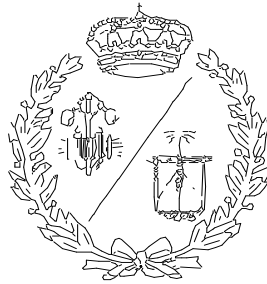


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS

INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**DISEÑO DE AEROGENERADOR CON
MATERIALES RECICLADOS**
(WIND TURBINE DESIGN WITH RECYCLED
MATERIALS)

Para acceder al Título de

**GRADUADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

Autor: JAVIER GARCÍA BLANCO

TÍTULO	Diseño del aerogenerador con materiales reciclados		
AUTOR	Javier García Blanco		
DIRECTOR/ PONENTE	Francisco Javier Balbás García		
TITULACIÓN	<i>Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales</i>	FECHA	Septiembre de 2016

PALABRAS CLAVE

- Aerogenerador
- Desecho
- Reciclaje
- Reutilización
- Residuos

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el proyecto que se expone a continuación, se pretende desarrollar un aerogenerador usando componentes obtenidos a partir de desechos electrónicos.

El principal objetivo del proyecto es desarrollar técnicas de construcción que permitan la reutilización de elementos mecánicos desechados con el fin de proporcionar tanto conocimientos técnicos, como un nuevo modelo de negocio para comunidades con problemas de acumulación de residuos electrónicos.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Debido a la coyuntura internacional, se han creado situaciones en las que ciertos países son los receptores de los desperdicios electrónicos del resto del mundo. Muchos de estos productos son teléfonos móviles y ordenadores los cuales poseen en su interior sustancias y materiales químicos peligrosos. Esto presenta serias amenazas para la salud humana y el medio ambiente. En la mayoría de los casos todos estos desechos electrónicos acaban almacenados sin ningún tipo de control en países cuya legislación es o muy laxa o nula respecto al reciclado y almacenamiento de este tipo de residuos.

El proyecto trata de poder dar un segundo uso a determinados productos con el objetivo de crear molinos eólicos, dando la posibilidad de ser utilizados posteriormente por los mismos ciudadanos del país. Con ello se pretende dar formación y conocimiento técnico para así mejorar su nivel de vida, y en último lugar reducir el impacto medioambiental de los residuos.

Dado lo heterogéneo de los materiales que se pueden encontrar, se podrían llegar a realizar varios tipos constructivos de aerogenerador, con los distintos tipos de motor y materiales. El presente proyecto se centra en el diseño y construcción de un aerogenerador de eje horizontal tri-pala, además de proporcionar datos obtenidos mediante el ensayo de un motor real obtenido de una vieja panificadora, con el fin de obtener el mejor diseño con los materiales disponibles.

CONCLUSIONES / PRESUPUESTO

Con los resultados obtenidos en el ensayo del motor modificado, queda demostrado que el diseño de un aerogenerador tri-pala, usando materiales reciclados del propio vertedero, es un proyecto técnicamente viable. Esto es debido a su simplicidad constructiva, a la facilidad de encontrar los componentes y a los buenos resultados del ensayo. Además, se ha elaborado un proceso de diseño, que permite crear el aerogenerador siguiendo tres pasos.

Finalmente, una vez contruidos los aerogeneradores se plantean dos posibilidades para su uso posterior:

El uso estos aerogeneradores en comunidades de Accra, ciudad donde se encuentra el vertedero electrónico de Ghana, podría reducir el impacto medioambiental en dos sentidos. Por un lado, el reciclado de los materiales y por otro, la reducción en el consumo de combustibles fósiles.

A partir del estudio realizado sobre impacto en el uso doméstico de estos aerogeneradores se concluyó que Accra no es uno de los mejores emplazamientos para el aprovechamiento de los aerogeneradores y dado que Ghana, país donde se encuentra Accra, es exportador de energía, se contempla la venta de los aerogeneradores a países como Togo donde la deforestación es uno de los mayores problemas, dado que no disponen de infraestructuras eléctricas como Ghana y la energía se obtiene a partir de la quema. Además, del estudio económico realizado para valorar el coste de estos aerogeneradores se concluyó que, resulta económicamente más beneficioso la venta de los mismos que su uso en Ghana. También se plantea la venta a países con una media de vientos anual mucho mayor, como es la zona del Sahara occidental, donde se obtendría un mejor rendimiento y mayor beneficio.

Índice

1 MEMORIA.....	6
1.1 Situación medioambiental en Africa subsahariana	6
1.2 Objetivos.....	9
1.2.1 Critica a la situación expuesta	9
1.2.2 Presentación de propuestas.....	10
1.3 Por qué usar Energías renovables en África	12
1.3.1 Antecedentes	12
1.3.2 La energía eólica como solución	12
1.3.3 Ventajas y desventajas	14
2. ESTUDIO DE LOS MATERIALES	17
2.1 Características de los motores más comunes en el vertedero de Accra.....	17
2.2 Uso y obtención de los imanes permanentes	21
2.3 Materiales de las palas de los aerogeneradores	23
3. METODOLOGÍA	26
4. PROCESO DE DISEÑO DEL AEROGENERADOR.....	28
4.1 Análisis del motor más común en el vertedero de Accra	28
4.2 Diseño del rotor con imanes permanentes	29
4.3 Diseño de las palas	33
5. CASO PRÁCTICO	36
5.1 Descripción del equipo a utilizar	36
5.2 Analisis del motor de jaula de ardilla	37
5.3 Modificación del motor para su uso como generador	39
5.4 Curvas de potencia del motor modificado	41

