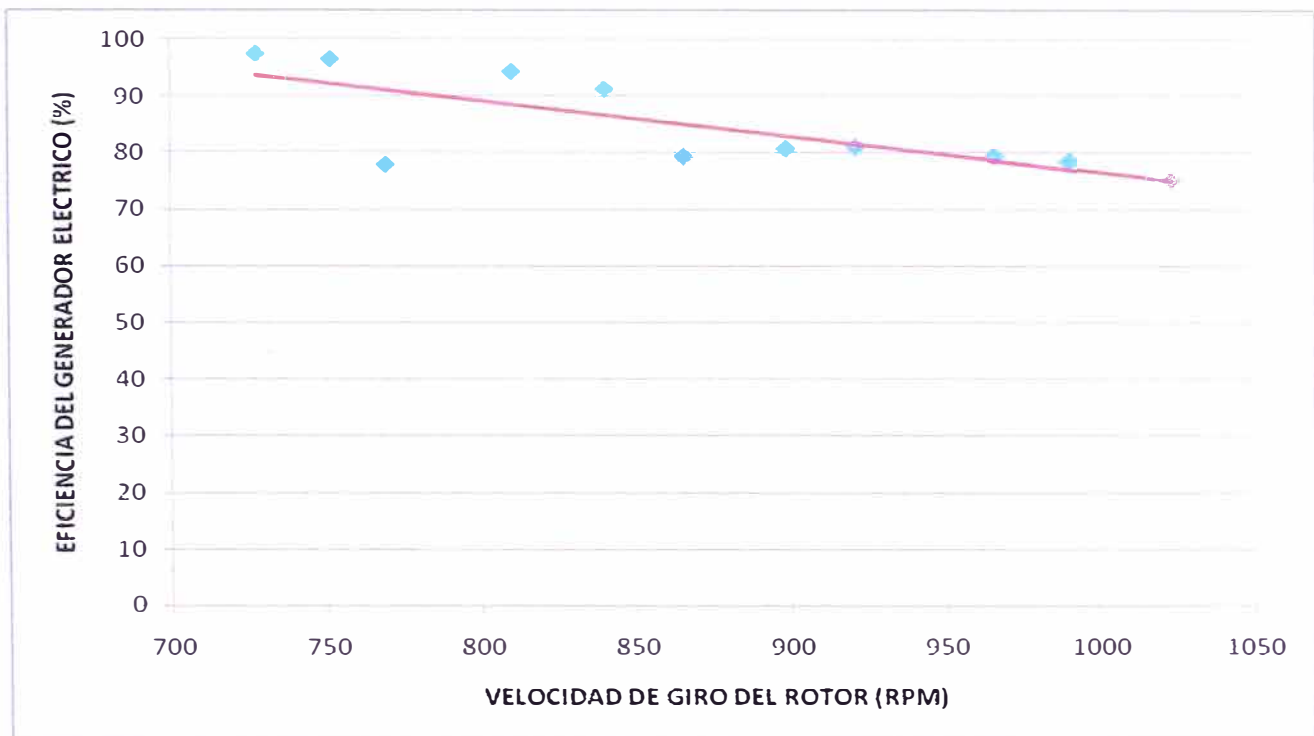


Gráfico 4.13
Eficiencia del Generador eléctrico en función de la velocidad de giro del Rotor

4.2. Pruebas del Modelo de Generador Eólico

Inicialmente se calculó los alabes de un radio de 0.5m, por lo que los alabes fueron contruidos de estas dimensiones, además se debe de tener en cuenta que el diámetro del generador al que estar acoplados los alabes, es de 0.3m por lo que el diámetro total del aerogenerador será de 1.3m, el cual es mayor a los cálculos tomados inicialmente.

Datos de referencia para la elaboración de la tabla comparativa del aerogenerador:

Presión barométrica: 756.4 mmHg

Temperatura ambiental: 17.9 °C

Densidad del aire: 1.21 kg/m³

Radio de la Turbina: 0.65 m

Área de cobertura de la turbina: 1.13m²

4.2.1. Pruebas sin carga

Tabla 4.3
Resultados de Pruebas de Aerogenerador de 50 W, en el Túnel de Viento, sin Carga.

Nº	Velocidad Prom (m/s)	Angulo Giro (°)	Voltaje AC Vacio (Vrms)	Velocidad Giro RPM	λ
1	4	3	--		
2	4.2	3	0.3	32.40	0.53
3	4	4	4.4	390.00	6.64
4	4.4	4	4.745	423.00	6.54
5	4.4	4	5.13	455.55	7.05
6	4.8	4	5.43	483.00	6.85
7	5.2	7	5.77	515.55	6.75
8	5.4	7	6.17	543.00	6.84
9	5.6	6	6.5	570.00	6.93
10	5.95	6	6.85	607.50	6.95
11	5.95	7	7.19	631.80	7.23
12	6.3	7	7.61	672.30	7.26
13	6.3	3	7.96	703.50	7.60
14	6.7	353	8.2	727.50	7.39
15	6.9	353	8.56	758.25	7.48
16	7.1	3	9.07	795.00	7.62
17	7.5	353	9.22	816.30	7.41
18	7.9	353	9.55	857.10	7.38
19	7.95	353	9.88	886.80	7.59
20	8.2	353	10.44	922.50	7.66
21	8.2	353	10.72	949.50	7.88
22	8.6	353	11.04	987.00	7.81
23	8.8	3	11.42	1012.50	7.83

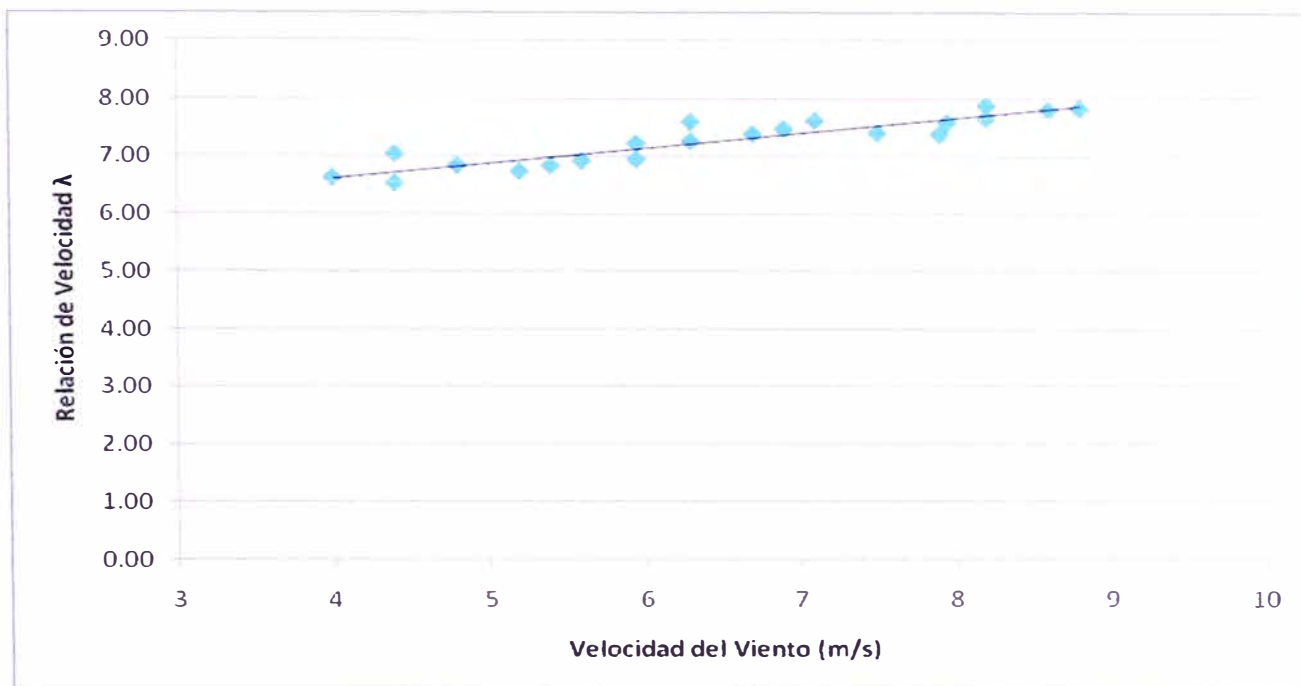


Gráfico 4.12
Relación de Velocidad " λ " en función de la velocidad del viento, Generador en vacío

4.2.2. Pruebas con carga

Utilizando la ecuación (3.16), obtenemos los valores de C_p

$$C_p = \frac{2 \times 27 \times P}{(16 \times \rho \times v^3 \times A \times \eta_g \times \eta_t)} \quad (3.16)$$

Tabla 4.4
Resultados de Pruebas de Aerogenerador de 50 W, en el Túnel de Viento, con Carga a Voltaje Constante.

Nº	FRECUENCIA VARIADOR (Hz)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)		VELOCIDAD DEL VIENTO MEDIA (m/s)	RPM	λ	ÁNGULO DE GIRO (°)		ÁNGULO MEDIA (°)	FRECUENCIA DEL ROTOR (Hz)	VOLTAJE AC (A)		V _{pico}	CORRIENTE AC (A)	POTENCIA (W)	Eficiencia del Generador	C _p
		MÍNIMO	MÁXIMO				MÍNIMO	MÁXIMO			CARGA	CARGA					
1	10	2.30	2.70	2.50	0		363	363	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	11	2.70	2.70	2.70	0		363	363	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	12	3.10	3.10	3.10	0		363	363	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	13	3.10	3.50	3.30	0		363	363	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	14	3.50	3.50	3.50	0		363	363	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	15	3.50	3.80	3.65	0		363	363	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	16	3.80	4.00	3.90	0		363	363	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	17	4.00	4.20	4.10	0		363	363	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	18	4.20	4.60	4.40	0		363	363	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	19	4.60	4.80	4.70	592	8.57	363	363	0.00	39.45	9.12	12.90	0.23	3.67	0.26	0.17	
11	20	4.60	5.00	4.80	610	8.65	347	347	16.00	40.66	9.15	12.94	0.53	8.32	0.44	0.22	
12	22	5.00	5.40	5.20	639	8.36	347	347	16.25	42.60	9.35	13.22	0.96	15.55	0.57	0.24	
13	24	5.80	6.10	5.95	665	7.60	347	346	16.75	44.30	9.40	13.29	1.34	21.74	0.64	0.20	
14	26	6.10	6.50	6.30	687	7.42	346	345	17.50	45.80	9.50	13.44	2.10	34.55	0.73	0.24	
15	28	6.50	6.90	6.70	716	7.27	343	342	20.50	47.70	9.42	13.32	2.78	45.28	0.77	0.24	
16	30	7.30	7.70	7.50	752	6.82	342	341	21.50	50.10	8.50	12.02	3.53	51.90	0.78	0.20	
17	32	7.70	8.00	7.85	783	6.79	341	340	22.50	52.20	9.66	13.66	4.20	70.27	0.82	0.22	
18	34	8.00	8.40	8.20	812	6.74	340	340	23.25	54.15	9.66	13.66	5.03	84.08	0.84	0.23	
19	36	8.80	9.00	8.90	849	6.49	340	339	23.75	56.60	9.84	13.92	5.70	97.15	0.84	0.20	
20	37	9.00	9.20	9.10	855	6.40	338	336	26.00	57.00	9.87	13.96	5.70	97.44	0.84	0.19	
21	38	9.20	9.40	9.30	863	6.31	336	335	27.50	57.50	9.85	13.93	5.84	99.68	0.84	0.18	
22	39	9.40	9.60	9.50	855	6.13	333	332	30.50	57.00	9.82	13.89	5.70	96.95	0.84	0.17	
23	40	10.00	10.10	10.05	855	5.79	332	331	31.50	57.00	9.82	13.89	5.66	96.31	0.84	0.14	
24	41	10.10	10.20	10.15	840	5.63	331	330	32.50	56.00	9.72	13.75	5.69	95.71	0.85	0.14	
25	42	10.20	10.30	10.25	854	5.67	330	328	34.00	56.90	9.88	13.97	5.69	97.29	0.84	0.13	
26	43	10.30	10.70	10.50	852	5.52	328	326	36.00	56.80	9.70	13.72	5.61	94.25	0.84	0.12	
27	44	10.70	11.10	10.90	848	5.29	328	323	37.50	56.50	9.78	13.83	5.59	94.65	0.84	0.11	
28	45	11.10	11.50	11.30	851	5.12	326	323	38.50	56.70	9.65	13.65	5.63	94.02	0.84	0.10	
29	46	11.5	11.7	11.60	848	4.97	325	321	40.00	56.50	9.66	13.66	5.63	94.12	0.84	0.09	
30	47	11.7	11.9	11.80	884	5.10	323	321	41.00	58.90	9.80	13.86	5.69	96.50	0.84	0.09	
31	48	11.9	12.3	12.10	860	4.84	322	319	42.50	57.30	9.72	13.75	5.69	95.71	0.84	0.08	
32	49	12.3	12.6	12.45	870	4.76	319	318	44.50	58.00	9.75	13.79	5.76	97.27	0.84	0.07	
33	50	12.6	13	12.80	848	4.51	318	316	46.00	56.50	9.61	13.59	5.70	94.88	0.84	0.07	

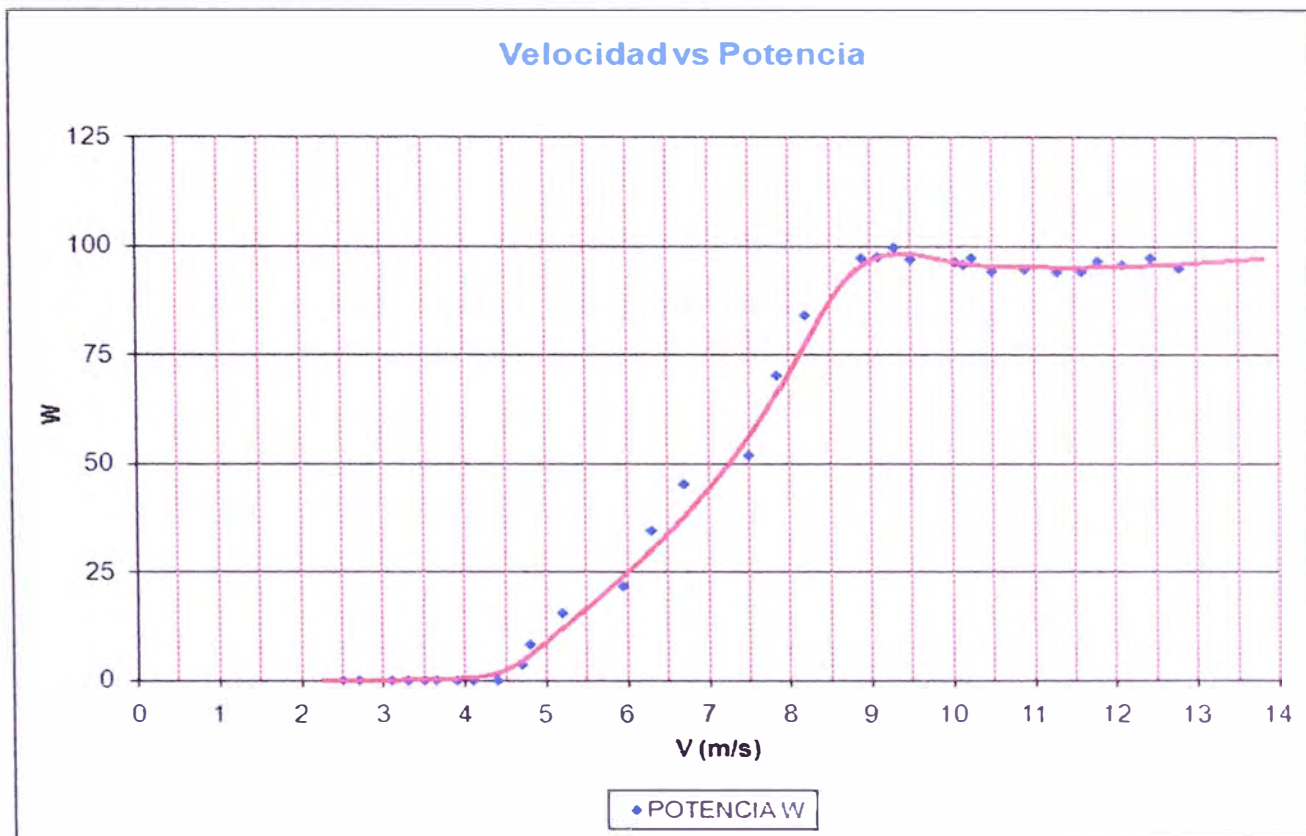


Gráfico 4.12

Curva de la potencia eléctrica del modelo de aerogenerador en función de la velocidad del viento.

CAPITULO 5

ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. De la prueba del generador eléctrico se obtiene que el voltaje pico en vacío a 800 RPM es de 20.86V. Mientras que el valor teórico es de 23.98V, por lo que se deberá modificar el valor de:

$$v_{k1} = 0.4$$

Nuevo valor:

$$v_{k1} = 0.4 \times \frac{20.86}{23.98} = 0.3479 \quad (5.1)$$

2. Si modificamos en las ecuaciones anteriores el valor de $v_{k1}=0.3479$, obtenemos como resultado final teórico:

$$V_{Im} = 13.11 \text{ V}$$

$$N = 800 \text{ RPM}$$

$$S_c = 50.419 \text{ W}$$

$$\eta_g = 83.55\%$$

Comparado con los valores obtenidos en las pruebas, los cuales son:

$$V_{lm} = 13.00 \text{ V}$$

$$N = 800 \text{ RPM}$$

$$S_c = 64.17 \text{ W}$$

$$\eta_g = 86.13\%$$

Por lo que las ecuaciones dan valores muy cercanos a los obtenidos en las pruebas de laboratorio.

3. De las pruebas del modelo de generador eólico sin carga obtenemos el valor λ . Para las condiciones de diseño se obtiene valores aproximados de $\lambda=5.8$, sin embargo en las pruebas con carga se ha observado que a velocidades aproximadas de 800 RPM se tiene valores de $\lambda=6.7$, comparado con $\lambda=6$ del valor tomado inicialmente.

4. De las pruebas del modelo de generador eólico con carga obtenemos el valor de C_p . Para las condiciones de diseño se obtiene valores de $C_p = 0.23$, comparado con el valor inicial de $C_p=0.3$.

CAPITULO 6

DIMENSIONAMIENTO DEL PROTOTIPO DE GENERADOR EÓLICO DE 500W DE POTENCIA.

Requerimientos iniciales.

Velocidad del viento= 8 m/s

Potencia requerida= 500W

Densidad del viento = 1,2 kg/m³

6.1. Diseño del Rotor del Prototipo Aerogenerador.

Tabla 6.1
Datos Iniciales para el Diseño del Prototipo de Aerogenerador de 500 W

Número de álabes	Z	3
Potencia = $1/2 (\rho V^3 \cdot A \cdot c_p \cdot \eta_g \cdot \eta_t)$	P (Watt)	500
Velocidad del viento	V (m/s)	8
Lamnda = U/V	λ	6.7
Velocidad tangencial	U (3 palas)	53.8
RPM de la turbina eólica	N (3 palas)	305.03
Angulo de ataque	α	5
Angulo beta	β	15
Eficiencia del generador	η_g	0.8
Eficiencia de la transmisión	η_t	1
Peso específico del aire	ρ (kg/m ³)	1.2
Coeficiente de potencia	c_p (3 palas)	0.23
Coeficiente de Sustentación		0.9
Area de trabajo	A	8
Radio de la turbina (Calculado)	R (3 palas)	1.68
Radio de la Turbina (Diseño)	R(3 palas)	1.7
Radio del generador (m)	r	0.2

Se ha tomado los coeficientes λ , η_g , c_p , basados en las pruebas del prototipo.