5.4.1 Configuración individual	42
5.4.2 Configuración serie	43
5.4.3 Configuración paralelo	44
5.5 Dimensionamiento y construcción de las palas	45
5.6 Curvas de potencia del aerogenerador	47
5.6.1 Curva de potencia con la configuración individual.....	49
5.6.2 Curva de potencia con la configuración serie	50
5.6.3 Curva de potencia con la configuración paralelo	51
5.7 Estimación de la producción e impacto	52
6. RESULTADOS	58
7. FUTURAS LÍNEAS DE ACTUACIÓN	59
BIBLIOGRAFÍA.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Almacenamiento de residuo en el vertedero. [9].....	8
Figura 1.2 Proceso de obtención de metales en el vertedero [25].....	9
Figura 1.3 Líneas de actuación. Elaboración propia.....	11
Figura 1.4 Deforestación en Togo [12].....	12
Figura 2.1 Partes de un motor [15]	18
Figura 2.2 Interior de un disco HDD de 3.5" [16].....	21
Figura 2. 3 Imanes de un disco duro de 3,5" [17]	22
Figura 2. 4 Diseño de como cortar los imanes. Elaboración propia.....	22
Figura 3. 1 Proceso de diseño del aerogenerador. Elaboración propia	27
Figura 4.1 Motor de reciclado objeto de estudio	28
Figura 4.2 Motor despiezado	28
Figura 4. 3 Rotor de jaula de ardilla	29
Figura 4.4 Líneas de flujo magnético entre [20].....	31
Figura 4.5 Dibujo que muestra las medidas entre dientes [20]	31
Figura 4.6 Disposición en anillo de los imanes [21]	32
Figura 4. 7 Diagrama dimensiones del imán [22]	32
Figura 4.8 Modelización del aire a través de un aerogenerador [23]	33
Figura 5. 1 Etiqueta del motor de ensayo.....	37
Figura 5. 2 Equipo completo de ensayo.....	37

Figura 5. 3 Estator del motor a ensayar	39
Figura 5. 4 Diseño del roto en CAD. Elaboración propia.....	40
Figura 5. 5 Figura del rotor con los imanes colocados en su posición final. Elaboración propia.	40
Figura 5. 6 Diseño en CAD del rotor introduciendo los imanes. Elaboración propia	40
Figura 5. 7 Foto del rotor que será usado en el ensayo	41
Figura 5. 98 Curva del motor en configuración serie (azul), aproximación de las curvas de potencia habituales (rojo). Elaboración propia	44
Figura 5. 9 Palas obtenidas del tubo de PVC [25]	47
Figura 5. 10 Curva de potencia del aerogenerador en configuración individual. Elaboración propia	50
Figura 5. 11 Curva de potencia del aerogenerador en configuración serie. Elaboración propia	51
Figura 5. 12 Curva de potencia del aerogenerador en configuración paralelo. Elaboración propia	52
Figura 6. 1 Estimación de la potencia mensual producida Accra por 1 aerogenerador. Elaboración propia.....	53
Figura 6. 2 Estimación de la potencia mensual producida en Villa Cisneros por 1 aerogenerador. Elaboración propia.	54
Figura 6. 3 Altura a la que se aconseja situar el aerogenerador [27]	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Propiedades de los imanes de neodimio [18]	23
Tabla 5. 1 Configuración de una sola bobina del motor modificado. Elaboración propia	42
Tabla 5. 2 Configuración en serie del motor modificado. Elaboración propia	43
Tabla 5. 3 Configuración en paralelo del motor modificado. Elaboración propia	44
Tabla 5. 4 Relación entre la velocidad del viento y la potencia en configuración individual	49
Tabla 5. 5 Relación entre la velocidad del viento y la potencia en configuración serie	50
Tabla 5. 6 Relación entre la velocidad del viento y la potencia en configuración paralelo	51
Tabla 6. 1 Estimación de la producción mensual en la región de Accra por un aerogenerador	53
Tabla 6. 2 Estimación de la producción mensual en la región de Villa Cisneros por un aerogenerador	54

1 MEMORIA

1.1 SITUACIÓN MEDIOAMBIENTAL EN AFRICA SUBSAHARIANA

En la actualidad, el marcado crecimiento del mercado mundial en bienes electrónicos y la demostrada obsolescencia programada de muchos de estos, provoca un elevado crecimiento de residuos electrónicos. Se estima, según estudios realizados por Naciones Unidas, que se producen entre 20 y 50 millones de toneladas de residuos electrónicos al año en el mundo [1].

Muchos de estos productos son teléfonos móviles y ordenadores [2] los cuales poseen en su interior sustancias y materiales químicos peligrosos. Esto presenta serias amenazas para la salud humana y el medio ambiente.

La mayoría de los desechos electrónicos se acaban enviando y almacenando en países con una nula legislación respecto al reciclado de los mismos. Estos países siempre se han localizado en Asia [3], sin embargo, hoy en día, con el aumento exponencial del número de residuos, estas acciones se han ido desplazando a la zona del África occidental en su mayoría. En la Unión Europea la exportación de residuos tecnológicos a otros países es una práctica ilegal pero considerada legítima para la Agencia de protección Ambiental estadounidense [4].

La existencia de millones de toneladas de productos electrónicos obsoletos, genera una sensación de incertidumbre respecto a que ocurrirá con ellos en un futuro próximo. Una gran parte de estos se encuentran almacenados en viviendas mientras que el resto suele acabar en vertederos [5], incinerados o enviados a países como Ghana, con el objetivo de reducir “la brecha digital”, concepto que se detallará más adelante.

La república de Ghana está situada en la denominada “Costa de Oro”

por la gran cantidad del preciado metal que existe en esta zona, al oeste de África, constituido por una república semipresidencialista [6].

Este país posee una superficie de 238.535 km², con una población de 24.223.431 habitantes, además, tiene una de las democracias más potentes del continente, gracias a la Unión Africana [7].

El gobierno de Ghana creó en 2010, debido al gran crecimiento poblacional que sufría, una política energética basada en el uso de las energías renovables. Estudios realizados por la International energy agency (IEA) [8], muestran que en la región de Ghana se produjeron en el año 2013 12.871 Gwh, de los cuales 3.296 fueron producidos a partir de la combustión de petróleo, 1.339 de gas y 8.233 de producción hidroeléctrica, sin embargo, solo fueron consumidos en Ghana, 9.354 Gwh, de los cuales 3.228 Gwh fueron destinados al uso doméstico. Esto convierte a Ghana en un país exportador de energía a las comunidades contiguas.

Sin embargo, y a pesar del grado de desarrollo de Ghana, al sur de la misma, en la región de Accra, se encuentra uno de los mayores vertederos electrónicos del mundo. Y es aquí donde se quiere realizar el proyecto.

Greenpeace realizó estudios en abril de 2008, con el objetivo de investigar la contaminación provocada por la gestión y el reciclaje de este tipo de residuos, enviados por Europa y Estados Unidos a países como Ghana, muchas veces de manera ilegal.

"En Ghana, miembros de la organización ecologista recogieron muestras de tierra y sedimentos de dos centros de reciclaje de basura electrónica: el mercado de chatarra de Agbogbloshie, en Accra, que es el centro principal de reciclaje de este tipo de residuos en el país; y en el desguace de una ciudad más pequeña, Korforidua, ya que es considerada un ejemplo típico de los numerosos centros pequeños de reciclaje de residuos electrónicos en Ghana" [4].

De todos los residuos existentes en los desguaces, lo que más abundaba era monitores de ordenador, ordenadores y televisores. Muchos de estos productos de marcas tan famosas como Phillips, Sony, Nokia, Dell, Canon, Microsoft o Siemens. La mayor parte de los tubos catódicos, usados en televisiones y monitores de ordenador, son vertidos sin control liberando al aire sustancias sumamente tóxicas[4].



Figura 1.1 Almacenamiento de residuo en el vertedero [9]

Algo muy destacado durante la investigación fue que las etiquetas de los contenedores que descargaban en el puerto de Tema, indicaban que los orígenes de todos los contenedores europeos provenían desde Bélgica, mientras que los productos de origen americano eran responsabilidad de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

Una vez el material se encuentra en suelo africano existe una cadena para la extracción del valioso metal o la obtención de discos duros para su posterior venta en el mercado negro. Para ello, los productos son desmontan a mano en pequeños talleres en la zona de Agbogbloshie, mientras otros son quemados para separar el plástico del metal. El resto de materiales sin valor alguno son arrojados a algún vertedero próximo. Es importante destacar que muchos de los trabajos son realizados por niños con tan sólo cinco años, usando las manos sin ningún tipo de protección.

"El estudio descubrió que muchas muestras ambientales contenían numerosas sustancias peligrosas, como altos niveles de plomo tóxico, sustancias químicas como los ftalatos DEHP y DBP (que interfieren en la reproducción) o dioxinas cloradas que están relacionadas con el cáncer" [4].



Figura 1.2 Proceso de obtención de metales en el vertedero [25]

Los metales obtenidos son vendidos en los centros de distribución local, los cuales los venden a las industrias cercanas como una fábrica de barrotes de hierro en la ciudad próxima de Tema. Existen también materiales que no son reciclados en Ghana, como fundas plásticas o circuitos impresos, pero que son recogidos y enviados a Asia.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Crítica a la situación expuesta

En la actualidad, la actividad de enviar desechos electrónicos a países en desarrollo desde países desarrollados, está promovida con la idea de reducir la brecha digital.

"Se entiende por brecha digital la distancia en el acceso, uso y apropiación de las tecnologías tanto a nivel geográfico, a nivel socio-económico y también en las dimensiones de género, en articulación con otras desigualdades culturales. Cabe destacar que la brecha digital está en

relación con la calidad de la infraestructura tecnológica, los dispositivos y conexiones, pero sobre todo, con el capital cultural para transformar la información circulante en conocimiento relevante” [10].

Sin embargo, esto no es más que una excusa con el simple fin de poder enviar este tipo de equipos obsoletos a países más pobres. Existen estudios que indican que de estos productos de “segunda mano” tan solo entre un 25% y un 75% se podrían reutilizar [11].

Dada la situación tan crítica en la que se encuentran las comunidades que viven en este país y el impacto que esto produce a nivel mundial, surge la idea de desarrollar algún sistema que permita reducir el impacto tanto en el medio ambiente como en las vidas de las personas que conviven a diario con esta situación, mediante algún proceso de reciclado de parte de los productos, que de otra manera serían almacenados, además de dar una posibilidad de desarrollo económico como técnico a la población situada en esta región.

1.2.2 Presentación de propuestas

El principal objetivo del presente proyecto es llegar a desarrollar un aerogenerador a partir de materiales reciclados que se pueden encontrar en el vertedero de Accra, Ghana.

La idea existente detrás de este proyecto es dar una segunda vida a muchos componentes electrónicos que de otra manera permanecerían como desechos, así como dar la posibilidad de que los habitantes afectados por el vertedero puedan obtener conocimientos técnicos sobre el montaje de un aerogenerador con los recursos a su disposición. Esto, unido a una posterior venta de los aerogeneradores a países colindantes con deficiencias energéticas, aportaría a Accra y a sus habitantes un doble impacto positivo.

También cabe destacar que la obtención de los materiales de construcción no requiere de quema u otro tipo de proceso que pueda liberar gases o contaminantes nocivos para la salud o el medio. Además,

los productos manufacturados siempre adquieren un valor añadido en el mercado respecto a las materias primas, esto es, que la venta de un aerogenerador proporcionaría un mayor beneficio económico que la obtención y posterior venta de los materiales individualmente. Además, existe un claro beneficio en su salud y la obtención de conocimientos técnicos que, sobre todo, en edades tempranas, permiten la posibilidad de un futuro mejor para muchos de los niños que viven en la actualidad en lugares como estos.

Por lo tanto, el proyecto se resume en **tres líneas de actuación** que son: **la reutilización** de productos de desecho, **la mejora de la calidad de vida** tanto a corto plazo, debido a la formación académica y mejora económica, como a largo plazo por la reducción de la exposición a contaminantes, y **la reducción del impacto medioambiental** que produce el uso de aerogeneradores, debido a que no contaminan y se reduce la tala de árboles.