Tabla 6.2
Potencia Eléctrica y Mecánica del Prototipo de Generador Eléctrico en
Función de Viento - Teórica

Velocidad del Viento (m/s)	P_Mecánica W	P_Electrica W
3	33	23
4	78	55
5	153	107
6	264	185
7	419	293
8	625	438
9	890	623
10	1221	854
11	1625	1137
12	2109	1477

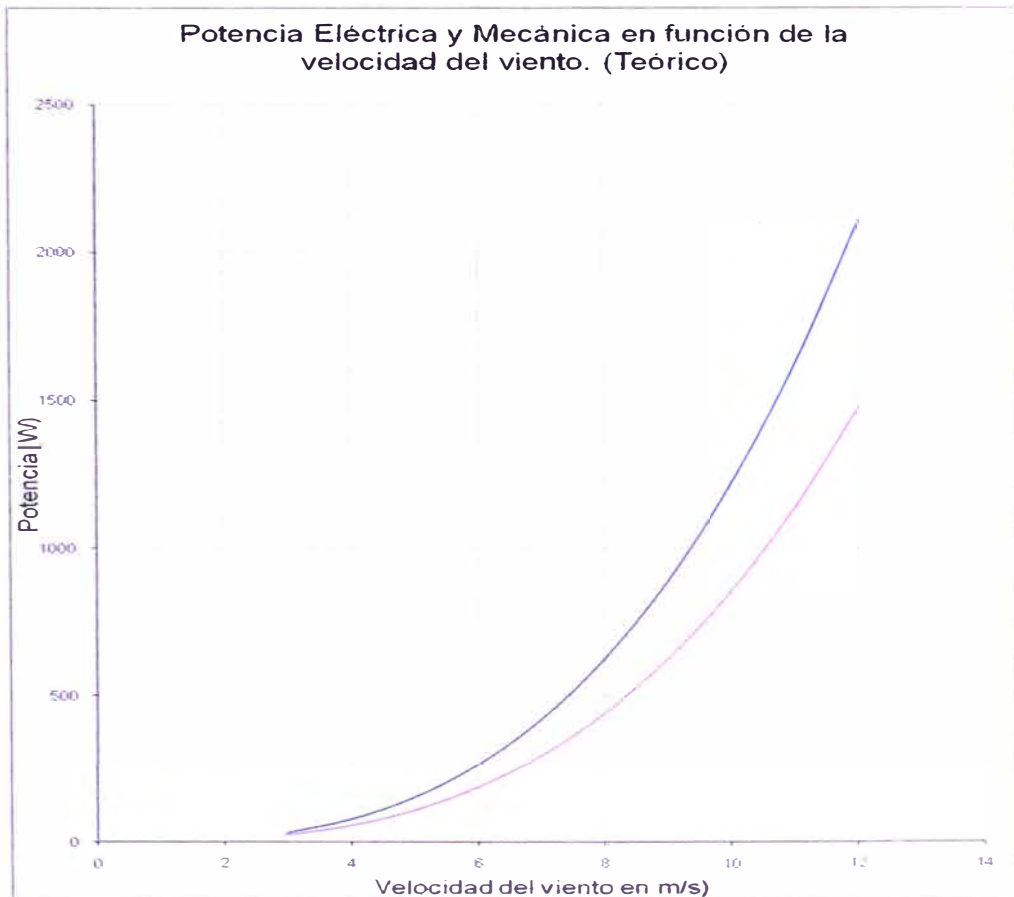


Gráfico 6.1

Curva teórica de la potencia Mecánica y Eléctrica en Función de la Velocidad del Viento, para el Prototipo de 500W

Diseño de perfiles de alabe según NACA 4412:

Datos de diseño:

$\lambda=6.7$

$r = 1.5\text{m}$ (longitud de los alabes para diseño)

Tabla 6.3
Angulo de Ataque y Largo de Sección de Alabe en Función del Radio del Rotor, Para el Prototipo de 500W

r	λr	ϕ	$\phi(\text{rad})$	B	C
0.075	0.300	48.87	0.853	43.87	0.24
0.150	0.600	39.36	0.687	34.36	0.32
0.225	0.900	32.01	0.559	27.01	0.32
0.300	1.200	26.54	0.463	21.54	0.29
0.375	1.500	22.46	0.392	17.46	0.26
0.450	1.800	19.37	0.338	14.37	0.24
0.525	2.100	16.98	0.296	11.98	0.21
0.600	2.400	15.08	0.263	10.08	0.19
0.675	2.700	13.55	0.236	8.55	0.17
0.750	3.000	12.29	0.215	7.29	0.16
0.825	3.300	11.24	0.196	6.24	0.15
0.900	3.600	10.35	0.181	5.35	0.14
0.975	3.900	9.59	0.167	4.59	0.13
1.050	4.200	8.93	0.156	3.93	0.12
1.125	4.500	8.35	0.146	3.35	0.11
1.200	4.800	7.85	0.137	2.85	0.10
1.275	5.100	7.40	0.129	2.40	0.10
1.350	5.400	6.99	0.122	1.99	0.09
1.425	5.700	6.63	0.116	1.63	0.09
1.500	6.000	6.31	0.110	1.31	0.08

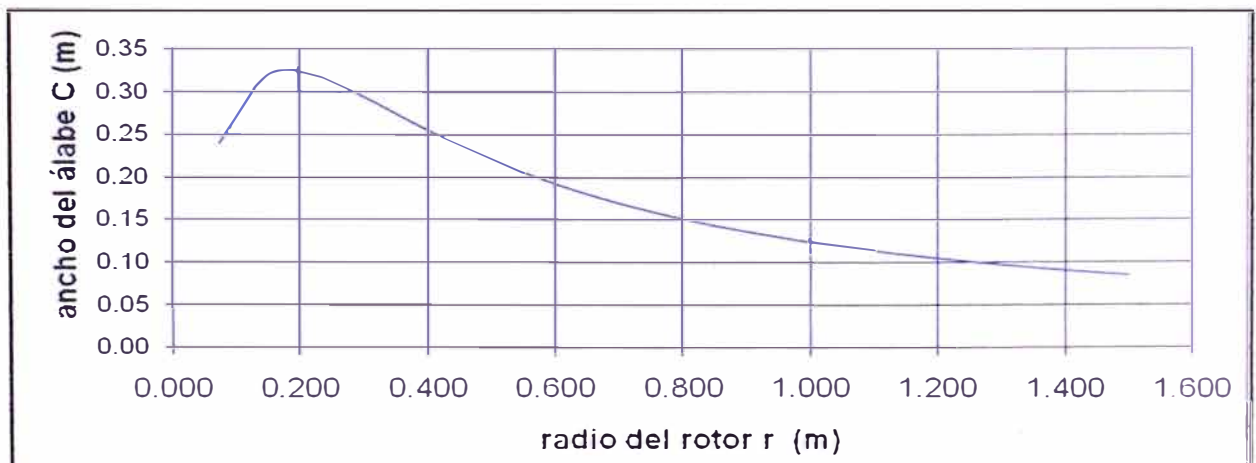


Gráfico 6.2

**Ancho de Sección de Alabe en Función del Radio del Rotor
Para el Prototipo de 500W**

Puntos de linealización

0.75	3.000	12.290	0.215	7.290	0.160
1.35	5.400	6.994	0.122	1.994	0.094

Tabla 6.4

**Angulo de Ataque y Largo de Sección de Alabe en Función del Radio del Rotor - Después de la linealización
Para el Prototipo de 500W**

r	$\Phi(\text{rad})$	Φ	B	C
0.075	0.2633	15.088	10.09	0.23
0.150	0.2550	14.612	9.61	0.23
0.225	0.2467	14.136	9.14	0.22
0.300	0.2384	13.660	8.66	0.21
0.375	0.2301	13.184	8.18	0.20
0.450	0.2218	12.707	7.71	0.19
0.525	0.2135	12.231	7.23	0.18
0.600	0.2052	11.755	6.76	0.18
0.675	0.1969	11.279	6.28	0.17
0.750	0.1885	10.803	5.80	0.16
0.825	0.1802	10.327	5.33	0.15
0.900	0.1719	9.851	4.85	0.14
0.975	0.1636	9.375	4.37	0.14
1.050	0.1553	8.899	3.90	0.13
1.125	0.1470	8.423	3.42	0.12
1.200	0.1387	7.946	2.95	0.11
1.275	0.1304	7.470	2.47	0.10
1.350	0.1221	6.994	1.99	0.09
1.425	0.1138	6.518	1.52	0.09
1.500	0.1055	6.042	1.04	0.08

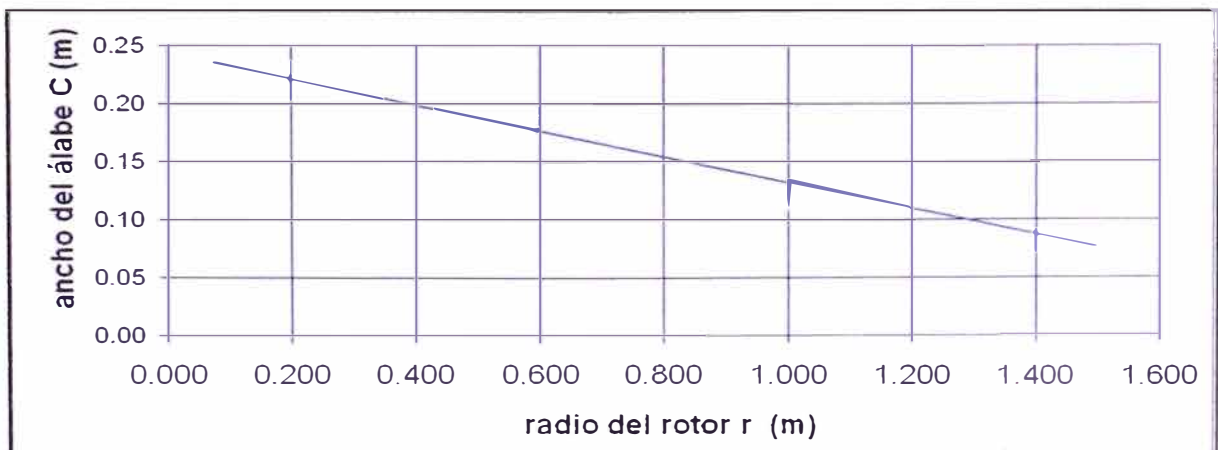
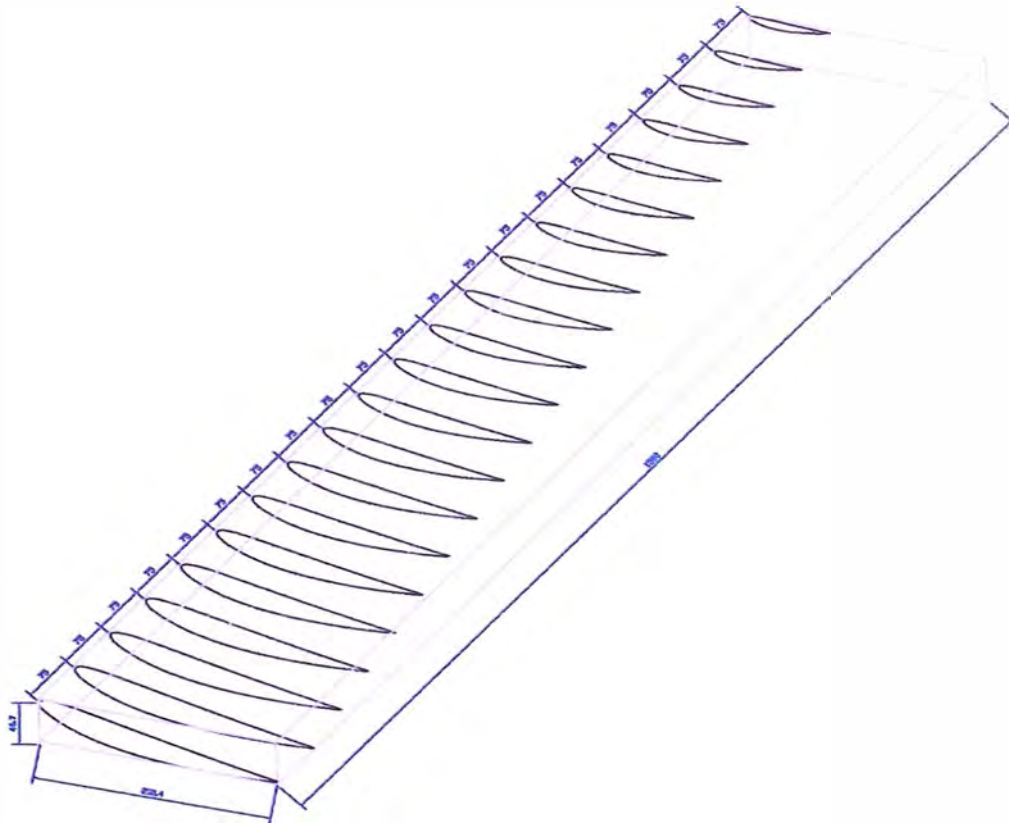


Gráfico 6.3

Ancho de Sección de Alabe en función del radio del Rotor

**Después de la Linealización
Para el Prototipo de 500W**

Los cuadros con las dimensiones de los perfiles de los alabes para el aerogenerador de 500 W se encuentran en el ANEXO D.



Dimensiones en mm

Gráfico 6.4
Vista Isométrica de Alabe, Siguiendo los Perfiles Obtenidos.
Diseño final del Prototipo.

6.2. Diseño del modelo del Generador Eléctrico.

Debido a que el generador eléctrico del prototipo es de 500 W, deberá tener unos imanes con una capacidad de magnetización superior al del modelo, por lo que se escoge imanes de NdFeB – N35, ya que estos tienen un Campo magnético remanente de 1,192 T.

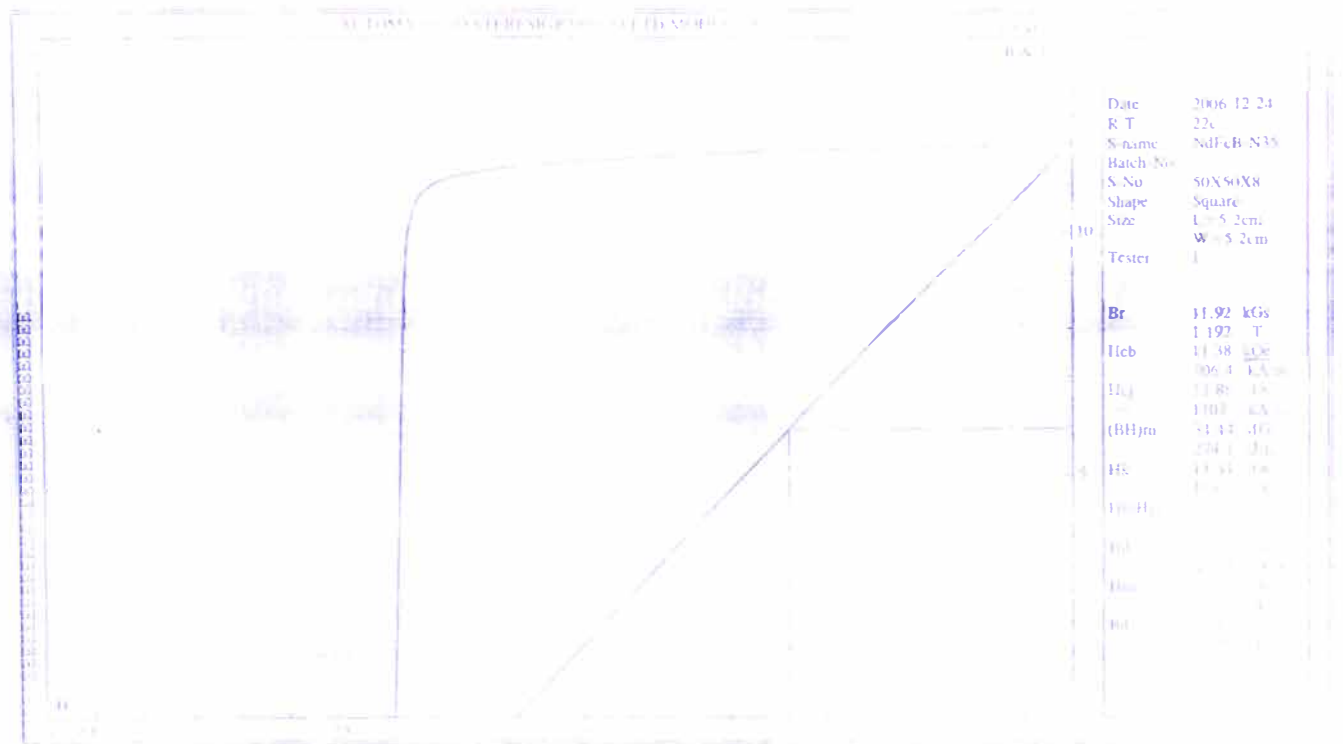


Gráfico 6.5
Hoja de Datos Técnicos de los Imanes de Ferrita NdFeB - N35
Para el Prototipo de Generador Eléctrico de 500W

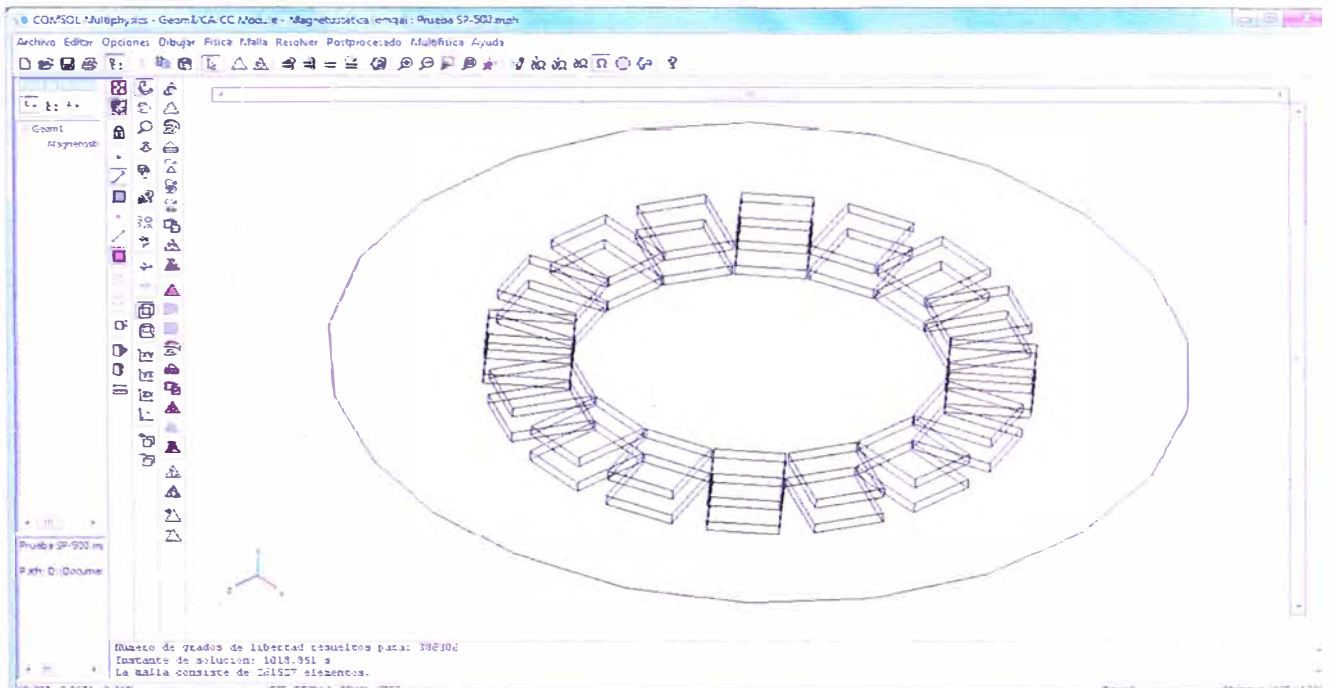


Gráfico 6.6
Arreglo de los Imanes, para el Prototipo de Generador Eléctrico de 500W
Software Comsol Multiphysics

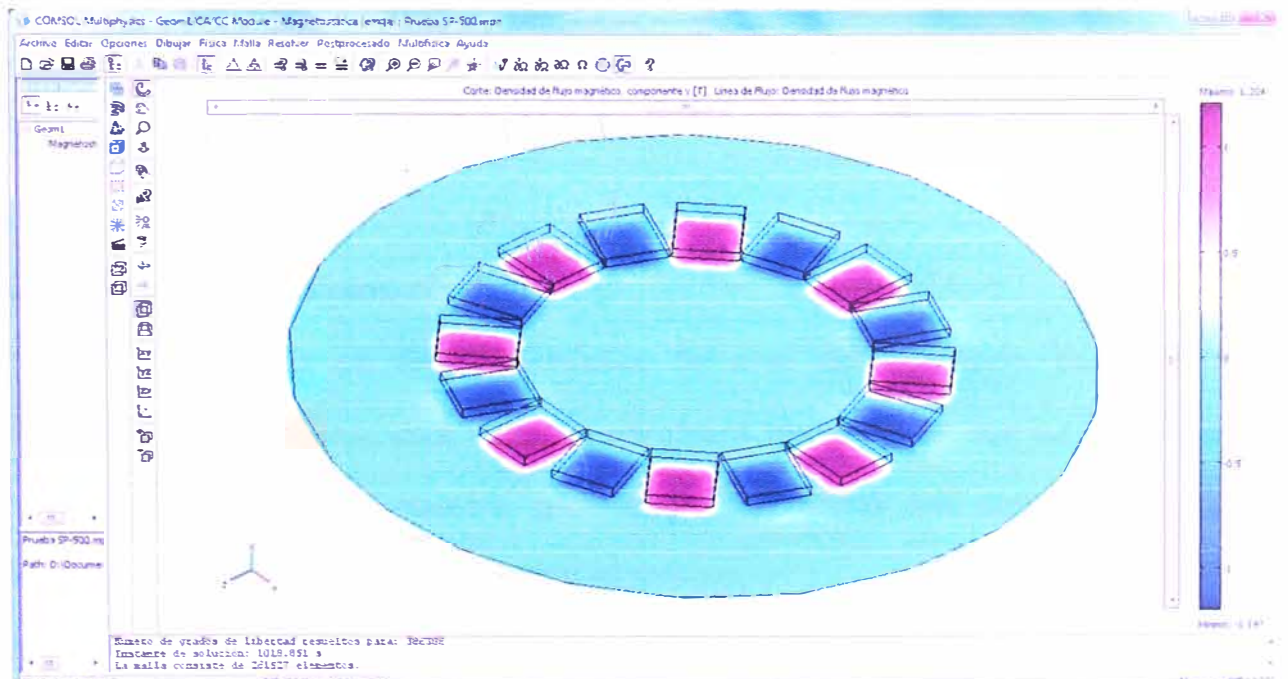


Gráfico 6.7
Resultados en el Software Comsol Multiphysics
Prototipo de 500W

Para el diseño del generador tenemos lo siguiente:

$N_o = 300$ rpm Velocidad de giro del rotor

$P = 16$ Número de Polos

Frecuencia del voltaje inducido

$$f = \frac{P \cdot N_o}{120} = 40.00 \text{ Hz} \quad (6.1)$$

Número de espiras:

Para el número de espiras por fase de nuestro generador se toma debido a que se necesita un desfase de 120° entre cada una de las fases eléctricas del circuito.