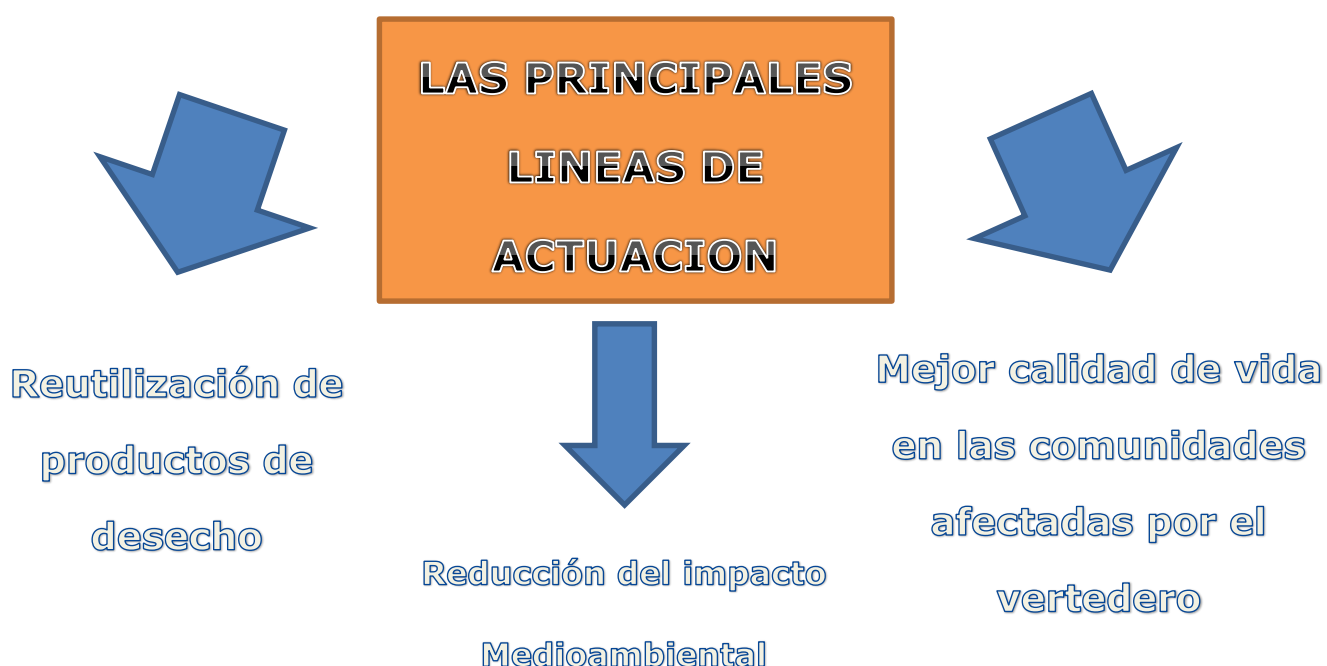


Figura 1.3 Líneas de actuación. Elaboración propia

1.3 POR QUÉ USAR ENERGÍAS RENOVABLES EN ÁFRICA

1.3.1 Antecedentes

Actualmente en África muchos países son capaces de producir una gran cantidad energía eléctrica, mediante centrales de tipo carbón, gas, hidroeléctrico o incluso nuclear. Sin embargo, en la mayoría de los casos no suele ser suficiente para abastecer la demanda de una población creciente, tanto por la potencia como por la deficitaria red eléctrica, que puede llegar a tener pérdidas en países como Togo del 26.2% en 1995 [12]. Debido a esto la población, como es natural, en busca de abastecimiento energético, suele recurrir a la tala y quema de árboles. Esto, aparte de las emisiones de efecto invernadero, produce una alta deforestación.

Volviendo al ejemplo de Togo, el consumo per cápita de madera se estima entorno a 347Kg por habitante, el cual produce una degradación cada vez más acusada de los bosques, llegándose a estimar una deforestación casi total en años próximos [12].

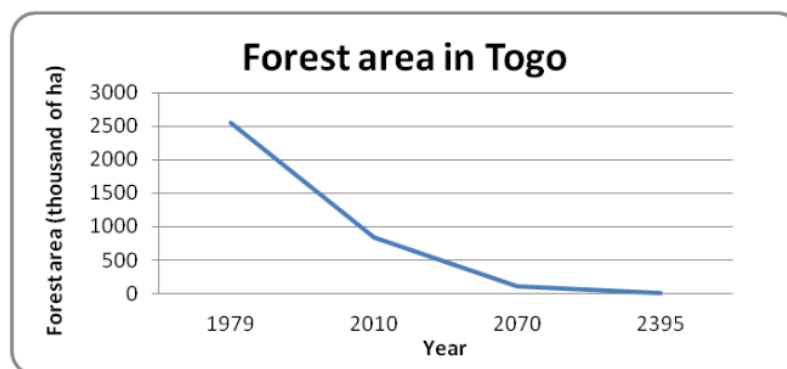


Figura 1.4 Deforestación en Togo [12]

1.3.2 La energía eólica como solución

El viento es una de las fuentes más antiguas de energía conocidas. En la antigüedad los barcos de vela fueron los mejores ejemplos de

utilización de energía eólica transportando con ellos mercancías y permitiendo el intercambio cultural a través de los distintos mares y océanos. También esta energía fue usada para accionar los mecanismos utilizados en los molinos de viento para moler grano o bombear agua.

A mediados del siglo XX los aerogeneradores con rotores de pequeño tamaño han sido usados con el fin de poder suministrar de energía eléctrica a casa o granjas ubicadas en lugares remotos, así como para abastecer a estaciones meteorológicas o de retransmisión cuyo consumo eléctrico no fuese muy elevado.

En los años 70 fue en Dinamarca donde se apostó por este tipo de tecnología, esta acertada decisión propició que ahora sea uno de los principales países fabricantes de aerogeneradores con las empresas Vestas y Siemens Wind Power [13].

Debido a la mejora constante de este tipo de tecnología, tanto por los materiales usados, como por su eficiencia, hace que las posibilidades de utilización vayan en aumento. Además, el uso de este tipo de energía constituye una fuente atractiva y ventajosa para los países cuya dependencia energética de terceros limita su crecimiento.

Usando un histórico de vientos como el que se muestra en la figura 5.1, nos podremos hacer una idea de la velocidad media anual entre 2010 y 2014, vemos como el viento medio en esos años en Accra este entorno a los 4,55 m/s [14].

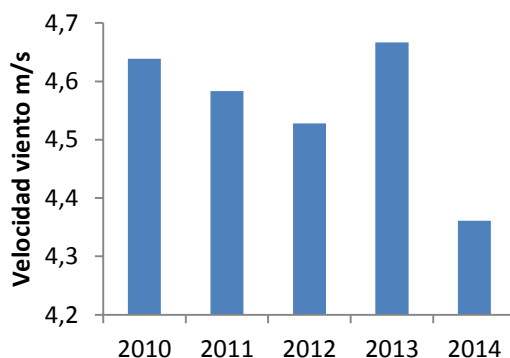


Figura 1.5 Velocidad media anual del viento, entre 2010 y 2014 en la región de Accra. Elaboración propia

Si únicamente se analizase un buen año como el 2013, la gráfica 5.2 muestra que el viento posee una velocidad máxima de 5,83 m/s en agosto, y la mínima en enero de 3,86 m/s.