$N_c = 140$ Número de espiras por fase

$M_b = 2$ Número de bobinas por fase

El número de bobinas por fase se determina debido a que contamos con 6 bobinas, y dado que se trata de un sistema trifásico, a cada fase le corresponde 2 bobinas.

Número de espiras por bobina:

$$N_b = \frac{N_c}{M_b} = 70 \quad (6.2)$$

El número total de bobinas: $N_t = 6$

Cálculo del voltaje máximo de fase

Asumimos inicialmente un área del núcleo de aire, del bobinado, para realizar nuestros cálculos iniciales, este valor se cambiará teniendo en cuenta los valores del voltaje de salida de nuestro generador, así como las dimensiones que físicamente puedan tener las bobinas en el arreglo.

$A_n = 1367 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ Área del núcleo de aire

El cálculo del voltaje máximo de fase se realiza en vacío, es decir sin colocar ninguna carga al generador, y debido a que tenemos una variación del campo

magnético en forma sinusoidal, se utiliza la formula de generación de voltaje debido a un campo magnético con variación sinusoidal.

B_g : 1.138 T (De la simulación)

k_{v1} . : Factor de pérdida en la generación debido a la geometría del generador.

$k_{v1} = 0.34$ (De las pruebas del modelo)

Voltaje eficaz de Fase:

$$V_f = 4.44 \cdot k_{v1} \cdot N_c \cdot B_g \cdot A_n \cdot f = 31.39 \text{ V} \quad (6.3)$$

Voltaje pico de fase:

$$V_{fm} = \sqrt{2} \cdot V_f = 44.33 \text{ V} \quad (6.4)$$

Cálculo del voltaje pico de línea en vacío

El cálculo del voltaje pico de línea se realiza teniendo en cuenta de que se trata de un sistema trifásico con conexión en estrella

Voltaje pico de Línea en vacío:

$$V_{lmo} = \sqrt{3} \cdot V_{fm} = 76.79 \text{ V} \quad (6.5)$$

Curva teórica del Voltaje de línea en vacío:

Asumiendo que el voltaje que se genera por los imanes es de forma sinusoidal, entonces podemos aproximar, sin un mayor error, la forma que tendrían las ondas de voltaje en cada una de las fases.

Voltaje de línea en la fase A

$$V_{lineaa}(t) = V_{lmo} \cdot \sin(377 \cdot t) \quad (6.6)$$

Voltaje de línea en la fase B:

$$V_{lineab}(t) = V_{lmo} \cdot \sin\left(377t + 2\frac{\pi}{3}\right) \quad (6.7)$$

Voltaje de línea en la fase C

$$V_{lineac}(t) = V_{lmo} \cdot \sin\left(377t + 4\frac{\pi}{3}\right) \quad (6.8)$$

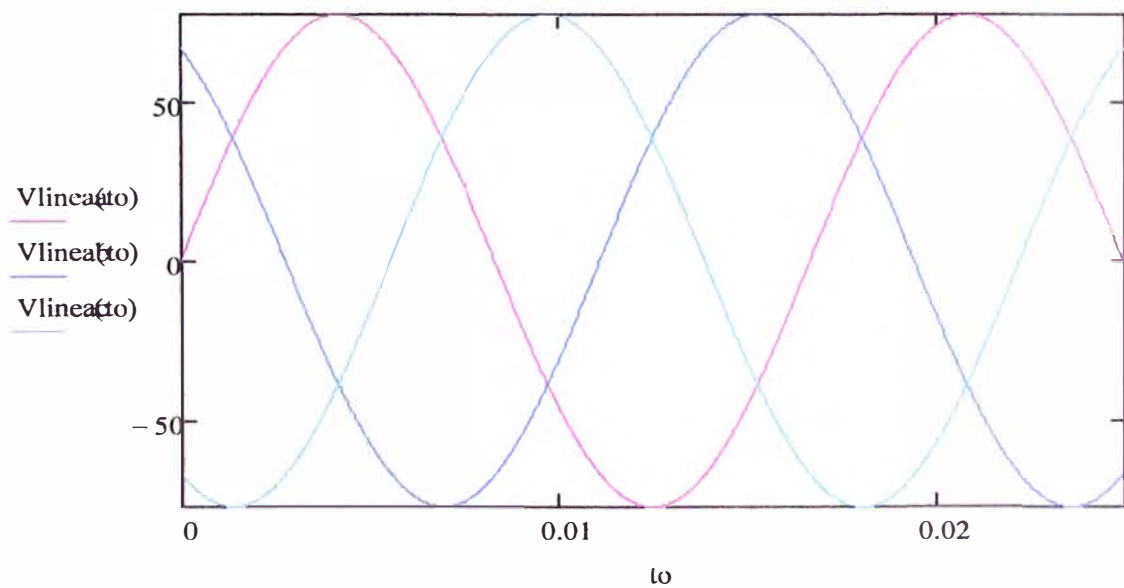


Gráfico 6.8
Curva teórica de voltaje en cada fase
Prototipo de Generador de 500W

Otra de las curvas características de un generador es la curva del voltaje pico de vacío en función de la velocidad de Giro del rotor (RPM)

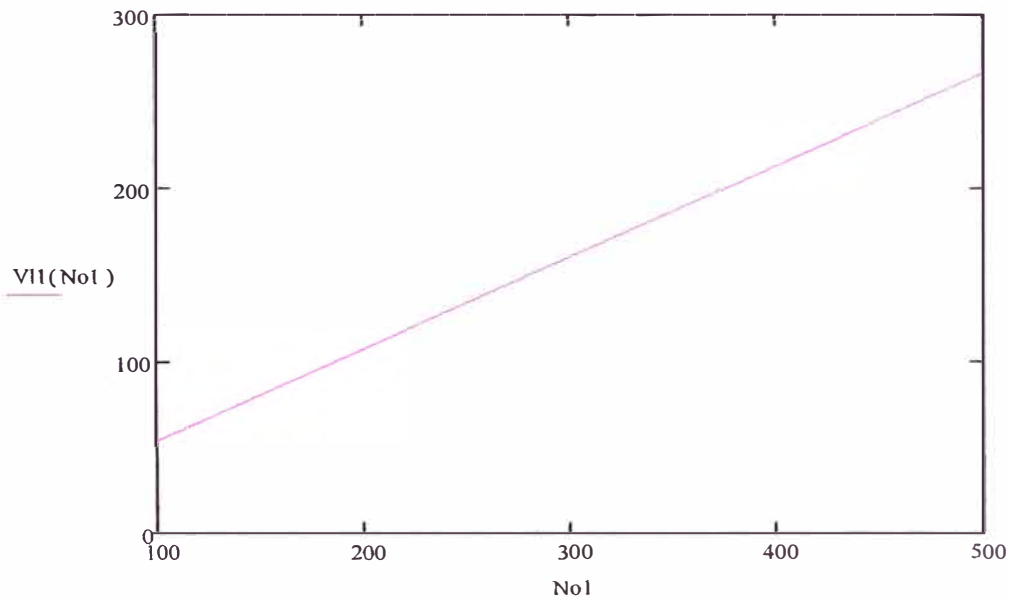


Gráfico 6.9
Curva de Voltaje Pico de Línea en Vacío en Función de la Velocidad del Rotor (RPM)

Cálculo de la corriente eficaz de línea

Dado que requerimos una potencia máxima específica indicada, y además no conocemos aun la caída de voltaje debido a la impedancia del conductor, asumimos que el voltaje de vacío será el voltaje de la carga, este valor debe de ser verificado al final, por tanto tendremos un valor inicial de la corriente de la carga, entonces tenemos que:

Asumimos un voltaje de carga de 26V

Pot:= 500

Potencia asumida para el cálculo

Voltaje eficaz de línea:

$$V_{ef} = \frac{26}{\sqrt{2}} = 18.38V \quad (6.9)$$

Corriente Eficaz de Línea:

$$I = \frac{Pot}{\sqrt{3} \cdot V_{ef}} = 15.70A \quad (6.10)$$

La Corriente eficaz de línea y de fase son iguales dado que se trata de un sistema trifásico con conexión en estrella.

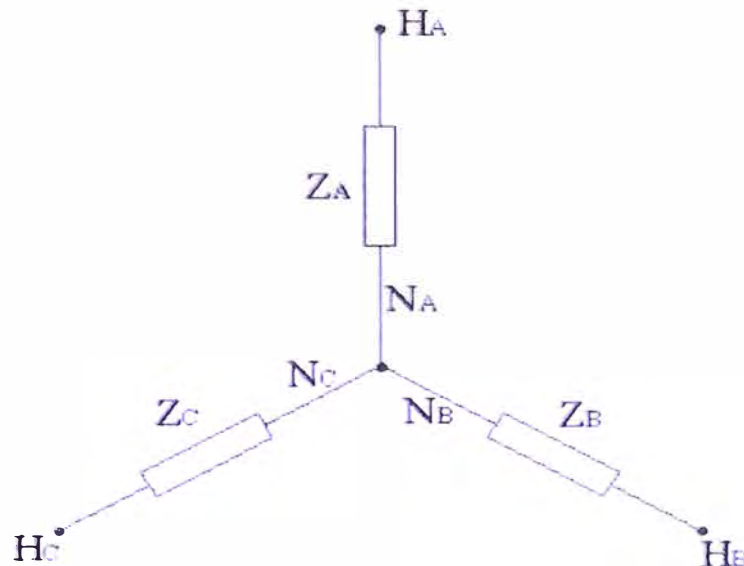


Gráfico 6.10
Esquema Triásico del Generador Eléctrico

Esquema del arreglo de las bobinas:

En la figura se muestra un esquema del arreglo del bobinado, que se hará finalmente, en el cual se muestran las dimensiones que podemos considerar correctas, de acuerdo con las condiciones físicas con las que contamos, como el espacio que debe ocupar el generador, así como los accesorios que se utilizarán, debe de dejarse un espacio adecuado para poder colocarlos.

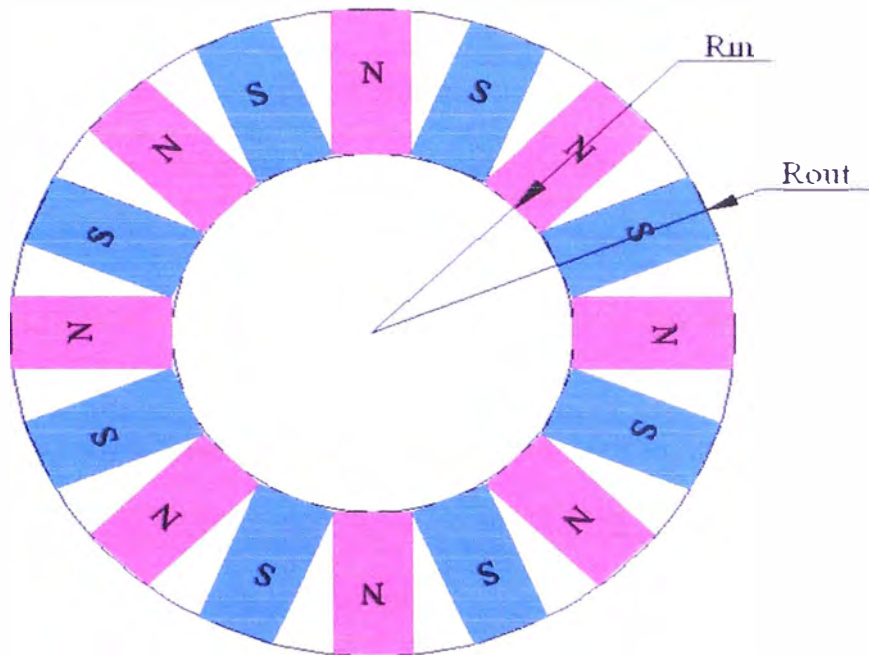


Gráfico 6.11
Esquema del Arreglo de Imanes en el Rotor del
Prototipo de Generador de 500W

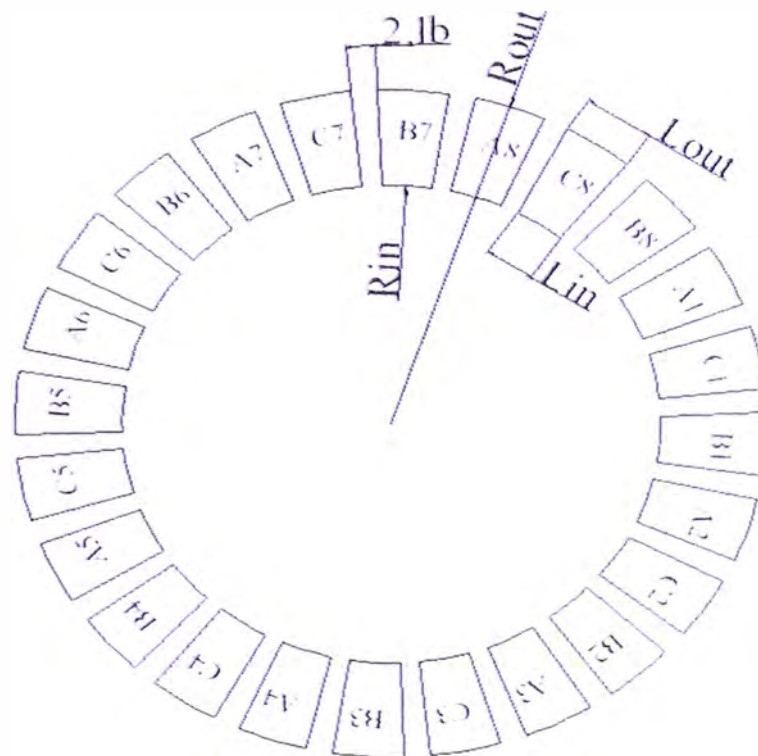


Gráfico 6.12
Esquema del Arreglo de las Bobinas del Generador Eléctrico del
Prototipo de 500W

Donde:

2.Lb : Es la separación entre los núcleos de las bobinas

Rout : Es el radio exterior del bobinado, el cual es casi igual al radio exterior de los imanes.

Rin: Es el radio interior del bobinado, el cual es igual al radio interior de los imanes.

Lout: Es la base mayor del trapecio, que forma el núcleo del bobinado

Lin: Es la base menor del trapecio, que forma el núcleo del bobinado

Rin = 0.126 m Se define de acuerdo al arreglo de los imanes.

Rout = 0.187 m Se toma así para que cubra todo el largo del imán.

Dimensiones de la bobina:

Para el dimensionado del bobinado, primeramente se debe de seleccionar el cable conductor que se va a utilizar.

Asumimos que la temperatura del ambiente esta aproximadamente a 30 °C y que la temperatura máxima de trabajo no sobrepasa los 75 °C, entonces tomamos un conductor calibre # 14 para nuestros cálculos iniciales.

Conductor de cobre a 75° C

Calibre del conductor AWG #14

Características del conductor AWG #14

Cmax = 40 Corriente máxima en A

Rc = 0.828 Resistencia Ω/100m

Dc = 0.00163 Diámetro en m

Ac = 0.0282 Área en cm²

Teniendo en cuenta la cantidad de espiras por bobina, hacemos un arreglo adecuado, para una buena distribución en el espacio con el que contamos.

Si tomamos como referencia la sección de corte de uno de los extremos de una de las bobinas, tenemos:

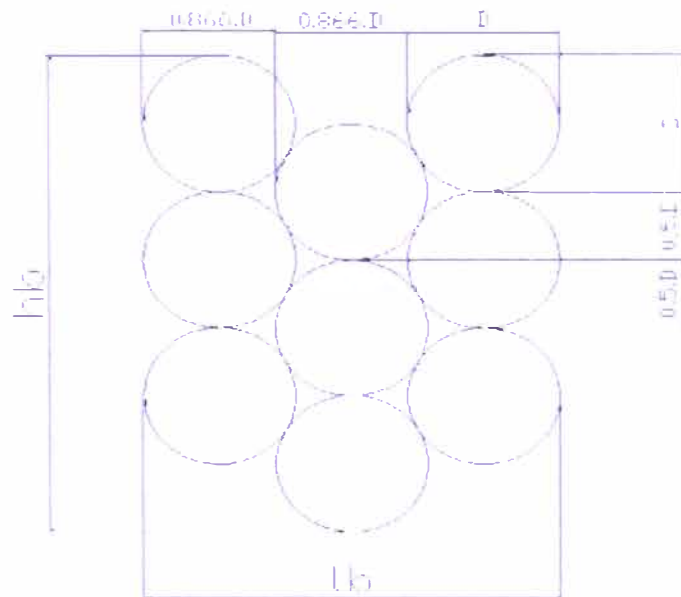


Gráfico 6.13
Esquema del Corte de Una de las Bobinas

Dado que en cada bobina tenemos 70 espiras, el arreglo más conveniente será:

$n_{ha} = 4$ Número de hilos en dirección l_b

$n_{hb} = 5$ Número de hilos en dirección h_b

$$l_b = D_c + 0.866 \cdot D_c \cdot (n_{ha} - 1) = 7.27 \text{ mm} \quad (6.11)$$

$$h_b = D_c \cdot 1.5 + (n_{hb} - 1) \cdot D_c = 7.33 \text{ mm} \quad (6.12)$$

Estas medidas son convenientes, dado que $h_b = 7.33$ mm es el espesor de la bobina y debe de caber dentro de la separación entre los imanes, el cual es de 20 mm.

Con estas dimensiones podemos ya calcular el área del núcleo de la bobina.

Primero calculamos los perímetros, interior y exterior, de las circunferencias que forman las bobinas.