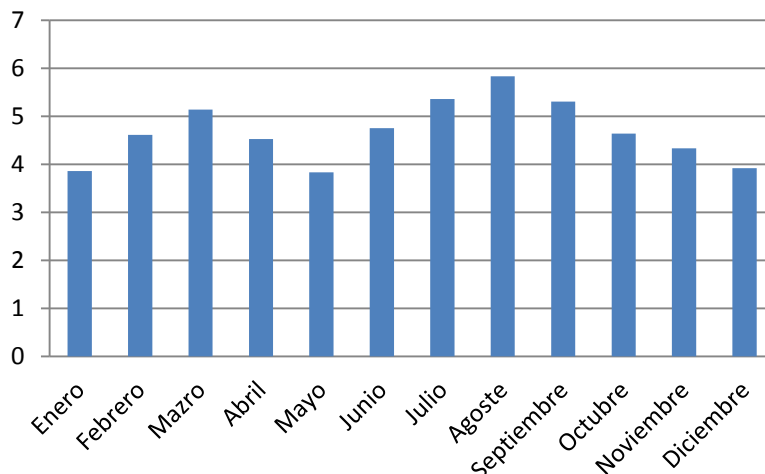


Figura 1.6 Velocidad mensual media del viento en 2013, en la región de Accra. Elaboración propia

Dependiendo de las características de cada aerogenerador, el viento medio mínimo para un buen funcionamiento puede variar. De manera general, la viabilidad de una instalación minieólica empieza a partir de unos 4-5 m/s de velocidad del viento media.

Estos datos muestran que la implantación de aerogeneradores en la costa subsahariana de África puede ser una buena idea, ya que pueden instalarse en las propias casas, pero podrían llegar a resultar mucho más productivos en otras regiones, como son las regiones del Sahara occidental.

1.3.3 Ventajas y desventajas

Las principales ventajas que presenta esta tipología energética, son por todos conocidas: no contaminan, son inagotables y retrasan el agotamiento de las reservas de combustibles fósiles, evitando a su vez el cambio climático cada vez más acusado.

Actualmente, puede considerarse una tecnología madura y de

demostrada eficacia. Además, gracias a ser una de las fuentes más baratas de obtención de energía, le permite competir en rentabilidad con fuentes mucho más maduras como son las centrales térmicas de carbón, siendo esta tradicionalmente la más barata.

Debido a que no necesita un proceso de combustión o transformación térmica, la energía eólica puede considerarse un proceso limpio medioambientalmente, libre de problemas de contaminación, incluso puede tenerse en cuenta que se eliminan por completo el impacto originado por la obtención de los combustibles fósiles, su transporte y distribución, incluyendo los riesgos que estos conllevan. También hay que tener en cuenta que se suprime el uso de industrias con el objetivo de transformar la materia prima en combustibles aptos para su uso como son las refinerías o centrales de gas.

Las centrales eólicas no generan ningún tipo de residuo, otra ventaja frente a las fuentes energéticas convencionales, es que ni destruye la capa de ozono, ni tampoco crea lluvia ácida.

Sin embargo, esta tipología energética no está exenta de desventajas siendo algunas de ellas las que se exponen a continuación. De un lado, siendo el aire un fluido de bajo peso específico, se necesita fabricar máquinas de gran tamaño y por lo tanto de mayor coste, siendo la altura de algunas torres igual a edificios de 10 plantas o más, con una longitud de sus palas entorno a los 20 metros. Sin embargo, en este proyecto no será un problema ya que se desarrolla en el campo de la minieólica, en donde las palas no suelen superar los 3 metros de longitud.

Por otro lado, la más conocida de todas sus desventajas es, sin duda, el impacto visual que produce, dado que los emplazamientos requeridos para este tipo de instalaciones suelen ser los que más dejan a la vista a los aerogeneradores. Es por esto que la implantación de parques eólicos requiere una evaluación previa de la situación debido a la alteración clara sobre el paisaje.

Otro impacto negativo que producen los aerogeneradores es el ruido producido por el giro de las aspas, sin embargo, hay que tener en cuenta que las demás tipologías de plantas eléctricas también producen ruidos que normalmente superan a los de los parques eólicos.

Además, debe tenerse especial cuidado a la hora de situar el parque ya que las poblaciones de aves próximas pueden resultar dañadas debido a la mortandad de estas al impactar con las palas. Existen varias soluciones a este problema, como es un impuesto destinado a la cría de las aves afectadas o pintar las palas de colores llamativos, así como situar los molinos con suficiente espacio entre ellos para permitir la circulación de las aves.

Finalmente, y siendo esto su mayor desventaja, la fuente de energía primaria resulta ser un recurso, en cierta forma imprevisible y muy variable en el tiempo. Además, la señal eléctrica que este produce resulta ser de difícil tratamiento debido a su variación constante.

2. ESTUDIO DE LOS MATERIALES

En este apartado se tratará de desarrollar el conjunto de elementos mecánicos y eléctricos que son parte fundamental para el aerogenerador y su funcionamiento, además de donde podríamos encontrarlos dentro del vertedero.

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES MÁS COMUNES EN EL VERTEDERO DE ACCRA

El motor es la parte fundamental de los aerogeneradores, lugar donde se produce la energía eléctrica a partir del movimiento rotativo obtenido del viento. El funcionamiento de los generadores eléctricos está basado en el fenómeno de la inducción electromagnética. Cuando un conductor eléctrico realiza un movimiento relativo hacia el campo magnético, se induce un voltaje en el conductor. La Ley de Faraday es la que establece que, el voltaje inducido en un circuito cerrado, es directamente proporcional a la rapidez con la que cambia en el tiempo el flujo magnético que atraviesa una superficie cualquiera, con el circuito como borde. Siendo la expresión de la fuerza electromotriz obtenida:

$$V = -N \cdot \Delta\Phi / \Delta t$$

Siendo Φ el flujo magnético y N el número de vueltas de la bobina. El símbolo "menos" es debido a la ley de Lenz, que indica que la dirección de la fuerza electro magnética es tal que el campo magnético de la corriente inducida se opone al cambio en el flujo que produce esta fuerza electro magnética. Esta ley está relacionada con la conservación de energía.

Como la espira gira en el seno del campo magnético a una frecuencia constante que varía de forma sinusoidal con la rotación, el voltaje generado en los terminales de la bobina también es sinusoidal (CA). En el momento que se conecte una carga en los terminales, comenzará a

producirse un flujo de corriente, que será la energía que se transferirá a la carga. Por lo tanto, la energía mecánica que hace rotar la bobina se convierte en energía eléctrica.

La corriente de la carga que ahora fluye por la bobina crea, a su vez, un campo magnético que se opone al cambio del flujo de la bobina, por lo tanto, la bobina se opone al movimiento. Cuanta más alta sea la corriente, más grande debe de ser la fuerza que se tiene que aplicar a la armadura para evitar que se ralentice.

Los generadores y motores, cuentan con una armadura (o estator) que incluye un grupo de bobinas que forman un cilindro. El campo magnético producido por el inductor, situado en el rotor, suele estar formado por un electro-imán o un imán permanente. El electro-imán está formado por las denominadas bobinas de campo fijadas encima de un núcleo de hierro. El flujo de corriente de las bobinas de campo produce el campo magnético. Esta corriente se puede obtener a partir de la fuente externa o de la propia armadura del sistema.

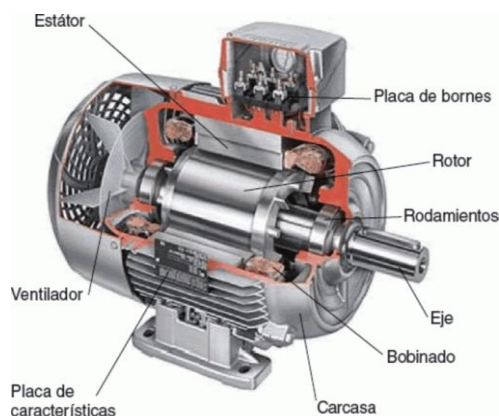


Figura 2.1 Partes de un motor [15]

Se ha de tener en cuenta que, a pesar de tratar este apartado como si fueran a ser usados como motores, su uso real será como generador, sin embargo, dado que su diseño original ha sido orientado a ser utilizados

como motor en este apartado serán descritos como tal.

Motor Universal

Este motor adquiere su nombre dado que es el único tipo de motor que puede funcionar tanto en corriente alterna AC como en corriente continua DC, y por ello es el más utilizado además de dotarlo de propiedades muy interesantes.

Cuando el motor se conecta a una fuente de corriente continua este se comporta como un motor de tipo serie normal, con sus mismas características. Independientemente de la polaridad de la alimentación el rotor siempre tiene el mismo sentido de giro.

Estas máquinas en su funcionamiento como motor, suelen usar un sistema de escobillas para unir de manera física el devanado del rotor y del estator, lo que permite crear el electro-imán en el rotor. Debido al uso de estas escobillas hace que requiera un mantenimiento, ya que estas con el paso del tiempo de desgastan.

Cuando es conectado a una fuente de AC, también se comporta como un motor serie, pero el cambio en la polaridad sí afecta al sentido de giro.

Este tipo de motor por sí solo no puede trabajar como generador dado que necesita una fuente de excitación externa para generar el campo magnético.

Se debe destacar que los motores que encontraremos, están pensados para funcionar, en su mayoría con fuentes trifásicas, sin embargo, dadas las características de la red eléctrica doméstica, monofásica, encontraremos un condensador entre dos de sus fases. Es muy importante que el condensador que se encuentre en cada motor permanezca junto al mismo hasta el montado ya que su valor depende las características del motor.

Este tipo de motores se pueden encontrar fácilmente, ya que, son el motor principal en electrodomésticos que necesitan mucho par para su

funcionamiento. Estos electrodomésticos suelen ser lavadoras, secadoras y lavavajillas.

Motor jaula de ardilla

Un motor de jaula de ardilla está formado por un rotor compuesto de chapas apiladas de tal manera que hagan del mismo un bloque solido de hierro. El estator al igual que el motor universal se encuentra formado por chapas apiladas con un conjunto simétrico de polos salientes en donde se encuentran alojadas las bobinas que generaran la inducción sobre el rotor.

Este tipo de motor nos puede ser de utilidad, de igual modo que el motor universal, siendo este el tipo elegido para su modificación ya que su simpleza constructiva y la escasa necesidad de mantenimiento lo hacen ideal para este proyecto.

Este tipo de motor es el más común, dada su simpleza, su poco mantenimiento y su bajo coste de producción. Se pueden encontrar en casi todos los electrodomésticos que usen motores frigoríficos, trituradoras, etc.

Motor de imanes permanentes

Como el motor anterior, este posee un estator bobinado el cual mediante una excitación externa produce un campo magnético sobre el rotor, que lo hace girar. Sin embargo, la principal característica de este motor es que el rotor se encuentra conformado por imanes permanente. Esto lo convierte el motor muy interesante para el presente trabajo, ya que sin ningún tipo de modificación puede trabajar como generador. Pero debido al coste de los imanes permanentes, aunque muy común suelen ser de baja potencia, entorno a los 30w.

Este tipo de motores se pueden localizar en los alternadores de los coches, en electrodomésticos de pequeño tamaño, en las bombas de agua y en herramientas eléctricas como taladros.

2.2 USO Y OBTENCIÓN DE LOS IMANES PERMANENTES

Para crear el campo se van a usar imanes permanentes de neodimio obtenidos de discos duros del tipo HDD de 3.5', muy comunes en estos vertederos. Un imán de neodimio es del tipo de tierras raras. Este se trata de un imán permanente hecho a partir de una aleación de hierro, boro y neodimio con la fórmula empírica $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$. Este tipo de imán artificial es actualmente el imán con mayor campo y es por esto por lo que se usa en infinidad de aplicaciones y lo que lo hace muy interesante para nuestro proyecto.

Si se desmonta uno de estos discos duros se puede observar que en su interior existe una aguja y un plato, tal y como aprecia en la foto.

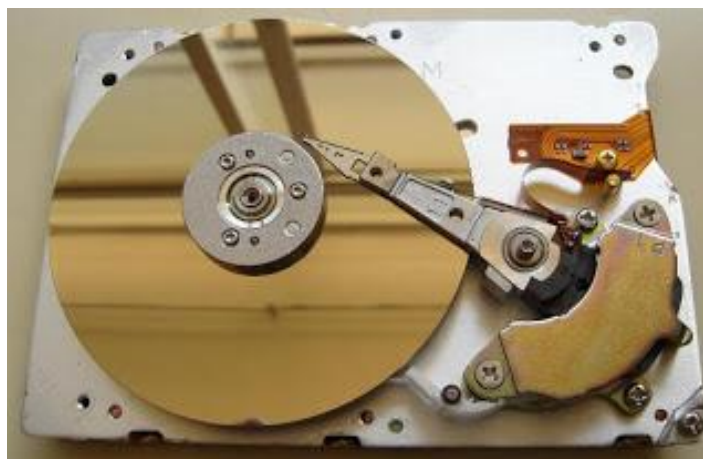


Figura 2.2 Interior de un disco HDD de 3.5" [16]

Desmontando el soporte de la aguja del disco duro se pueden obtener dos piezas iguales y opuestas con forma de riñón que soportan a la aguja en su parte superior e inferior, son estas dos piezas las que nos interesan para el presente proyecto, pues debajo de su recubrimiento metálico se encuentra un bloque solido de imán de neodimio.