Luego calculamos las dimensiones de los núcleos de las bobinas:

$$l_{in} = 20mm$$

$$l_{out} = 30mm$$

$$h_{bob} = R_{out} - R_{in} = 0.053m = 60mm \quad (6.13)$$

Finalmente podemos calcular el área de las bobinas:

$$A_{bob} = \frac{h_{bob}}{2} (l_{in} + l_{out}) = 1.629 \cdot 10^{-3} m^2 \quad (6.14)$$

Cálculo de la longitud del cable

Longitud media de cable en una vuelta:

$$L_{b1} = (l_{in} + l_b) + (l_{out} + l_b) + 2 \cdot \sqrt{(h_{bob} + l_b)^2 + \left(\frac{l_{out} - l_{in}}{2}\right)^2} = 0.206m \quad (6.15)$$

Longitud total de cable por fase:

$$L_c = N_c L_{b1} = 55.75m \quad (6.16)$$

Longitud total de cable:

$$L_t = 3 L_c = 173.24m \quad (6.17)$$

Cálculo del circuito eléctrico equivalente:

R_{in} : Radio interior del imán

R_{out} : Radio exterior del imán

k_{w1} : factor de enrollamiento

m_1 : número de fases

P : número de polos

N_c : número de espiras por fase

I : Corriente en el estator

g : Entrehierro

k_{fd} : factor de forma en dirección d

k_{fq} : factor de forma en dirección q

X_{ad} : Reactancia del eje directo

X_{aq} : Reactancia de eje en cuadratura

Tenemos que:

$$k_{w1} = 1$$

$$m_1 = 3$$

$$k_{fd} = 1.2$$

$$k_{fq} = 1.2$$

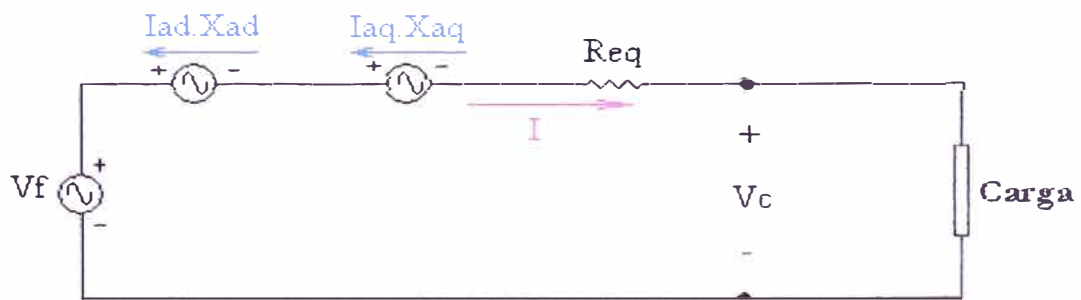


Gráfico 6.14
Circuito Eléctrico Equivalente del Generador - Para una Fase

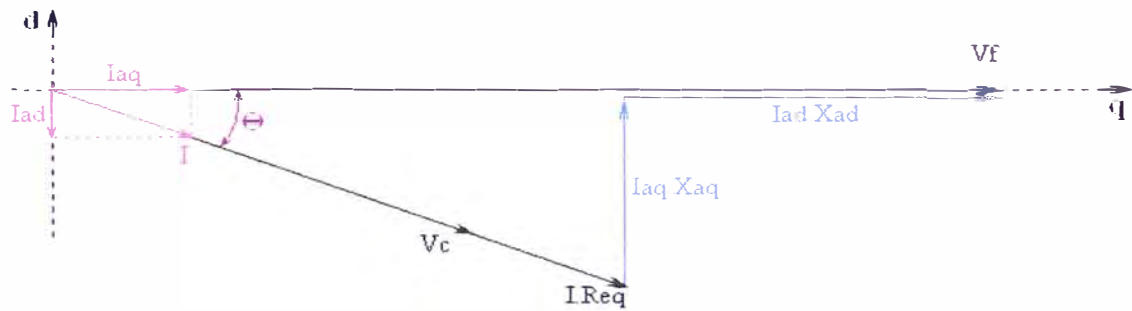


Gráfico 6.15
Diagrama Fasorial del Circuito - Para una Fase

Cálculo de la resistencia equivalente:

Resistencia del cable por bobina:

$$R_{bob} = \frac{R_c}{100} \cdot L_{b1} \cdot N_b = 0.05977 \Omega \quad (6.18)$$

Resistencia del cable por fase:

$$R_{eq} = R_{bob} \cdot M_b = 0.4782 \Omega \quad (6.19)$$

4. Cálculo de las reactancias:

$$g = \frac{\lg - hb}{2} \quad (6.20)$$

$$\lg l = 2 \cdot \left((g + 0,5 \cdot hb) + \frac{t}{\mu_{rec}} \right) = 0.031 \quad (6.21)$$

$$X_{ad} = 2 \cdot m_1 \cdot \mu \cdot f \left(\frac{N_c \cdot kw_1}{P} \right)^2 \cdot \left(\frac{R_{out}^2 - R_{in}^2}{\lg l} \right) \cdot k_{fd} = 0.07 \Omega \quad (6.22)$$

$$\lg q = 2 \cdot ((g + 0,5 \cdot hb) + t) = 0.036 \quad (6.23)$$

$$X_{aq} = 2 \cdot m_1 \cdot \mu \cdot f \left(\frac{N_c \cdot kw_1}{P} \right)^2 \cdot \left(\frac{R_{out}^2 - R_{in}^2}{\lg q} \right) \cdot k_{fq} = 0.059 \Omega \quad (6.24)$$

Para tener la potencia requerida por el sistema de 500 W, debemos tener una corriente diferente a la calculada anteriormente, por lo tanto se va probando la cantidad de corriente que se necesita. Con lo que llegamos a:

$$I = 11 \text{ A}$$

Del diagrama fasorial obtenemos las siguientes ecuaciones:

$$V_c = \sqrt{(V_f - I \cdot \sin(\theta) \cdot X_{ad})^2 + (I \cdot \cos(\theta) \cdot X_{aq})^2} - I \cdot R_c \quad (6.25)$$

$$\tan(\theta) = \frac{I \cdot \cos(\theta) \cdot X_{aq}}{I \cdot \sin(\theta) \cdot X_{ad}} \quad (6.26)$$

Solucionando el sistema de ecuaciones, tenemos:

$$V_c = 26.08 \text{ V}$$

Donde V_c es el voltaje eficaz por fase sobre la carga, para hallar el voltaje pico de línea se debe de tener en cuenta de que se trata de un sistema trifásico con conexión en estrella.

Entonces tenemos:

Voltaje pico de línea:

$$V_{ml} = \sqrt{6} \cdot V_c \quad V_{ml} = 63.883 \text{ V} \quad (6.27)$$

Potencia de la carga:

$$S_c = 3 \cdot V_c \cdot I = 860.6 \text{ W} \quad (6.28)$$

Potencia disipada por el conductor:

$$P_{cu} = 3 \cdot I^2 \cdot R_{eq} = 173.57 \text{ W} \quad (6.29)$$

Potencia necesaria en el eje: Sin considerar las pérdidas mecánicas

$$P_{eje} = S_c + P_{cu} = 1034.20 \text{ W} \quad (6.30)$$

Eficiencia del generador eléctrico:

$$\eta = \frac{S_c}{P_{eje}} = 83.21\% \quad (6.31)$$

CAPITULO 7

PUESTA A PUNTO Y PRUEBAS EN EL PROTOTIPO

CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO

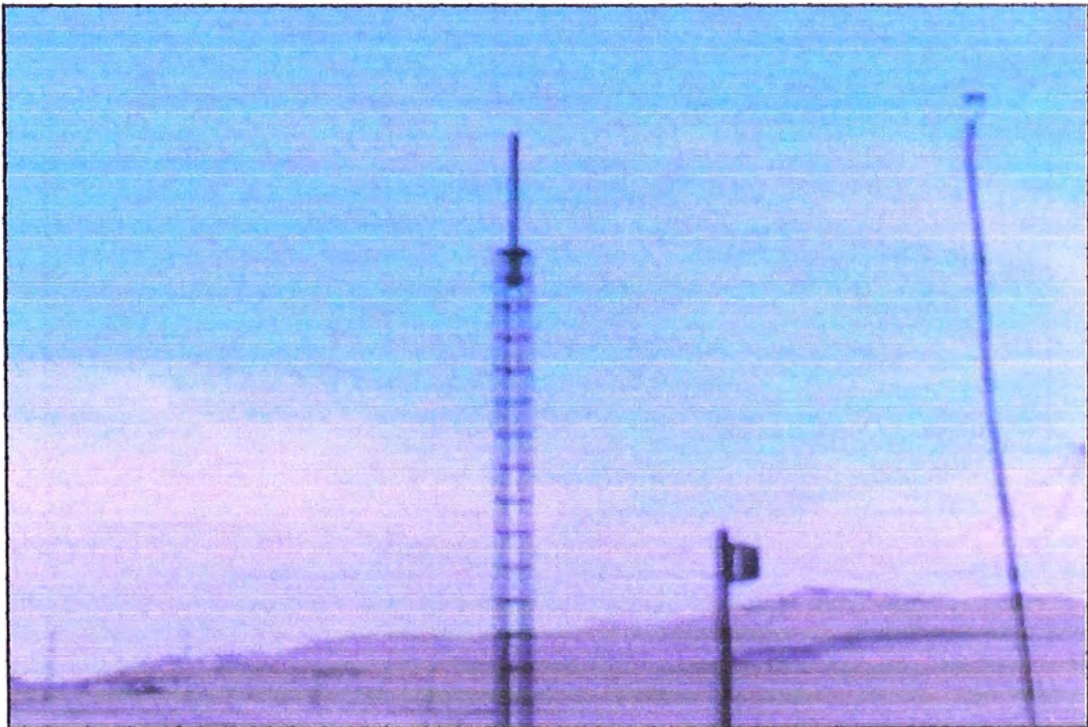


Gráfico 7.1
Torre Donde se Colocará el Prototipo de Aerogenerador

Lima - Huacho



Gráfico 7.2
Fijando la Base Donde se Colocará el Aerogenerador

Lima - Huacho



Gráfico 7.3
Colocando la Cola del Prototipo de Aerogenerador

Lima - Huacho

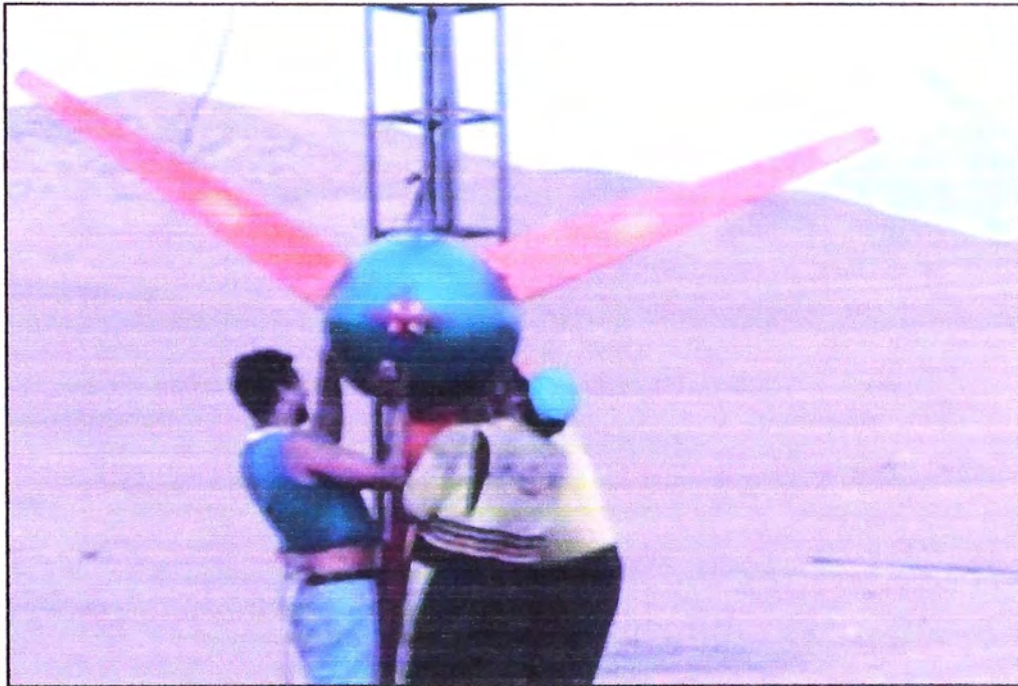


Gráfico 7.4
Subiendo el Rotor del Prototipo de Aerogenerador

Lima - Huacho



Gráfico 7.5
Subiendo el Rotor del Prototipo de Aerogenerador

Lima - Huacho



Gráfico 7.6
Colocando el Rotor del Prototipo de Aerogenerador
Lima - Huacho



Gráfico 7.6
Colocando el Rotor del Prototipo de Aerogenerador
Lima - Huacho

7.1 Pruebas del Prototipo de Generador Eléctrico.

7.1.1. Pruebas del Generador en Vacío

Tabla 7.1
Resultados de Pruebas de Generador Eléctrico de 500 W en Vacío

N°	Torque (mV)	Torque (N)	Frecuencia Inducida (Hz)	Vel.Rotor (RPM)	Voltaje AC (Vrms)	Voltaje AC (Vp)
1	-30.0	0.36	8.71	65.3	10.81	15.288
2	-29.5	0.38	11.11	83.3	13.88	19.629
3	-29.1	0.40	11.87	89.0	14.70	20.789
4	-28.7	0.41	12.50	93.8	15.50	21.920
5	-28.1	0.44	13.66	102.5	17.00	24.042
6	-27.8	0.45	14.81	111.1	18.40	26.022
7	-27.3	0.47	16.15	121.1	20.00	28.284
8	-26.9	0.48	18.00	135.0	22.50	31.820
9	-26.5	0.50	18.70	140.3	23.30	32.951
10	-26.1	0.52	20.10	150.8	25.10	35.497
11	-25.8	0.53	21.80	163.5	27.20	38.467
12	-25.4	0.54	23.50	176.3	29.20	41.295
13	-24.9	0.56	25.44	190.8	31.62	44.717
14	-24.5	0.58	27.20	204.0	33.88	47.914
15	-23.5	0.62	29.17	218.8	36.30	51.336
16	-22.9	0.64	31.00	232.5	38.60	54.589
17	-22.3	0.67	32.90	246.8	40.90	57.841
18	-21.7	0.69	35.00	262.5	43.50	61.518
19	-21.1	0.72	36.30	272.3	45.20	63.922
20	-20.6	0.74	38.60	289.5	48.00	67.882
21	-20.0	0.76	40.40	303.0	50.20	70.994

Prueba en vacío del generador eléctrico.

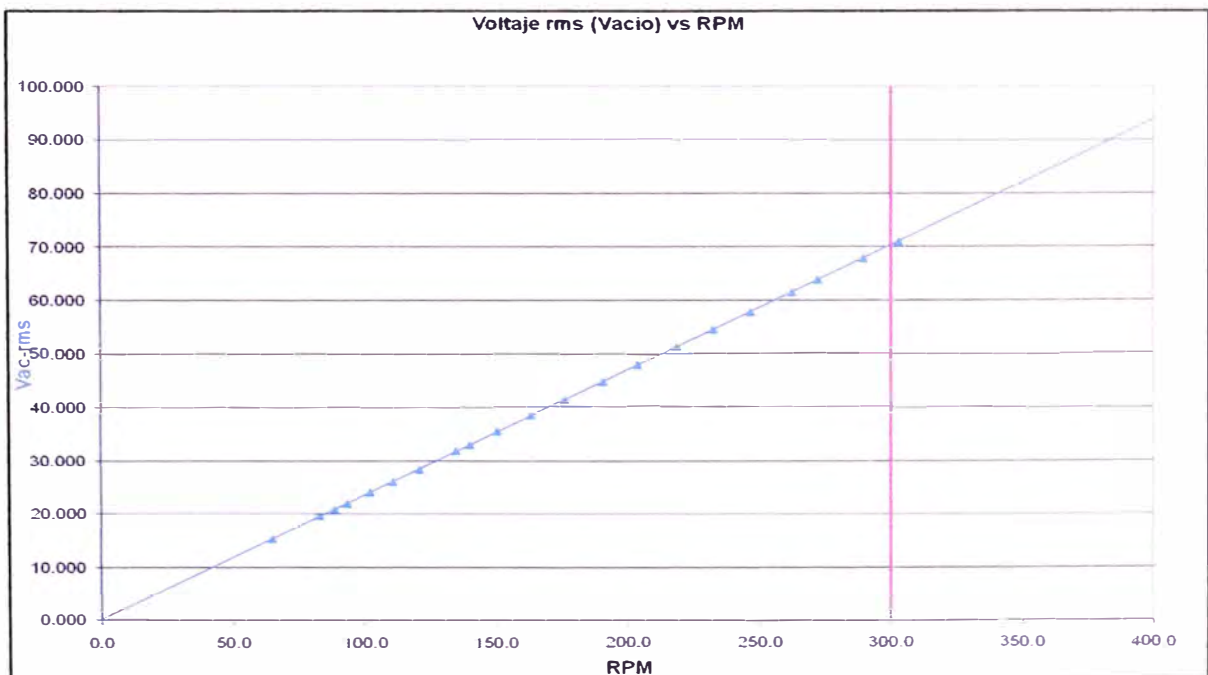


Gráfico 7.7
Voltaje Ac - Eficaz en función de la velocidad del Rotor. Prueba en Vacío

7.1.2. Pruebas del Generador Eléctrica con carga.

Pruebas del Generador Eléctrico a un Voltaje RMS AC constante de 15V

Tabla 7.2
Resultados de Pruebas de Generador Eléctrico de 500 W con Carga
Voltaje Pico Constante de 25.98V

Nº	Torque (N)	Fr. Inducida (Hz)	Vel.Rotor (RPM)	Voltaje AC (Vrms)	Voltaje AC (Vp)	Corriente AC (Arms)	Pot.Eje (W)	Pot.Elec.AC (W)	η_{gen} %
1	5.84	13.5	101.3	15.00	25.98	1.35	61.97	60.75	98.04
2	6.64	14.4	107.9	15.00	25.98	1.65	75.04	74.25	98.94
3	11.04	15.3	114.4	15.00	25.98	2.90	132.23	130.50	98.69
4	15.44	16.3	122.3	15.00	25.98	4.30	197.66	193.39	97.84
5	19.04	17.3	129.8	15.00	25.98	5.62	258.85	252.79	97.66
6	22.64	18.7	140.0	15.00	25.98	7.08	331.80	318.38	95.95
7	26.24	19.7	148.1	15.00	25.98	8.52	406.82	383.40	94.24
8	30.24	20.9	156.8	15.00	25.98	10.10	496.39	454.50	91.56
9	34.64	22.2	166.1	15.00	25.98	12.15	602.62	546.75	90.73
10	39.44	24.0	180.0	15.00	25.98	14.10	743.43	634.50	85.35
11	43.04	25.7	192.4	15.00	25.98	15.65	867.06	704.25	81.22
12	48.24	27.5	205.9	15.00	25.98	17.11	1040.02	769.95	74.03
13	53.04	29.6	222.0	15.00	25.98	17.89	1233.07	805.05	65.29
14	57.04	32.2	241.5	15.00	25.98	20.50	1442.53	922.50	63.95

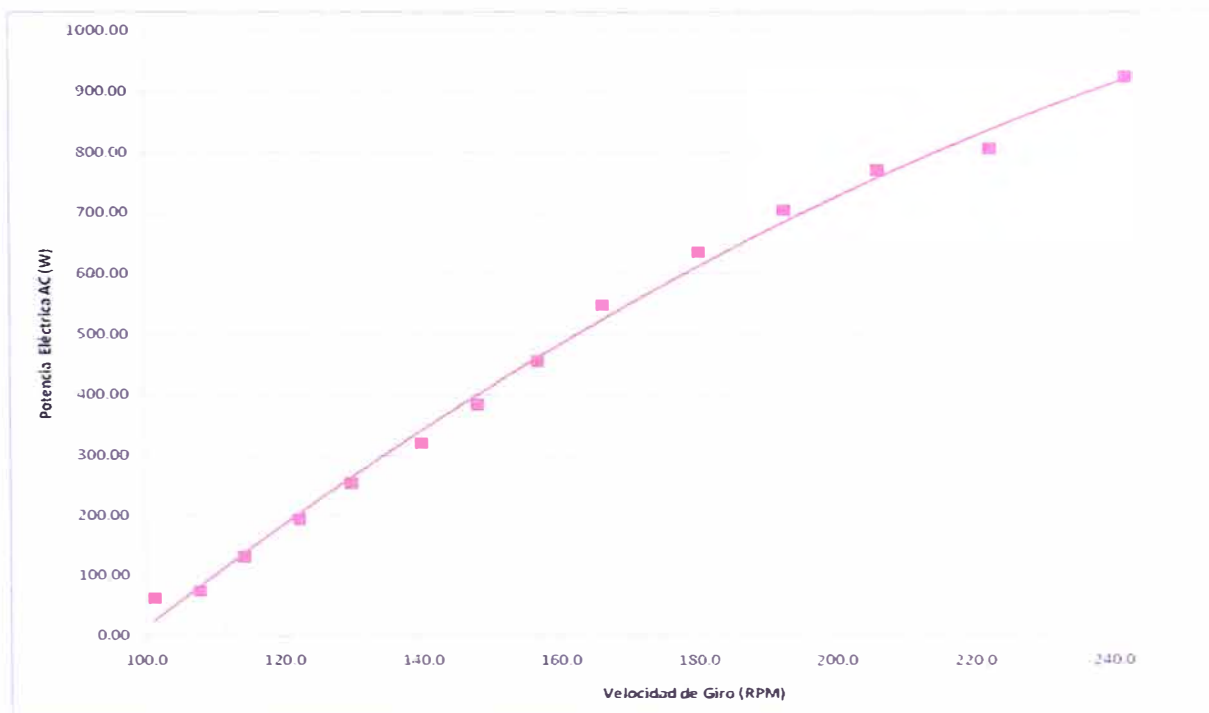


Gráfico 7.8
Potencia Eficaz AC en Función de la Velocidad del Rotor. Prueba con Carga
A Voltaje Pico Constante AC de 25.98V

7.1.3. Pruebas del Generador Eléctrico a un Voltaje RMS AC constante de 15V

Tabla 7.3
Resultados de Pruebas de Generador Eléctrico de 500 W con Carga
Voltaje Pico Constante de 36.37V

N°	Torque (N)	Fr. Inducida (Hz)	Vel.Rotor (RPM)	Voltaje AC (Vrms)	Voltaje Pico (Vp)	Corriente AC (Arms)	Pot.Eje (W)	Pot.Elec.AC (W)	η_{gen} %
1	4.04	18.00	135.0	21.00	36.37	1.08	57.11	39.28	68.78
2	6.84	18.90	141.8	21.00	36.37	2.21	101.53	80.38	79.17
3	10.44	19.96	149.7	21.00	36.37	3.50	163.66	127.31	77.79
4	13.24	21.10	158.3	21.00	36.37	4.63	219.41	168.41	76.75
5	16.44	22.10	165.8	21.00	36.37	5.80	285.35	210.96	73.93
6	18.84	22.81	171.1	21.00	36.37	6.91	337.52	251.34	74.47
7	22.44	24.09	180.7	21.00	36.37	8.22	424.57	298.99	70.42
8	26.04	25.18	188.9	21.00	36.37	9.42	514.98	342.63	66.53
9	30.44	26.60	199.5	21.00	36.37	10.91	635.94	396.83	62.40
10	34.44	27.88	209.1	21.00	36.37	12.30	754.13	447.39	59.33
11	38.84	29.70	222.8	21.00	36.37	13.95	906.00	507.40	56.01
12	42.84	31.10	233.3	21.00	36.37	15.30	1046.41	556.51	53.18
13	47.64	33.30	249.8	21.00	36.37	17.17	1245.97	624.53	50.12
14	51.24	34.97	262.3	21.00	36.37	18.45	1407.33	671.08	47.68
15	56.04	37.33	280.0	21.00	36.37	19.78	1643.04	719.46	43.79