Figura 2. 3 Imanes de un disco duro de 3,5" [17]

Estos imanes son parecidos a las cerámicas por lo que tallarlos para obtener una forma determinada no resulta difícil. Dada la forma en U de estos imanes, la mejor manera de obtener imanes lo más grandes posibles y desperdiciando el mínimo material, es como indica la figura 2.4. Los imanes obtenidos tendrían unas dimensiones aproximadas de 2x1x0,5 cm.

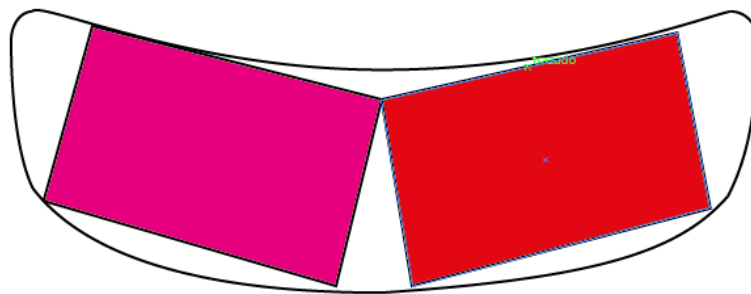


Figura 2. 4 Diseño de como cortar los imanes. Elaboración propia

A continuación, se adjunta una tabla de las diferentes características de estos imanes.

Imanes de neodimio

	<u>Remanencia</u>		<u>Coercitividad</u>				<u>Producto energético</u>		Temp. de servicio máx.
<u>Calidad</u>	Br		bHc		iHc		(BxH)max		
	Gauss (G)	Tesla (T)	kOe	kA/m	kOe	kA/m	MGOe	kJ/m ³	°C
N30	10800-11200	1.08-1.12	9.8-10.5	780-836	≥12	≥955	28-30	223-239	≤80
N33	11400-11700	1.14-1.17	10.3-11	820-876	≥12	≥955	31-33	247-263	≤80
N35	11700-12100	1.17-1.21	10.8-11.5	860-915	≥12	≥955	33-35	263-279	≤80
N38	12200-12600	1.22-1.26	10.8-11.5	860-915	≥12	≥955	36-38	287-303	≤80
N40	12600-12900	1.26-1.29	10.5-12.0	860-955	≥12	≥955	38-40	303-318	≤80
N42	12900-13200	1.29-1.32	10.8-12.0	860-955	≥12	≥955	40-42	318-334	≤80

Tabla 2. 1 Propiedades de los imanes de neodimio [18]

2.3 MATERIALES DE LAS PALAS DE LOS AEROGENERADORES

Las palas de un aerogenerador son el elemento encargado de colectar la energía del viento y convertirlo en movimiento rotatorio respecto al eje de giro del aerogenerador, es por esto que se convierte en una de las partes más características del aerogenerador. El perfil alar de las palas es parecido a las alas de un avión, ya que estas usan el mismo principio de funcionamiento.

En los aerogeneradores de gran tamaño, las palas se encuentran normalmente construidas a partir de una estructura central, cubierta por más de dos cubiertas exteriores formando el perfil aerodinámico, con forma alabeada y un ancho decreciente hacia la punta.

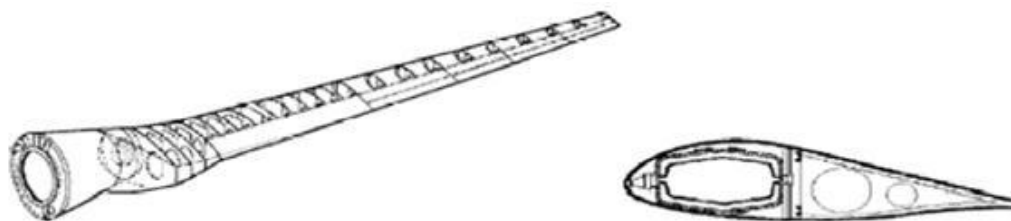


Figura 2.5 Perfil alar de una pala de aerogenerador [19]

Para este tipo de uso las palas deben cumplir una serie de requisitos, como son tener una alta resistencia a fatiga, rigidez, peso bajo o una alta resistencia a los agentes medioambientales

Los materiales normalmente empleados son aleaciones de acero y de aluminio, pero que tienen problemas de peso y de fatiga del metal, por lo que son usados sólo en aerogeneradores muy pequeños.

Fibra de vidrio reforzada con resina poliéster, lo normal en la mayoría de palas de los aerogeneradores actuales de gran tamaño.

Fibra de vidrio reforzada con resina epoxi, en forma de láminas preimpregnadas produciendo una pala más ligera, mayor flexibilidad, menor deformación bajo temperaturas extremas.

Fibra de carbono o aramidas como material de refuerzo en tiras por sus buenas propiedades mecánicas como una alta resistencia específica, obteniéndose además unas palas muy ligeras. Normalmente estas palas son antieconómicas para grandes aerogeneradores [20].

Para conocer las dimensiones óptimas para las palas y así obtener el mejor rendimiento de las mismas, se realizará, en apartados posteriores, cálculos numéricos basados en ensayos en laboratorio.

La construcción de las aspas del aerogenerador, será el proceso de manufactura más complejo que se va a desarrollar en este proyecto, los materiales que se podrían usar y las características de los mismos para el posterior proceso de manufactura son los siguientes.

Para posibles construcciones alternativas podrían usarse las aspas de un ventilador de coche u otro elemento con aspas pequeñas como puede ser un ventilador de aire, para los aerogeneradores de baja potencia, utilizando los motores de las bombas del agua.

Siguiendo la línea del montaje principal, con un motor de jaula de ardilla, se usarán los tubos de PVC dadas sus buenas propiedades mecánicas, así como la facilidad con la que se puede trabajar, lo hacen ideal para este proyecto. Las dimensiones de las mimas se detallarán más adelante, tras la realización del ensayo del motor.

Otra opción constructiva sería mediante el uso chapas finas de algún material rígido pero maleable como pueden ser las tapas un ordenador, que son de aluminio de entre 1mm y 2 mm, dándoles forma de perfil alar.

3. METODOLOGÍA

El proceso de diseño del aerogenerador se divide en 3 partes que se van sucediendo, como muestra la figura 3.1.