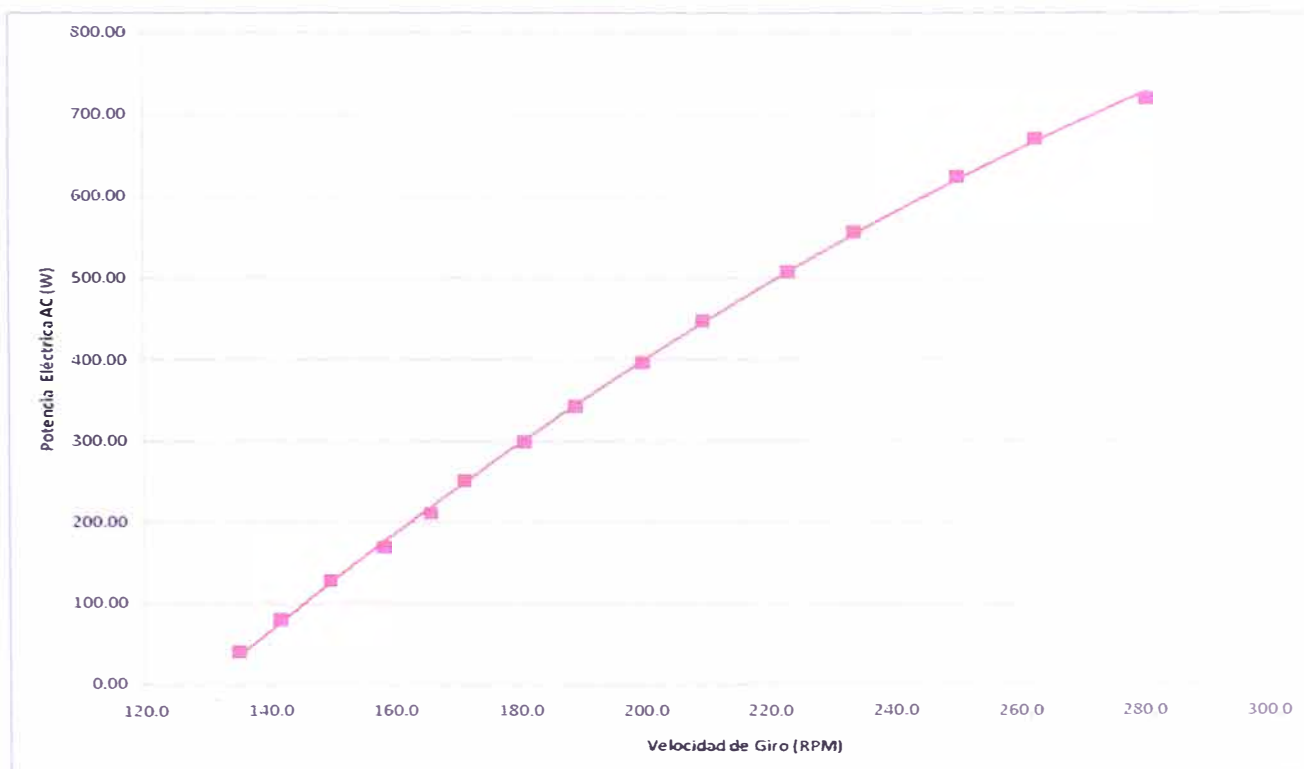


Gráfico 7.9
Potencia Eficaz AC en Función de la Velocidad del Rotor. Prueba con Carga
A Voltaje Pico Constante AC de 36.37V

7.2. Pruebas del Prototipo de Generador Eólico.

Para las pruebas se eligió un lugar cercano al mar ya que se encuentra cerca de Lima y es de fácil acceso. Huacho km 72 de la Panamericana Norte.

Tabla 7.3
Resultados de Pruebas del Aerogenerador de 500 W con Carga

	Velocidad Viento (m/s)	Frecuencia Rotor (Hz)	Velocidad Rotor (RPM)	Voltaje AC (V)	Voltaje Pico-AC (Vp)	Corriente AC (A)	Potencia Activa (W)	Potencia Reactiva (VAR)	Potencia Aparente (VA)
1	4.6	33.1	248.25	20.94	29.61	7.13	226	6	226.08
3	4.6	26.3	197.25	17.44	24.66	3.99	115	4	115.07
4	5.4	27.9	209.25	15.71	22.22	6.51	171	0	171.00
5	5.4	23.9	179.25	15.09	21.34	6.28	156	6	156.12
6	5.4	30.0	225.00	17.57	24.85	7.14	204	0	204.00
8	5.8	35.3	264.75	21.83	30.87	11.10	340	4	340.02
9	5.8	27.7	207.75	16.80	23.76	6.89	204	5	204.06
10	5.8	25.7	192.75	14.52	20.53	8.88	229	6	229.08
11	5.8	26.4	198.00	16.32	23.08	6.78	186	5	186.07
12	5.8	26.5	198.75	16.86	23.84	6.93	188	5	188.07
13	5.8	25.8	193.50	15.26	21.58	9.31	231	6	231.08
14	5.8	27.8	208.50	17.52	24.78	7.10	206	5	206.06
15	5.8	28.6	214.50	18.02	25.48	7.26	213	0	213.00
16	5.8	26.6	199.50	16.40	23.19	6.80	184	0	184.00
17	5.8	29.0	217.50	17.96	25.40	7.25	220	0	220.00
18	6.1	32.7	245.25	21.27	30.08	8.11	199	7	199.12
19	6.1	37.7	282.75	21.99	31.10	12.69	394	5	394.03
20	6.1	38.5	288.75	22.16	31.34	12.64	429	5	429.03
21	6.1	37.6	282.00	22.20	31.40	10.04	364	5	364.03
22	6.1	34.4	258.00	21.44	30.32	8.03	269	7	269.09
23	6.1	29.4	220.50	17.54	24.81	10.15	293	0	293.00
24	6.1	25.4	190.50	14.82	20.96	9.12	222	0	222.00
25	6.1	24.8	186.00	14.38	20.34	8.82	217	5	217.06
26	6.1	28.0	210.00	18.16	25.68	7.29	209	5	209.06
27	6.1	31.9	239.25	19.81	28.02	7.85	255	0	255.00
28	6.1	31.3	234.75	17.24	24.38	10.16	302	4	302.03
29	6.1	39.8	298.50	18.37	25.98	7.44	227	0	227.00
30	6.1	30.0	225.00	18.73	26.49	7.50	227	0	227.00
31	6.1	29.8	223.50	18.63	26.35	7.52	225	0	225.00
32	6.1	28.1	210.75	17.64	24.95	7.16	201	5	201.06
33	6.1	26.5	198.75	18.32	25.91	7.33	213	0	213.00
34	6.1	27.7	207.75	16.96	23.99	6.89	200	5	200.06
35	6.1	29.4	220.50	18.83	26.63	7.46	227	3	227.02
36	6.5	37.0	277.50	21.45	30.33	11.13	408	5	408.03
37	6.5	41.2	309.00	22.40	31.68	15.77	557	14	557.18
38	6.5	42.0	315.00	22.15	31.32	12.99	490	24	490.59
39	6.5	27.9	209.25	16.32	23.08	9.70	253	0	253.00
40	6.5	24.1	180.75	15.27	21.60	9.08	211	5	211.06
41	6.5	28.1	210.75	17.51	24.76	7.17	212	5	212.06
42	6.5	32.3	242.25	17.59	24.88	10.18	354	4	354.02
43	6.5	26.3	197.25	15.84	22.40	9.46	242	6	242.07
44	6.5	24.8	186.00	14.48	20.48	8.81	208	5	208.06
45	6.5	27.8	208.50	16.28	23.02	9.71	252	0	252.00
46	6.5	28.6	214.50	16.25	22.98	9.67	256	0	256.00
47	6.5	31.9	239.25	18.77	26.54	10.73	335	4	335.02
48	6.5	28.0	210.00	16.29	23.04	9.67	263	0	263.00
50	6.9	34.1	255.75	20.67	29.23	7.13	281	3	281.02
51	6.9	35.0	262.50	21.47	30.36	9.63	279	0	279.00
52	6.9	35.0	262.50	22.05	31.18	13.04	346	4	346.02
53	6.9	40.7	305.25	22.61	31.98	15.44	505	25	505.62
54	6.9	37.1	278.25	21.52	30.43	9.23	347	4	347.02
55	6.9	36.2	271.50	21.49	30.39	9.01	333	0	333.00
56	6.9	33.5	251.25	21.52	30.43	8.89	269	0	269.00
58	6.9	29.7	222.75	18.12	25.63	10.39	270	3	270.02
59	6.9	30.0	225.00	17.57	24.85	10.19	300	0	300.00
60	6.9	31.8	238.50	16.63	23.52	12.78	367	9	367.11
61	6.9	31.3	234.75	19.52	27.61	11.01	334	4	334.02
62	6.9	30.3	227.25	18.01	25.47	10.43	306	4	306.03
63	6.9	27.1	203.25	16.76	23.70	9.88	256	0	256.00
64	6.9	31.7	237.75	18.28	25.85	10.54	309	4	309.03
65	6.9	30.2	226.50	16.28	23.02	7.65	236	0	236.00
66	6.9	29.6	222.00	19.34	27.35	7.70	230	0	230.00
67	7.3	40.5	303.75	22.30	31.54	15.24	487	23	467.57
68	7.3	43.4	325.50	22.93	32.43	18.52	804	30	604.74
69	7.3	45.8	342.00	23.19	32.80	19.36	714	35	714.86
70	7.3	35.2	264.00	21.49	30.39	8.19	283	0	283.00

Tabla 7.3
Resultados de Pruebas del Aerogenerador de 500 W con Carga

72	7.3	32.3	242.25	19.24	27.21	10.93	347	9	347.12
73	7.3	30.9	231.75	18.57	26.28	10.59	301	7	301.08
74	7.7	31.2	234.00	20.95	29.63	8.34	214	5	214.06
75	7.7	38.0	285.00	21.55	30.48	11.25	399	5	399.03
76	7.7	34.7	260.25	21.37	30.22	10.10	324	0	324.00
77	7.7	37.0	277.50	21.66	30.63	10.83	372	5	372.03
78	7.7	39.1	293.25	21.88	30.94	11.67	426	10	426.12
79	7.7	41.4	310.50	22.33	31.58	14.04	525	13	525.18
80	7.7	36.4	273.00	21.55	30.48	9.18	324	0	324.00
81	7.7	37.3	279.75	21.76	30.77	10.25	369	5	369.03
82	7.7	38.3	287.25	22.12	31.28	11.80	422	10	422.12
83	7.7	38.2	286.50	21.93	31.01	10.43	367	9	367.11
84	8.0	38.7	290.25	21.75	30.78	11.62	447	11	447.14
85	8.0	44.9	336.75	23.19	32.80	18.95	674	42	675.31
86	8.0	36.0	270.00	21.78	30.80	11.36	351	0	351.00
87	8.0	39.0	292.50	22.39	31.66	13.97	469	12	469.15
88	8.0	40.7	305.25	22.49	31.81	13.63	473	23	473.56
89	8.4	41.9	314.25	21.92	31.00	13.48	471	23	471.56
90	8.4	41.5	311.25	22.61	31.98	16.43	547	13	547.15
91	8.4	40.6	304.50	22.11	31.27	13.78	479	24	479.60
92	8.4	41.5	311.25	22.60	31.96	16.27	549	27	549.66
93	8.4	46.7	350.25	23.32	32.98	19.97	765	47	766.44
94	8.4	42.6	319.50	22.33	31.58	14.05	592	29	592.71
95	8.4	40.2	301.50	21.86	30.91	11.83	470	23	470.56
96	8.4	40.2	301.50	22.61	31.98	14.31	501	12	501.14
97	8.8	45.5	341.25	23.66	33.48	21.35	753	46	754.40
98	8.8	41.6	312.00	22.68	32.07	17.39	601	30	601.75
99	8.8	45.7	342.75	22.30	31.54	15.00	496	24	496.58
100	8.8	45.4	340.50	23.21	32.82	19.63	708	35	708.86
101	8.8	44.3	332.25	22.36	31.62	15.00	606	37	607.13
102	8.8	43.7	327.75	22.80	32.24	17.63	647	32	647.79
103	8.8	42.9	321.75	22.60	31.96	16.37	608	30	608.74
104	8.8	43.6	327.00	22.68	32.07	17.21	642	40	643.24
105	8.8	46.3	347.25	22.81	32.26	16.33	629	39	630.21
106	8.8	43.7	327.75	22.94	32.44	17.12	618	30	618.73
107	8.8	47.3	354.75	23.27	32.91	18.96	607	37	608.13
108	8.8	40.7	305.25	22.50	31.82	14.49	505	25	505.62
109	8.8	42.3	317.25	22.70	32.10	15.09	577	28	577.68
110	9.0	44.9	336.75	22.80	32.24	17.64	668	41	669.26
111	9.2	41.8	313.50	22.22	31.42	15.24	565	14	565.17
112	9.2	40.7	305.25	22.47	31.78	16.17	529	13	529.16
113	9.2	46.2	346.50	23.44	33.15	20.73	786	48	787.46
114	9.2	43.3	324.75	22.88	32.36	17.81	618	30	618.73
115	9.2	43.4	325.50	22.78	32.22	15.91	594	29	594.71
116	9.2	42.7	320.25	22.87	32.34	16.48	599	29	599.70
117	9.2	44.3	332.25	23.12	32.70	17.56	649	32	649.79
118	9.6	49.8	373.50	23.90	33.80	20.49	806	70	809.03
119	9.6	41.4	310.50	22.54	31.88	16.43	552	27	552.66
120	9.6	44.7	335.25	23.14	32.72	19.74	731	45	732.38
121	9.6	44.6	334.50	22.66	32.05	17.37	674	33	674.81
122	9.6	44.3	332.25	22.84	32.30	17.74	677	33	677.80
123	9.6	43.8	328.50	22.88	32.36	17.68	640	31	640.75
124	9.6	46.1	345.75	23.05	32.60	18.57	707	43	708.31
125	9.6	45.9	344.25	23.34	33.01	19.25	712	35	712.86
126	10.0	47.0	352.50	23.52	33.26	21.40	792	49	793.51
127	10.0	44.3	332.25	23.18	32.78	19.81	709	35	709.86
128	10.0	46.5	348.75	23.24	32.87	20.01	771	47	772.43
129	10.0	46.3	347.25	23.37	33.05	20.81	711	61	713.61
130	10.0	47.1	353.25	23.22	32.84	19.68	774	48	775.49
131	10.0	48.4	363.00	23.63	33.42	22.20	806	70	809.03
132	10.0	45.8	343.50	23.05	32.60	18.63	712	35	712.86
133	10.0	45.0	337.50	22.98	32.50	17.71	676	33	676.80
134	10.0	48.1	360.75	23.61	33.39	20.26	783	68	785.95
135	10.3	49.0	367.50	23.38	33.06	21.34	908	56	909.73
136	10.3	47.6	357.00	23.45	33.16	21.34	844	52	845.60
137	10.3	47.0	352.50	23.35	33.02	20.62	783	48	784.47
138	10.3	48.8	366.00	23.95	33.87	23.33	848	52	849.59
139	10.3	49.6	372.00	23.73	33.56	22.34	886	54	887.64
142	10.3	50.2	376.50	23.69	33.50	20.99	935	81	938.50
143	10.7	47.7	357.75	23.38	33.06	20.40	804	49	805.49
144	10.7	47.0	352.50	23.63	33.42	21.47	799	49	800.50
145	10.7	48.4	363.00	23.92	33.83	23.17	865	53	866.62
146	10.7	50.7	380.25	24.56	34.73	26.01	991	85	994.84
147	11.1	51.1	383.25	24.16	34.17	24.11	963	59	964.81

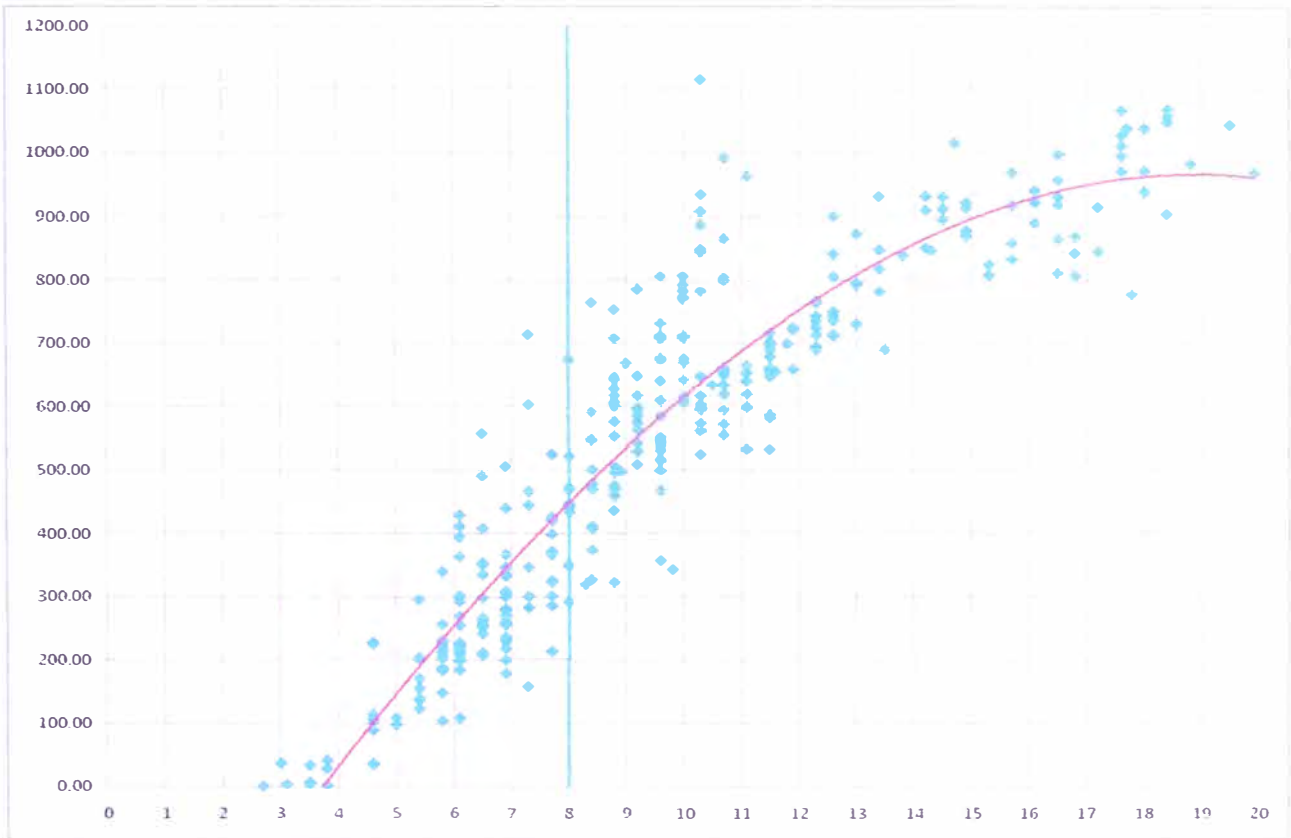


Gráfico 7.10.

Potencia de Aerogenerador en Función de la Velocidad del Viento Manteniendo el Voltaje a un Promedio de 22 Vrms y un Voltaje Pico de 31,32 Vp.

CAPITULO 8

RESULTADOS

Se observa en el gráfico 7.10 que a una velocidad de 8 m/s se obtiene una potencia eléctrica de 500W a un voltaje eficaz de 22V y un pico de voltaje de 31.32V, lo que es requerido por el proyecto, para la recarga de baterías de 24V.

Se observa en la tabla 7.3 que a una velocidad de viento de 6.9 m/s se llega a un voltaje capaz de iniciar la carga de las baterías. Aunque su potencia está por debajo de los 300 W.

Se observa en la tabla 7.3 que a partir de una velocidad 7.3 m/s ya se logra aproximadamente la potencia de diseño de 500W a un voltaje eficaz promedio de 22V y un voltaje eficaz de 30V.

Se observa en la tabla 7.3 que una velocidad de viento alrededor de 8 m/s se obtiene una potencia ligeramente superior a la requerida por el diseño.

Se observa en la tabla 7.3 que hasta los 10 m/s se obtiene potencias un poco elevadas pero dentro de un rango aceptable para el diseño del aerogenerador.

Se observa en la tabla 7.3 que a partir de los 10 m/s se obtienen potencias peligrosas para el sistema, ya que se obtiene corrientes muy elevadas por encima de los 20 amperios, lo cual genera una elevada temperatura en el rotor.

CONCLUSIONES

Se realizó la construcción y pruebas de un prototipo de aerogenerador que genere 500W de potencia eléctrica, a una velocidad de viento de 8 m/s con la capacidad suficiente para cargar baterías de 24V. Llegando a un voltaje pico de 31.32V (Ver Gráfico 7.1) con lo que se lograría, después de un rectificador de voltaje, un voltaje en corriente continua lo suficientemente elevada como para realizar la carga de una batería de 24V.

Se realizó un modelo matemático de un aerogenerador (Capítulo 6), consiguiendo en la práctica un resultado con un margen de error aceptable. Por lo que se podría realizar modelos y posteriormente prototipos según las características específicas del lugar, teniendo en cuenta la velocidad del viento.

Se realizó la construcción de un generador eléctrico de flujo axial (Ver punto 6.1) de fabricación local, utilizando materiales accesibles nacionalmente, solo se tendría que importar los imanes permanentes. Lo cual facilitaría el mantenimiento y el reemplazo de piezas en caso ocurra una falla sin tener que recurrir a personal altamente especializado, esto debido a la simpleza del modelo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Gieras ,Jacek.F.,Wang,Rong-Jie,Kamper,Maarten .I . Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machines –Kluwer Academic Publishers-2004.
2. Eguluz H. Ciro S. Diseño de un modelo experimental de un aerogenerador de baja potencia,para la zona norte del Perú .
3. Vizcarra E. Adolfo . Aerogenerador de 1 KW-DISEÑO DE LA TURBINA EÒLICA -UNI-Facultad de IngenieriaMecànica-1991.
4. Manual COMSOL MULTIPHISICS V 3.5.

ANEXOS

ANEXO A

SOLUCIONES PRÁCTICAS



CERTIFICADO DE PRÁCTICAS PRE-PROFESIONALES

Conste por el presente documento que el Señor:

PABLO GUSTAVO CÁRDENAS AQUINO

Ha realizado prácticas pre-profesionales en Intermediate Technology Development Group (ITDG), en el Programa de Energía Infraestructura y Servicios Básicos, desde el 25 de Agosto del 2007 hasta el 25 de Diciembre del 2007.

El Sr. Cárdenas ha apoyado en el desarrollo de micro generadores de imanes permanentes, de forma geométrica tipo disco y tipo cilíndrico de potencias de 50w a 1 kw.

Durante su permanencia en la Institución ha demostrado responsabilidad, habiendo trabajado a satisfacción las labores encomendadas.

Se expide el presente Certificado a solicitud del interesado para los fines que considere convenientes.

Lima, 10 de Enero del 2008



Rosario Ormeño Carranza
Jefe de Recursos Humanos

ANEXO B

Se procede a dimensionar los perfiles a un radio r.

(Las r ya han sido calculadas anteriormente)

SECCION 01				SECCION 02				SECCION 03			
X	Y(+)	Y(-)	Espesor	X	Y(+)	Y(-)	Espesor	X	Y(+)	Y(-)	Espesor
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.357	0.697	-0.409	1.106	0.347	0.677	-0.397	1.074	0.336	0.657	-0.385	1.042
0.715	0.969	-0.557	1.526	0.694	0.941	-0.541	1.482	0.673	0.913	-0.525	1.437
1.429	1.352	-0.712	2.064	1.388	1.313	-0.691	2.004	1.346	1.273	-0.670	1.943
2.144	1.646	-0.783	2.430	2.081	1.598	-0.760	2.359	2.019	1.550	-0.738	2.288
2.858	1.884	-0.818	2.701	2.775	1.829	-0.794	2.622	2.692	1.774	-0.770	2.544
4.288	2.255	-0.823	3.078	4.163	2.190	-0.799	2.989	4.038	2.124	-0.775	2.899
5.717	2.515	-0.783	3.299	5.550	2.442	-0.760	3.202	5.384	2.369	-0.738	3.106
7.146	2.690	-0.715	3.404	6.938	2.611	-0.694	3.305	6.730	2.533	-0.673	3.206
8.575	2.790	-0.646	3.436	8.325	2.709	-0.627	3.336	8.075	2.627	-0.608	3.235
11.434	2.801	-0.515	3.316	11.100	2.720	-0.500	3.219	10.767	2.638	-0.485	3.123
14.292	2.627	-0.400	3.027	13.876	2.550	-0.389	2.939	13.459	2.474	-0.377	2.851
17.150	2.327	-0.286	2.613	16.651	2.259	-0.278	2.536	16.151	2.191	-0.269	2.460
20.009	1.912	-0.186	2.098	19.426	1.857	-0.180	2.037	18.843	1.801	-0.175	1.976
22.867	1.398	-0.111	1.509	22.201	1.357	-0.108	1.465	21.535	1.316	-0.105	1.421
25.726	0.775	-0.063	0.838	24.976	0.752	-0.061	0.813	24.226	0.729	-0.059	0.789
27.155	0.420	-0.046	0.466	26.364	0.408	-0.044	0.452	25.572	0.396	-0.043	0.439
28.584	0.037	-0.037	0.074	27.751	0.036	-0.036	0.072	26.918	0.035	-0.035	0.070
28.584	0.000	0.000	0.000	27.751	0.000	0.000	0.000	26.918	0.000	0.000	0.000

SECCION 04				SECCION 05				SECCION 06			
X	Y(+)	Y(-)	Espesor	X	Y(+)	Y(-)	Espesor	X	Y(+)	Y(-)	Espesor
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.326	0.636	-0.373	1.010	0.316	0.616	-0.361	0.977	0.305	0.596	-0.349	0.945
0.652	0.884	-0.509	1.393	0.631	0.856	-0.492	1.348	0.610	0.828	-0.476	1.304
1.304	1.234	-0.650	1.883	1.263	1.194	-0.629	1.823	1.221	1.155	-0.608	1.763
1.956	1.503	-0.715	2.217	1.894	1.455	-0.692	2.146	1.831	1.407	-0.669	2.076
2.609	1.719	-0.746	2.465	2.525	1.664	-0.722	2.386	2.442	1.609	-0.698	2.308
3.913	2.058	-0.751	2.809	3.788	1.992	-0.727	2.720	3.663	1.927	-0.703	2.630
5.217	2.296	-0.715	3.010	5.050	2.222	-0.692	2.914	4.884	2.149	-0.669	2.818
6.521	2.455	-0.652	3.107	6.313	2.376	-0.631	3.008	6.105	2.298	-0.610	2.908
7.826	2.546	-0.590	3.135	7.576	2.465	-0.571	3.035	7.326	2.383	-0.552	2.935
10.434	2.556	-0.470	3.026	10.101	2.475	-0.455	2.929	9.768	2.393	-0.440	2.833
13.043	2.397	-0.365	2.762	12.626	2.321	-0.354	2.674	12.210	2.244	-0.342	2.586
15.651	2.123	-0.261	2.384	15.151	2.056	-0.253	2.308	14.652	1.988	-0.244	2.232
18.260	1.745	-0.170	1.915	17.677	1.689	-0.164	1.854	17.094	1.634	-0.159	1.792
20.868	1.276	-0.102	1.377	20.202	1.235	-0.098	1.333	19.538	1.194	-0.095	1.289
23.477	0.707	-0.057	0.784	22.727	0.684	-0.056	0.740	21.978	0.662	-0.054	0.715
24.781	0.383	-0.042	0.425	23.990	0.371	-0.040	0.412	23.199	0.359	-0.039	0.398
26.085	0.034	-0.034	0.068	25.252	0.033	-0.033	0.066	24.419	0.032	-0.032	0.063
26.085	0.000	0.000	0.000	25.252	0.000	0.000	0.000	24.419	0.000	0.000	0.000

SECCION 16

X	Y(+)	Y(-)	Espesor
0.000	0.000	0.000	0.000
0.201	0.393	-0.230	0.623
0.402	0.545	-0.314	0.859
0.805	0.761	-0.401	1.162
1.207	0.927	-0.441	1.368
1.609	1.060	-0.460	1.521
2.414	1.270	-0.463	1.733
3.218	1.416	-0.441	1.857
4.023	1.514	-0.402	1.916
4.827	1.570	-0.364	1.934
6.436	1.577	-0.290	1.866
8.045	1.479	-0.225	1.704
9.654	1.310	-0.161	1.471
11.263	1.076	-0.105	1.181
12.872	0.787	-0.063	0.850
14.481	0.436	-0.035	0.471
15.286	0.237	-0.026	0.262
16.090	0.021	-0.021	0.042
16.090	0.000	0.000	0.000

SECCION 17

X	Y(+)	Y(-)	Espesor
0.000	0.000	0.000	0.000
0.191	0.372	-0.218	0.590
0.381	0.517	-0.298	0.815
0.763	0.722	-0.380	1.102
1.144	0.879	-0.418	1.297
1.526	1.005	-0.436	1.442
2.289	1.204	-0.439	1.643
3.051	1.343	-0.418	1.761
3.814	1.436	-0.381	1.817
4.577	1.489	-0.345	1.834
6.103	1.495	-0.275	1.770
7.629	1.402	-0.214	1.616
9.154	1.242	-0.153	1.395
10.680	1.021	-0.099	1.120
12.206	0.746	-0.060	0.806
13.732	0.413	-0.034	0.447
14.495	0.224	-0.024	0.249
15.257	0.020	-0.020	0.040
15.257	0.000	0.000	0.000

SECCION 18

X	Y(+)	Y(-)	Espesor
0.000	0.000	0.000	0.000
0.180	0.352	-0.206	0.558
0.361	0.489	-0.281	0.770
0.721	0.682	-0.359	1.041
1.082	0.831	-0.395	1.226
1.442	0.951	-0.413	1.363
2.164	1.138	-0.415	1.554
2.885	1.269	-0.395	1.665
3.606	1.357	-0.361	1.718
4.327	1.408	-0.326	1.734
5.770	1.414	-0.260	1.673
7.212	1.326	-0.202	1.528
8.655	1.174	-0.144	1.318
10.097	0.965	-0.094	1.059
11.540	0.705	-0.056	0.762
12.982	0.391	-0.032	0.423
13.703	0.212	-0.023	0.235
14.425	0.019	-0.019	0.038
14.425	0.000	0.000	0.000

SECCION 19

X	Y(+)	Y(-)	Espesor
0.000	0.000	0.000	0.000
0.170	0.332	-0.194	0.526
0.340	0.461	-0.265	0.726
0.680	0.643	-0.338	0.981
1.019	0.783	-0.372	1.155
1.359	0.896	-0.389	1.284
2.039	1.072	-0.391	1.464
2.718	1.196	-0.372	1.568
3.398	1.279	-0.340	1.619
4.078	1.327	-0.307	1.634
5.437	1.332	-0.245	1.577
6.796	1.249	-0.190	1.439
8.155	1.106	-0.136	1.242
9.514	0.909	-0.088	0.998
10.873	0.665	-0.053	0.718
12.233	0.368	-0.030	0.398
12.912	0.200	-0.022	0.222
13.592	0.018	-0.018	0.035
13.592	0.000	0.000	0.000

SECCION 20

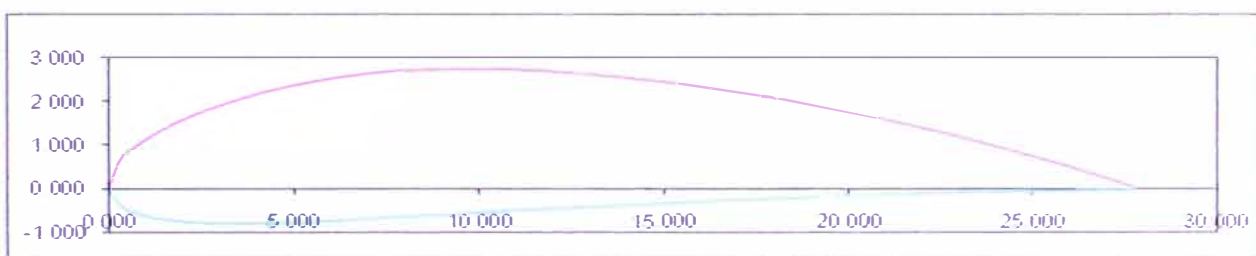
X	Y(+)	Y(-)	Espesor
0.000	0.000	0.000	0.000
0.159	0.311	-0.182	0.494
0.319	0.433	-0.249	0.681
0.638	0.603	-0.318	0.921
0.957	0.735	-0.350	1.084
1.276	0.841	-0.365	1.206
1.914	1.007	-0.367	1.374
2.552	1.123	-0.350	1.472
3.190	1.201	-0.319	1.520
3.828	1.245	-0.288	1.534
5.104	1.250	-0.230	1.480
6.379	1.173	-0.179	1.351
7.655	1.039	-0.128	1.166
8.931	0.854	-0.083	0.936
10.207	0.624	-0.050	0.674
11.483	0.346	-0.028	0.374
12.121	0.188	-0.020	0.208
12.759	0.017	-0.017	0.033
12.759	0.000	0.000	0.000

Por lo que se obtiene los perfiles de los alabes a una distancia r del centro del rotor.

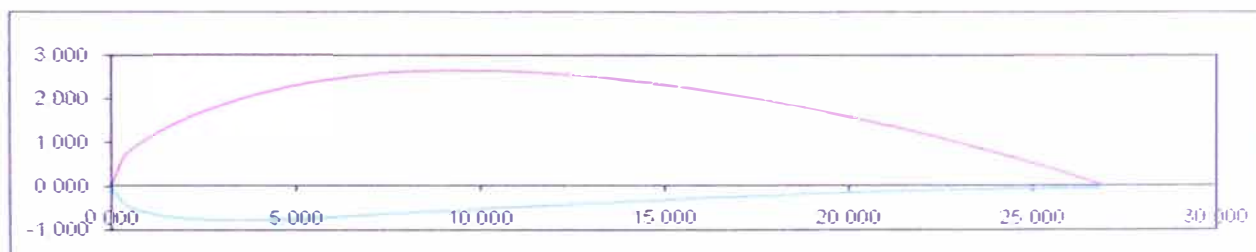
Sección 1



Sección 2



Sección 3



ANEXO C

Construcción del Modelo a escala.

Generador de 50W

Potencia nominal: 50W

Velocidad nominal: 800 rpm

Corriente nominal: 3.5A

Corriente máxima: 30A

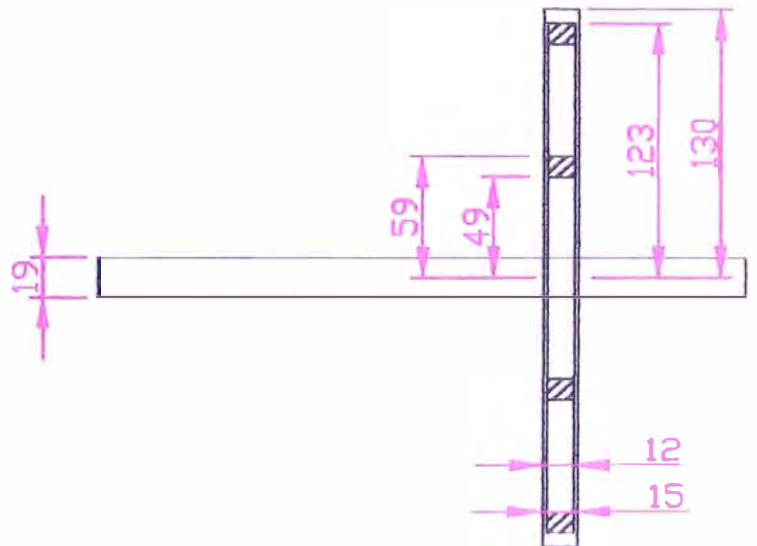
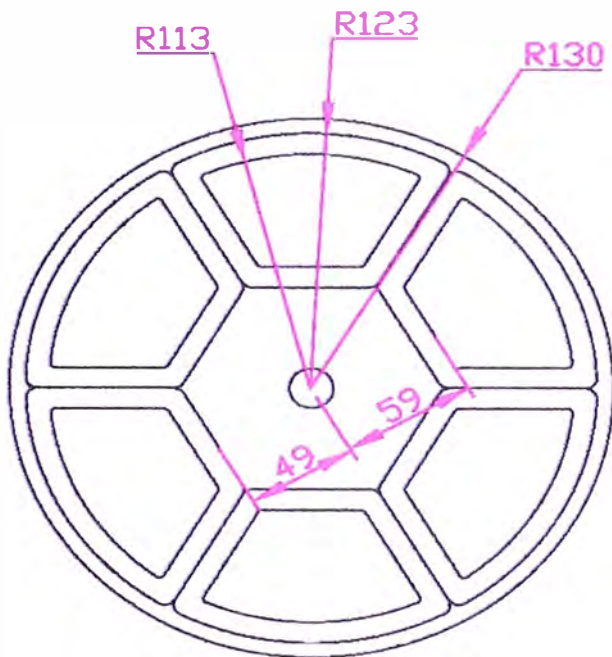
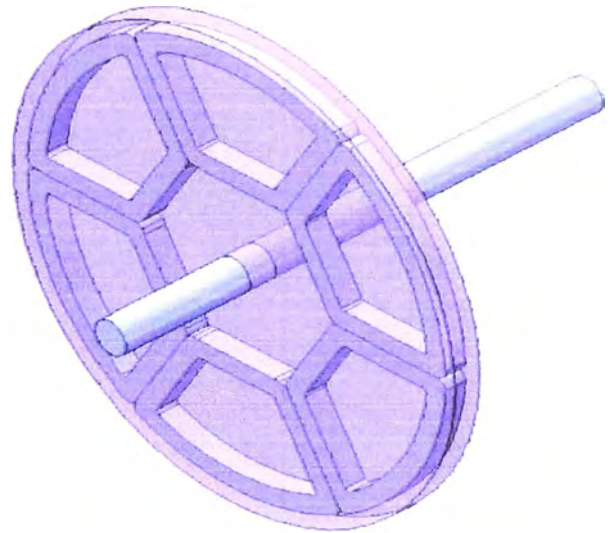
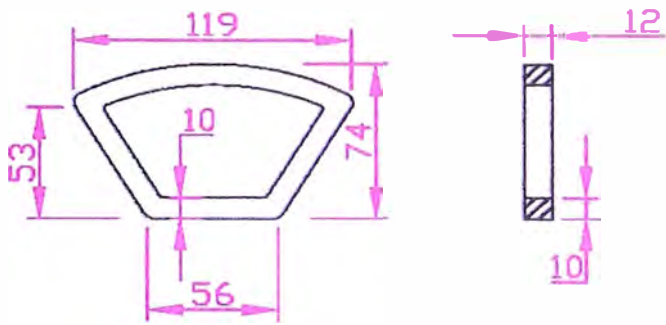
Número de polos: 8

Número de Bobinas: 6

Número de espiras por bobina: 70

Chumacera SKF FY504M

Disco de Bobinado

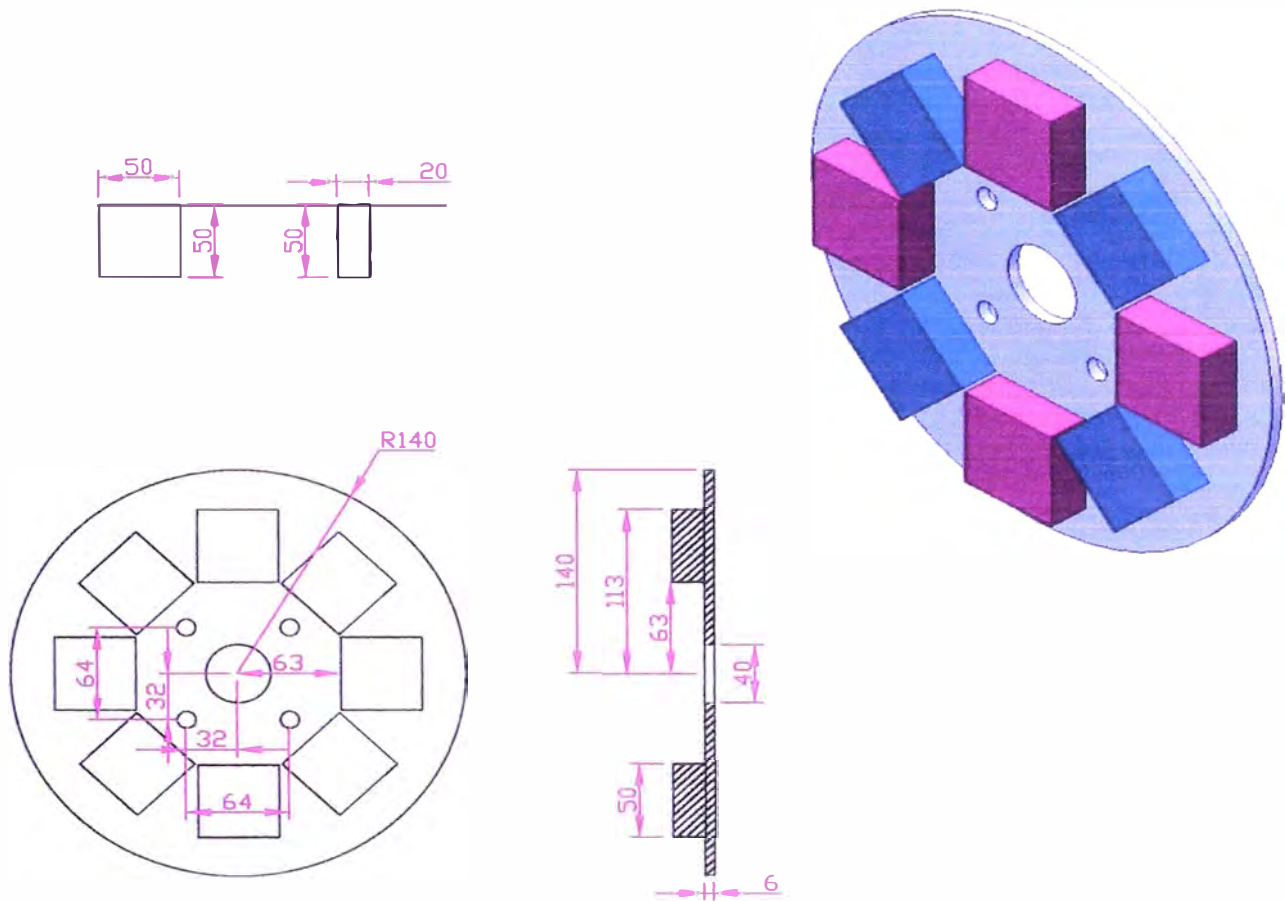


Nota:

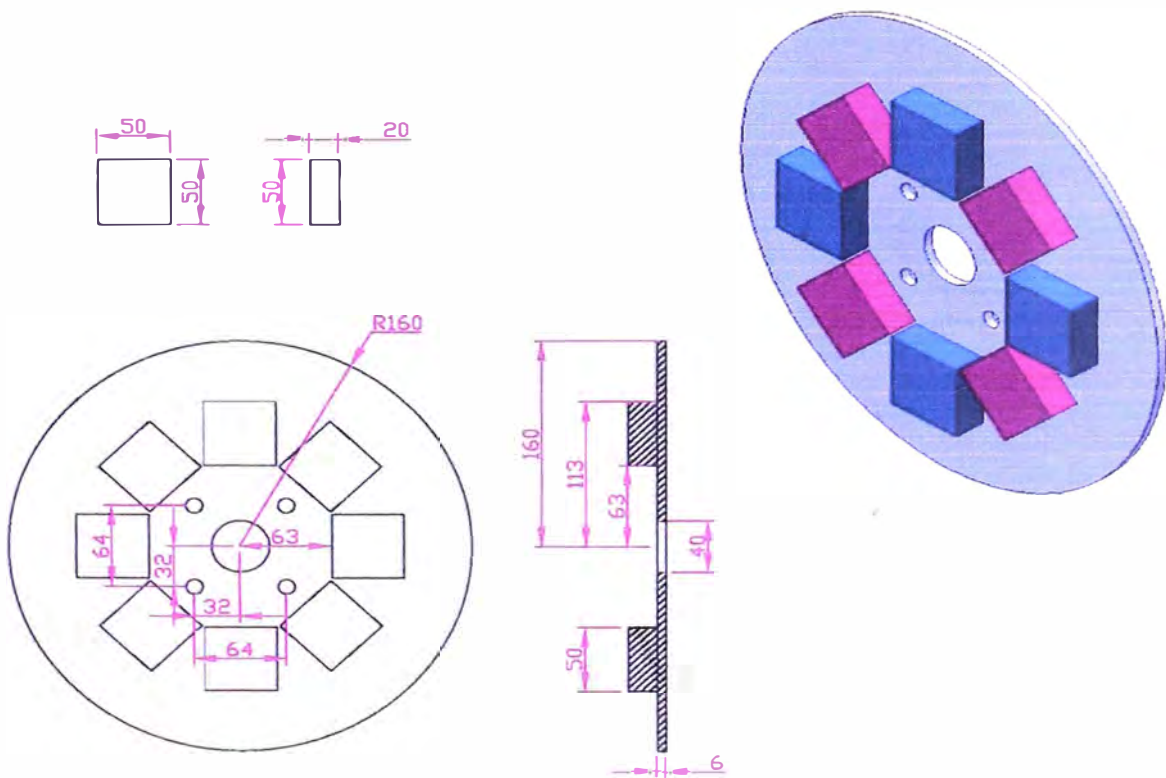
- Las bobinas tienen 70 espiras

- En la parte superior de la bobina es conveniente darle una curvatura para que encaje

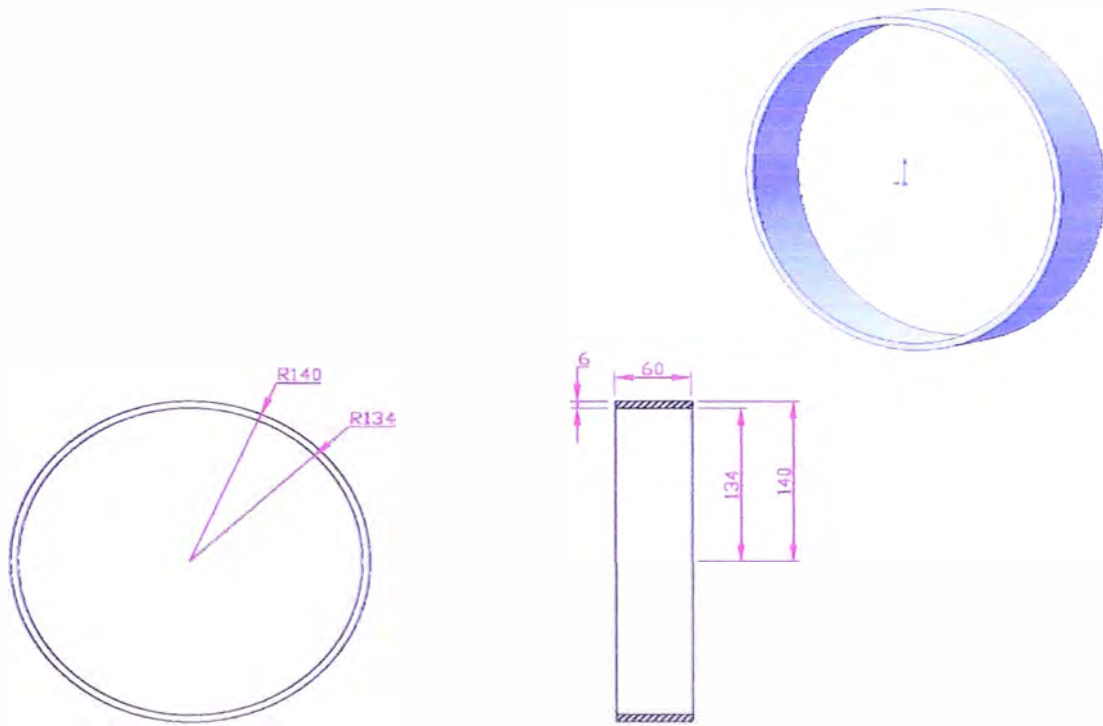
Tapa con imanes 1



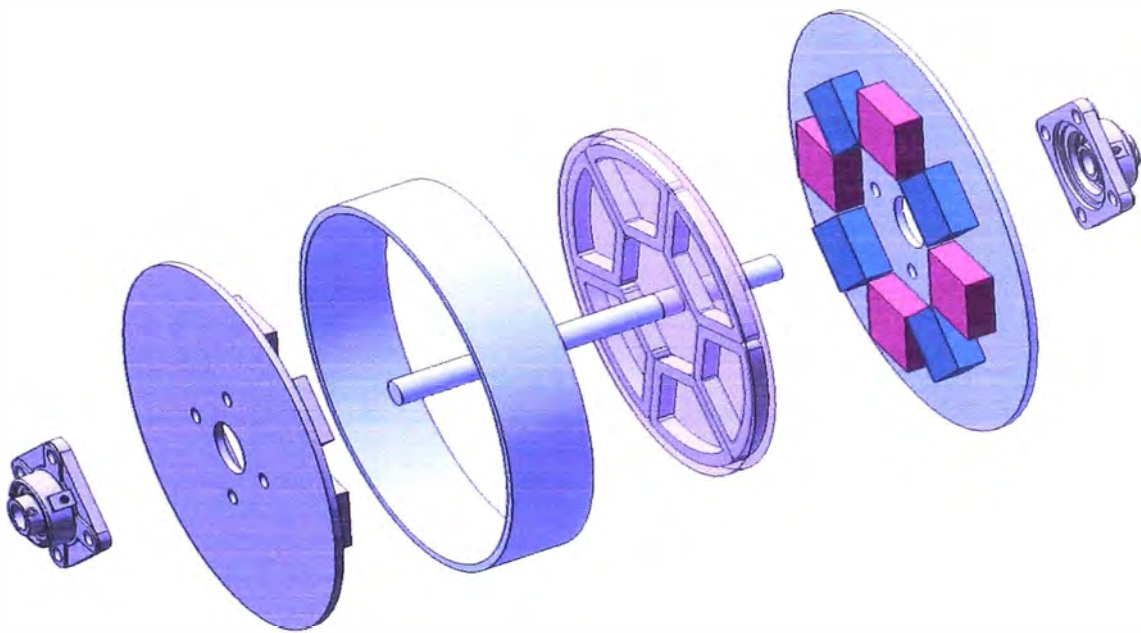
Tapa con imanes 2



Cubierta del generador



Vista de la estructura del generador eléctrico



Para el ensamblaje se utilizan pernos de 10mm o 2/8"

ANEXO D

Perfiles:

SECCION 01				SECCION 02				SECCION 03			
X	Y(+)	Y(-)	Espesor	X	Y(+)	Y(-)	Espesor	X	Y(+)	Y(-)	Espesor
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.293	0.573	-0.336	0.909	0.283	0.553	-0.324	0.876	0.273	0.532	-0.312	0.844
0.587	0.796	-0.458	1.254	0.566	0.768	-0.442	1.209	0.545	0.740	-0.425	1.165
1.174	1.110	-0.585	1.695	1.132	1.071	-0.564	1.635	1.091	1.032	-0.543	1.575
1.761	1.352	-0.643	1.996	1.699	1.304	-0.621	1.925	1.636	1.257	-0.598	1.854
2.348	1.547	-0.671	2.219	2.265	1.492	-0.648	2.140	2.182	1.438	-0.624	2.062
3.522	1.852	-0.676	2.529	3.397	1.787	-0.652	2.439	3.272	1.721	-0.628	2.350
4.696	2.066	-0.643	2.709	4.529	1.993	-0.621	2.613	4.363	1.920	-0.598	2.518
5.869	2.209	-0.587	2.796	5.662	2.131	-0.566	2.697	5.454	2.053	-0.545	2.598
7.043	2.291	-0.531	2.822	6.794	2.210	-0.512	2.722	6.545	2.129	-0.493	2.522
9.391	2.301	-0.423	2.723	9.059	2.219	-0.408	2.627	8.726	2.138	-0.393	2.531
11.739	2.158	-0.329	2.486	11.323	2.081	-0.317	2.398	10.908	2.005	-0.305	2.310
14.087	1.911	-0.235	2.146	13.588	1.843	-0.226	2.070	13.090	1.776	-0.218	1.994
16.434	1.571	-0.153	1.723	15.853	1.515	-0.147	1.662	15.271	1.459	-0.142	1.601
18.782	1.148	-0.092	1.240	18.117	1.107	-0.088	1.196	17.453	1.067	-0.085	1.152
21.130	0.636	-0.052	0.688	20.382	0.614	-0.050	0.664	19.634	0.591	-0.048	0.639
22.304	0.345	-0.038	0.383	21.514	0.333	-0.036	0.369	20.725	0.321	-0.035	0.356
23.478	0.031	-0.031	0.061	22.647	0.029	-0.029	0.059	21.816	0.028	-0.028	0.057
23.478	0.000	0.000	0.000	22.647	0.000	0.000	0.000	21.816	0.000	0.000	0.000
SECCION 04				SECCION 05				SECCION 06			
X	Y(+)	Y(-)	Espesor	X	Y(+)	Y(-)	Espesor	X	Y(+)	Y(-)	Espesor
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.262	0.512	-0.300	0.812	0.252	0.492	-0.288	0.780	0.242	0.471	-0.276	0.748
0.525	0.711	-0.409	1.121	0.504	0.683	-0.393	1.076	0.483	0.655	-0.377	1.032
1.049	0.993	-0.523	1.515	1.008	0.953	-0.502	1.455	0.966	0.914	-0.481	1.395
1.574	1.209	-0.575	1.784	1.512	1.161	-0.552	1.713	1.449	1.113	-0.529	1.642
2.098	1.383	-0.600	1.983	2.015	1.328	-0.576	1.905	1.932	1.273	-0.553	1.826
3.148	1.656	-0.604	2.260	3.023	1.590	-0.580	2.171	2.898	1.525	-0.557	2.081
4.197	1.847	-0.575	2.422	4.031	1.774	-0.552	2.326	3.865	1.700	-0.529	2.230
5.246	1.975	-0.525	2.499	5.038	1.896	-0.504	2.400	4.831	1.818	-0.483	2.301
6.295	2.048	-0.474	2.522	6.046	1.967	-0.455	2.423	5.797	1.886	-0.437	2.323
8.394	2.057	-0.378	2.434	8.062	1.975	-0.363	2.338	7.729	1.894	-0.348	2.241
10.492	1.929	-0.294	2.222	10.077	1.852	-0.282	2.134	9.882	1.776	-0.271	2.046
12.591	1.708	-0.210	1.918	12.092	1.641	-0.202	1.842	11.594	1.573	-0.193	1.766
14.689	1.404	-0.136	1.540	14.108	1.348	-0.131	1.479	13.526	1.293	-0.126	1.418
16.788	1.026	-0.082	1.108	16.123	0.986	-0.079	1.064	15.458	0.945	-0.075	1.020
18.886	0.569	-0.046	0.615	18.139	0.546	-0.044	0.591	17.391	0.524	-0.043	0.566
19.936	0.308	-0.034	0.342	19.146	0.296	-0.032	0.329	18.357	0.284	-0.031	0.315
20.985	0.027	-0.027	0.055	20.154	0.026	-0.026	0.052	19.323	0.025	-0.025	0.050
20.985	0.000	0.000	0.000	20.154	0.000	0.000	0.000	19.323	0.000	0.000	0.000
SECCION 07				SECCION 08				SECCION 09			
X	Y(+)	Y(-)	Espesor	X	Y(+)	Y(-)	Espesor	X	Y(+)	Y(-)	Espesor
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.231	0.451	-0.264	0.716	0.221	0.431	-0.253	0.683	0.210	0.411	-0.241	0.651
0.462	0.627	-0.361	0.987	0.442	0.599	-0.344	0.943	0.421	0.571	-0.328	0.899
0.925	0.875	-0.460	1.335	0.883	0.835	-0.440	1.275	0.842	0.796	-0.419	1.215
1.387	1.065	-0.507	1.572	1.325	1.017	-0.484	1.501	1.262	0.969	-0.461	1.431
1.849	1.219	-0.529	1.747	1.766	1.164	-0.505	1.669	1.683	1.109	-0.481	1.590
2.774	1.459	-0.533	1.992	2.649	1.393	-0.509	1.902	2.525	1.328	-0.485	1.813
3.698	1.627	-0.507	2.134	3.532	1.554	-0.484	2.038	3.366	1.481	-0.461	1.942
4.623	1.740	-0.462	2.202	4.415	1.662	-0.442	2.103	4.208	1.584	-0.421	2.004
5.548	1.805	-0.418	2.223	5.298	1.724	-0.399	2.123	5.049	1.643	-0.380	2.023
7.397	1.812	-0.333	2.145	7.064	1.731	-0.318	2.049	6.732	1.649	-0.303	1.952
9.246	1.699	-0.259	1.958	8.831	1.623	-0.247	1.870	8.415	1.547	-0.236	1.782
11.095	1.505	-0.185	1.690	10.597	1.438	-0.177	1.614	10.098	1.370	-0.168	1.538
12.944	1.237	-0.120	1.357	12.363	1.182	-0.115	1.296	11.781	1.126	-0.109	1.235
14.794	0.904	-0.072	0.976	14.129	0.864	-0.069	0.933	13.464	0.823	-0.066	0.889
16.643	0.501	-0.041	0.542	15.895	0.479	-0.039	0.517	15.147	0.456	-0.037	0.493
17.567	0.272	-0.030	0.301	16.778	0.260	-0.028	0.288	15.989	0.247	-0.027	0.274
18.492	0.024	-0.024	0.048	17.661	0.023	-0.023	0.046	16.830	0.022	-0.022	0.044
18.492	0.000	0.000	0.000	17.661	0.000	0.000	0.000	16.830	0.000	0.000	0.000

SECCION 10

X	Y(+)	Y(-)	Espesor
0.000	0.000	0.000	0.000
0.200	0.390	-0.229	0.619
0.400	0.542	-0.312	0.854
0.800	0.757	-0.398	1.155
1.200	0.922	-0.438	1.360
1.600	1.054	-0.458	1.512
2.400	1.262	-0.461	1.723
3.200	1.408	-0.438	1.846
4.000	1.506	-0.400	1.906
4.800	1.562	-0.362	1.923
6.400	1.568	-0.288	1.856
8.000	1.470	-0.224	1.694
9.600	1.302	-0.160	1.462
11.199	1.070	-0.104	1.174
12.799	0.782	-0.062	0.845
14.399	0.434	-0.035	0.469
15.199	0.235	-0.026	0.261
15.999	0.021	-0.021	0.042
15.999	0.000	0.000	0.000

SECCION 11

X	Y(+)	Y(-)	Espesor
0.000	0.000	0.000	0.000
0.190	0.370	-0.217	0.587
0.379	0.514	-0.296	0.810
0.758	0.717	-0.378	1.095
1.138	0.874	-0.416	1.289
1.517	1.000	-0.434	1.433
2.275	1.197	-0.437	1.634
3.034	1.335	-0.416	1.750
3.792	1.427	-0.379	1.807
4.550	1.480	-0.343	1.823
6.067	1.486	-0.273	1.760
7.584	1.394	-0.212	1.606
9.101	1.235	-0.152	1.386
10.618	1.015	-0.099	1.113
12.135	0.742	-0.059	0.801
13.651	0.411	-0.033	0.444
14.410	0.223	-0.024	0.247
15.168	0.020	-0.020	0.039
15.168	0.000	0.000	0.000

SECCION 12

X	Y(+)	Y(-)	Espesor
0.000	0.000	0.000	0.000
0.179	0.350	-0.205	0.555
0.358	0.486	-0.280	0.766
0.717	0.678	-0.357	1.035
1.075	0.826	-0.393	1.219
1.434	0.945	-0.410	1.355
2.151	1.131	-0.413	1.544
2.867	1.262	-0.393	1.655
3.584	1.349	-0.358	1.708
4.301	1.399	-0.324	1.723
5.735	1.405	-0.258	1.663
7.169	1.318	-0.201	1.518
8.602	1.167	-0.143	1.310
10.036	0.959	-0.093	1.052
11.470	0.701	-0.056	0.757
12.904	0.389	-0.032	0.420
13.620	0.211	-0.023	0.234
14.337	0.019	-0.019	0.037
14.337	0.000	0.000	0.000

SECCION 13

X	Y(+)	Y(-)	Espesor
0.000	0.000	0.000	0.000
0.169	0.330	-0.193	0.523
0.338	0.458	-0.263	0.721
0.675	0.639	-0.336	0.975
1.013	0.778	-0.370	1.148
1.351	0.890	-0.386	1.276
2.026	1.066	-0.389	1.455
2.701	1.189	-0.370	1.559
3.377	1.271	-0.338	1.609
4.052	1.318	-0.305	1.623
5.403	1.324	-0.243	1.567
6.753	1.241	-0.189	1.430
8.104	1.099	-0.135	1.234
9.454	0.904	-0.088	0.991
10.805	0.660	-0.053	0.713
12.156	0.366	-0.030	0.396
12.831	0.199	-0.022	0.220
13.506	0.018	-0.018	0.035
13.506	0.000	0.000	0.000

SECCION 14

X	Y(+)	Y(-)	Espesor
0.000	0.000	0.000	0.000
0.158	0.309	-0.181	0.491
0.317	0.430	-0.247	0.677
0.634	0.600	-0.316	0.915
0.951	0.730	-0.347	1.077
1.268	0.835	-0.363	1.198
1.901	1.000	-0.365	1.365
2.535	1.115	-0.347	1.463
3.169	1.193	-0.317	1.510
3.803	1.237	-0.286	1.524
5.070	1.242	-0.228	1.470
6.338	1.165	-0.177	1.342
7.605	1.032	-0.127	1.159
8.873	0.848	-0.082	0.930
10.140	0.620	-0.049	0.669
11.408	0.344	-0.028	0.371
12.042	0.186	-0.020	0.207
12.675	0.016	-0.016	0.033
12.675	0.000	0.000	0.000

SECCION 15

X	Y(+)	Y(-)	Espesor
0.000	0.000	0.000	0.000
0.148	0.289	-0.169	0.458
0.296	0.402	-0.231	0.632
0.592	0.560	-0.295	0.855
0.888	0.682	-0.325	1.007
1.184	0.781	-0.339	1.119
1.777	0.935	-0.341	1.276
2.369	1.042	-0.325	1.367
2.961	1.115	-0.296	1.411
3.553	1.156	-0.268	1.424
4.738	1.161	-0.213	1.374
5.922	1.089	-0.166	1.254
7.107	0.964	-0.118	1.083
8.291	0.792	-0.077	0.869
9.476	0.579	-0.046	0.625
10.660	0.321	-0.026	0.347
11.252	0.174	-0.019	0.193
11.844	0.015	-0.015	0.031
11.844	0.000	0.000	0.000

SECCION 16

X	Y(+)	Y(-)	Espesor
0.000	0.000	0.000	0.000
0.138	0.269	-0.157	0.426
0.275	0.373	-0.215	0.588
0.551	0.521	-0.274	0.795
0.826	0.634	-0.302	0.936
1.101	0.726	-0.315	1.041
1.652	0.869	-0.317	1.186
2.203	0.969	-0.302	1.271
2.753	1.036	-0.275	1.312
3.304	1.075	-0.249	1.324
4.405	1.079	-0.198	1.278
5.507	1.012	-0.154	1.166
6.608	0.897	-0.110	1.007
7.709	0.737	-0.072	0.808
8.811	0.539	-0.043	0.582
9.912	0.298	-0.024	0.323
10.463	0.162	-0.018	0.180
11.014	0.014	-0.014	0.029
11.014	0.000	0.000	0.000

SECCION 17

X	Y(+)	Y(-)	Espesor
0.000	0.000	0.000	0.000
0.127	0.248	-0.146	0.394
0.255	0.345	-0.199	0.544
0.509	0.482	-0.254	0.735
0.764	0.587	-0.279	0.866
1.018	0.671	-0.291	0.962
1.527	0.803	-0.293	1.097
2.037	0.896	-0.279	1.175
2.546	0.958	-0.255	1.213
3.055	0.994	-0.230	1.224
4.073	0.998	-0.183	1.181
5.091	0.936	-0.143	1.078
6.110	0.829	-0.102	0.931
7.128	0.681	-0.066	0.747
8.146	0.498	-0.040	0.538
9.164	0.276	-0.022	0.298
9.673	0.150	-0.016	0.166
10.183	0.013	-0.013	0.026
10.183	0.000	0.000	0.000

SECCION 18

X	Y(+)	Y(-)	Espesor
0.000	0.000	0.000	0.000
0.117	0.228	-0.134	0.362
0.234	0.317	-0.182	0.499
0.468	0.442	-0.233	0.675
0.701	0.539	-0.256	0.795
0.935	0.616	-0.267	0.884
1.403	0.738	-0.269	1.007
1.870	0.823	-0.256	1.079
2.338	0.880	-0.234	1.114
2.805	0.913	-0.211	1.123
3.741	0.916	-0.168	1.085
4.676	0.859	-0.131	0.990
5.611	0.761	-0.094	0.855
6.546	0.626	-0.061	0.686
7.481	0.457	-0.036	0.494
8.416	0.253	-0.021	0.274
8.884	0.137	-0.015	0.152
9.352	0.012	-0.012	0.024
9.352	0.000	0.000	0.000

SECCION 19

X	Y(+)	Y(-)	Espesor
0.000	0.000	0.000	0.000
0.107	0.208	-0.122	0.330
0.213	0.289	-0.166	0.455
0.426	0.403	-0.212	0.615
0.639	0.491	-0.233	0.724
0.852	0.562	-0.244	0.805
1.278	0.672	-0.245	0.918
1.704	0.750	-0.233	0.983
2.130	0.802	-0.213	1.015
2.556	0.832	-0.193	1.024
3.408	0.835	-0.153	0.988
4.260	0.783	-0.119	0.902
5.112	0.694	-0.085	0.779
5.964	0.570	-0.055	0.625
6.817	0.417	-0.033	0.450
7.669	0.231	-0.019	0.250
8.095	0.125	-0.014	0.139
8.521	0.011	-0.011	0.022
8.521	0.000	0.000	0.000

SECCION 20

X	Y(+)	Y(-)	Espesor
0.000	0.000	0.000	0.000
0.096	0.188	-0.110	0.298
0.192	0.261	-0.150	0.411
0.384	0.364	-0.191	0.555
0.577	0.443	-0.211	0.654
0.769	0.507	-0.220	0.727
1.153	0.607	-0.221	0.828
1.538	0.677	-0.211	0.887
1.922	0.724	-0.192	0.916
2.307	0.751	-0.174	0.924
3.076	0.754	-0.138	0.892
3.845	0.707	-0.108	0.814
4.614	0.626	-0.077	0.703
5.383	0.514	-0.050	0.564
6.152	0.376	-0.030	0.406
6.921	0.208	-0.017	0.225
7.305	0.113	-0.012	0.125
7.690	0.010	-0.010	0.020
7.690	0.000	0.000	0.000

ANEXO E

Generador de 500W

Potencia nominal en AC: 500W AC

Velocidad nominal: 350 rpm

Voltaje Nominal AC: 20 Vac

Corriente Nominal AC: 14.6 Aac

Voltaje nomina rectificado: 25 Vdc

Corriente nominal rectificado: 20 Adc

Corriente máxima: 40Adc

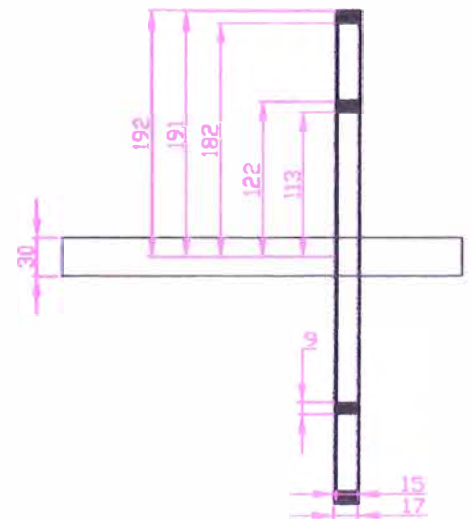
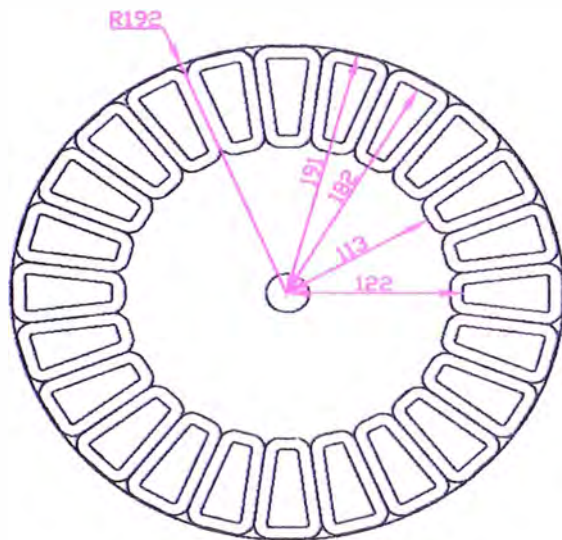
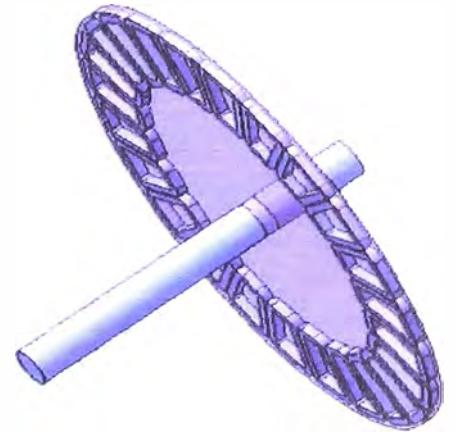
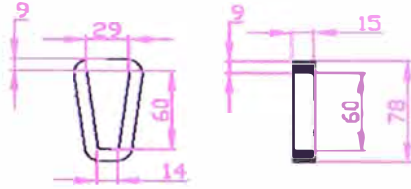
Número de polos: 16

Número de Bobinas: 24

Número de espiras por bobina: 35

Chumacera SKF FY506M

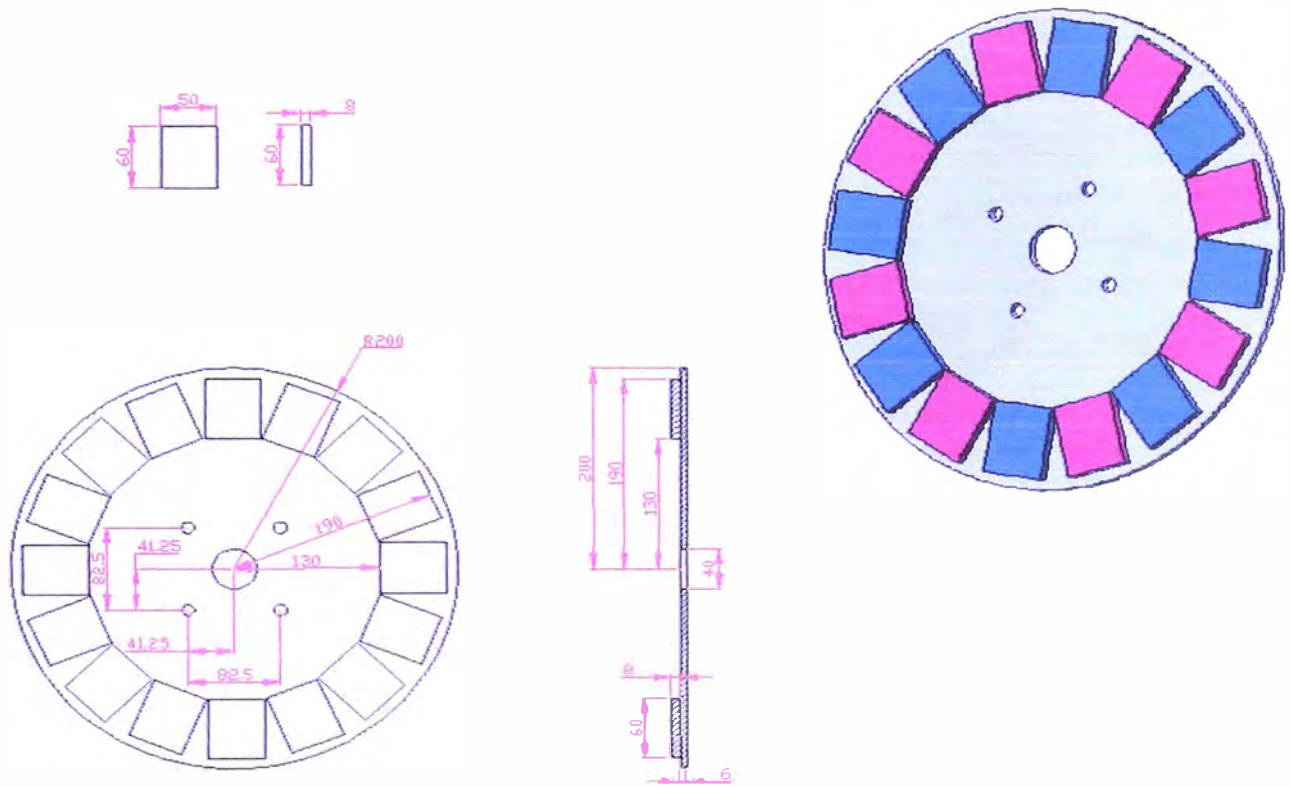
Bobinado:



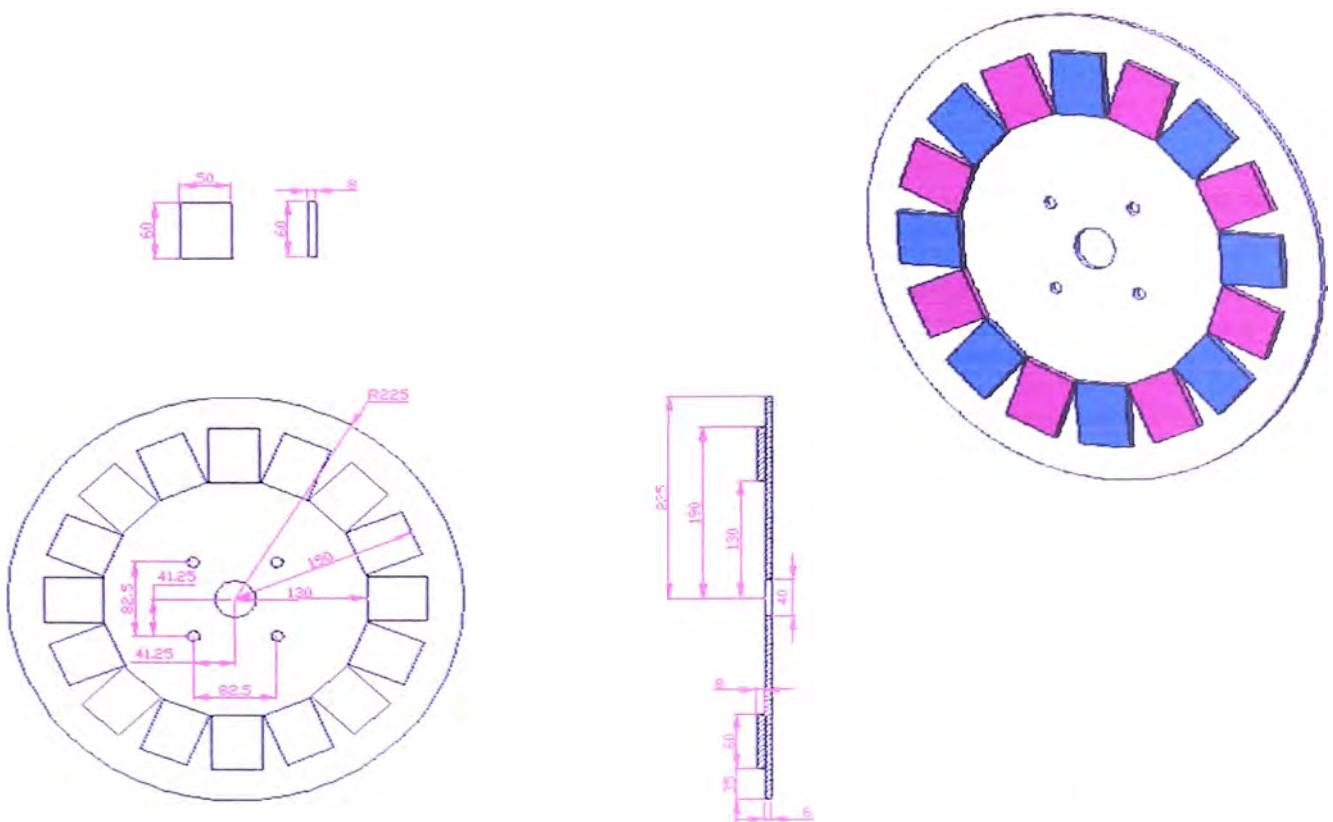
Nota:

- Las bobinas tienen 35 espiras
- En la parte superior de la bobina es conveniente darle una curvatura para que encaje

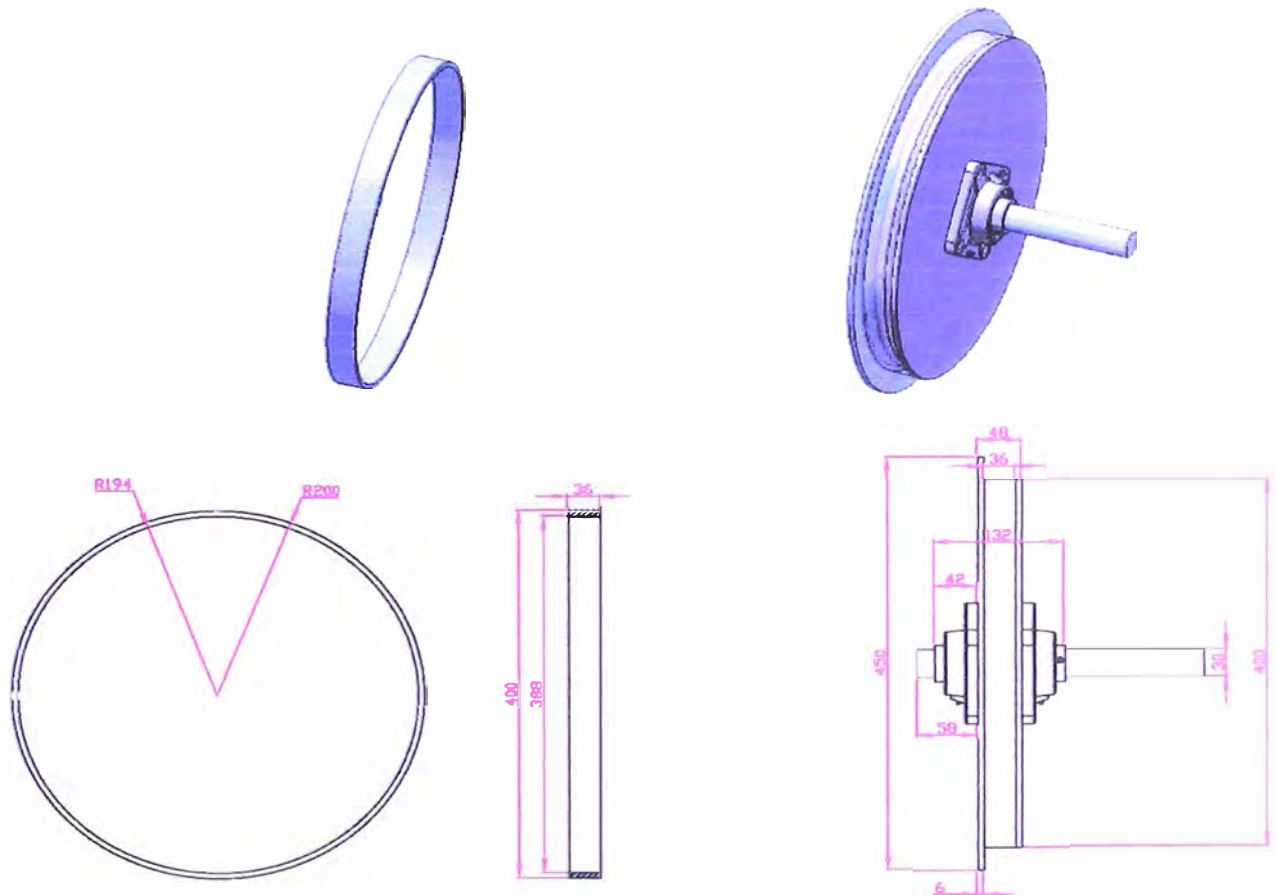
Tapa con imanes 1



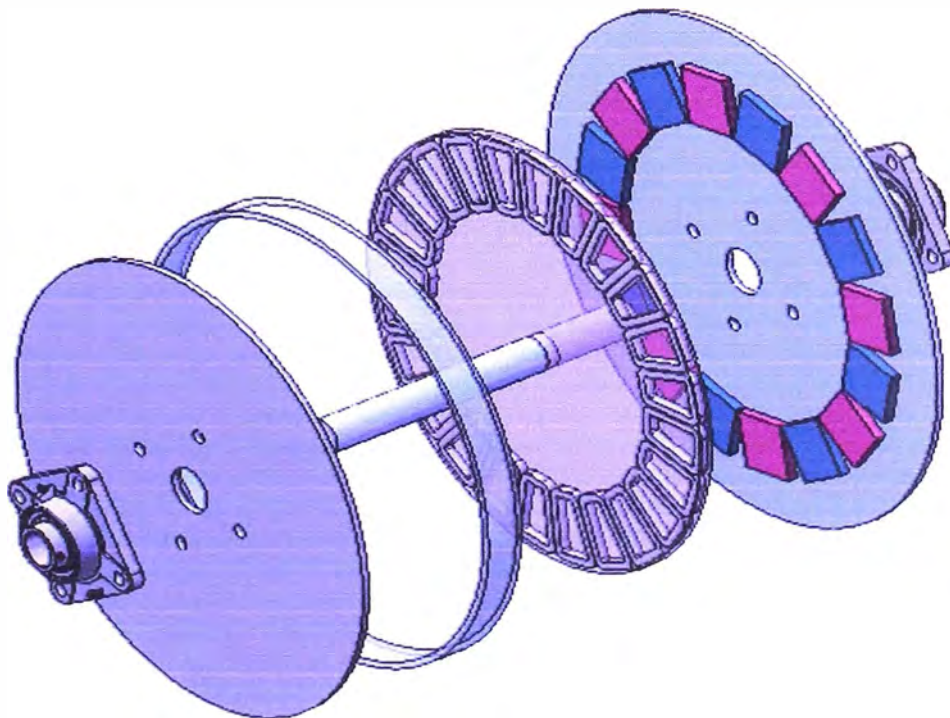
Tapa con imanes 2



Cubierta del generador y vista del generador (Modificado)



Vista de la estructura del generador eléctrico



Para el ensamblaje se utilizan pernos de 10mm o 3/8"