La primera, será la obtención y análisis del motor. De este se deben tener en cuenta datos tales como el diámetro exterior del rotor, el diámetro interior del estator, la potencia máxima que es capaz de desarrollar en su funcionamiento como motor y de qué tipo constructivo se trata. En el caso práctico, que se detallará más adelante, se usará un motor de jaula de ardilla.

El segundo paso, se podrá plantear desde dos situaciones, como muestra la figura 3.1 con las flechas verdes. Si ya se posee un número par de imanes que encajan sin problemas en la superficie rotor, se podrá calcular la potencia que podría llegar a dar el motor en su funcionamiento como generador con el nuevo rotor imantado. Por otra parte, si lo que se desea es una potencia determinada, podremos obtener el valor del campo que necesitamos generar y consecuentemente la dimensión de los imanes para que aporten dicho campo, teniendo en cuenta que estos deben entrar en el rotor. Se ha de tener en cuenta que la potencia máxima que se podrá llegar a alcanzar, como generador, será muy difícil que supere la mitad del valor de la potencia como motor.

Finalmente, se determinará la dimensión óptimas de las palas para obtener la potencia deseada a partir de la curva de potencia del motor modificado.

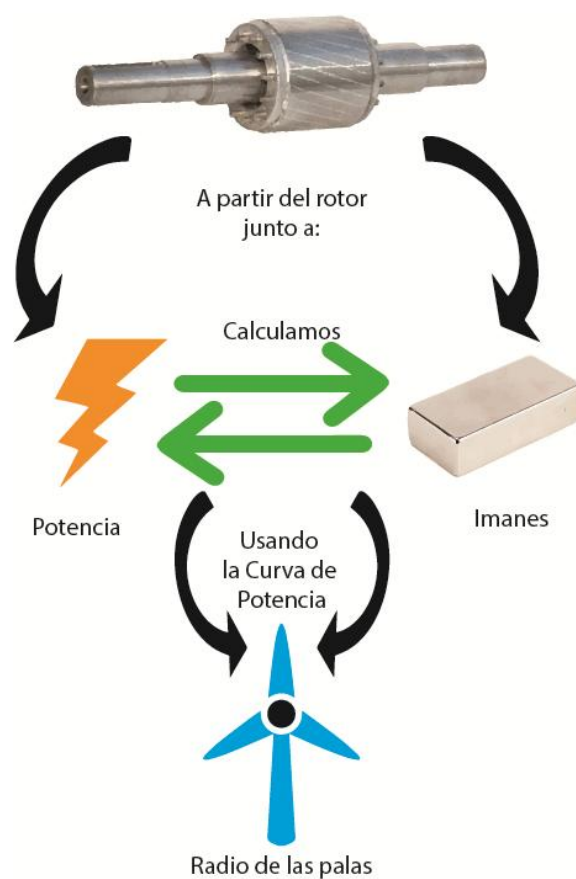


Figura 3. 1 Proceso de diseño del aerogenerador. Elaboración propia

4. PROCESO DE DISEÑO DEL AEROGENERADOR

4.1 ANÁLISIS DEL MOTOR MÁS COMÚN EN EL VERTEDERO DE ACCRA

Como se ha comentado en apartados anteriores, el motor más común que se puede encontrar, se trata de un motor de jaula de ardilla. En este proyecto se va a estudiar la viabilidad de convertir un motor de jaula de ardilla en un generador. Para esto, se ha reciclado el motor, que se muestra en la figura 3.1, de una panificadora rota.



Figura 4.1 Motor de reciclado objeto de estudio

Con el fin de poder comprender su configuración interna, y poder confirmar que se trata de un motor de jaula de ardilla, se procedió de desmontarlo como muestra la figura 3.2.



Figura 4.2 Motor despiezado

Centrando la atención en el rotor del motor, figura 3.3, se puede ver que se trata de un bloque metálico formado por chapas apiladas. Con esto queda claro que se trata de un motor de jaula de ardilla. Su funcionamiento, en este estado, como generador es imposible, ya que no existe ningún campo magnético, ni del tipo electroimán ni de imanes permanentes, que pueda crear una inducción en los bobinados del rotor dando como resultado que por mucho que gire nunca generara electricidad.



Figura 4. 3 Rotor de jaula de ardilla

Queda claro que se necesita un campo magnético en el rotor, y para crear este efecto se necesitará añadir imanes permanentes en el rotor. Situando un número par de imanes, alternando sus polaridades, se podrá crear un efecto inducción sobre el bobinado del estator cuando rotor gire.

4.2 DISEÑO DEL ROTOR CON IMANES PERMANENTES

Como resulta obvio, en el contexto donde se desarrolla este proyecto, resulta difícil fijar unos valores, dado la heterogeneidad del origen de los componentes usados, es por esto que, si se quiere obtener el máximo rendimiento del generador, se hace necesario un desarrollo matemático que permita aproximar unos valores previos a la construcción del mismo.

Para esto se ha diseñado un proceso en dos pasos. El primero, determinar el campo magnético que necesita generar el rotor para obtener las características expuestas en la tabla y en un segundo paso dimensionaremos los imanes necesarios para crear el campo calculado.

Para el desarrollo matemático, se van a considerar que el generador a calcular, será del tipo eje horizontal, transmitiendo, sin necesidad de engranajes, la velocidad de giro de las palas al rotor.

Con el fin de realizar los cálculos, se han de determinar ciertos aspectos propios del motor, como son la potencia que se quiere obtener, las revoluciones por minuto a las que se desea obtener dicha potencia, así como sus características físicas del motor seleccionado como el diámetro exterior del rotor, el diámetro interior del estator y la longitud del entrehierro.

Partiendo de estos datos, se puede obtener el par producido (1). También podemos realizar el cálculo de la inducción en el entrehierro a partir de un análisis simplificado y partiendo de la suposición de que la permeabilidad magnética de la chapa magnética es muy elevada. Por otro lado, el factor ranuras se tendrá en cuenta multiplicando el entrehierro por el factor de Carter [21] (2). A partir de este valor se obtendrá tanto el valor de la inducción en el entrehierro (3) como el flujo magnético (4).

$$T = \frac{P_{turb}}{\omega_{turb}} \quad (1)$$

$$K_c = \frac{\tau_\delta}{\tau_\delta - \frac{b_\delta^2}{5\delta_g + b_\delta}} \quad (2)$$

Siendo en la expresión anterior (2):

τ_δ el paso medio como arco de la circunferencia que da al entrehierro.

b_δ la apertura de la ranura media como arco de la circunferencia que da al entrehierro.

δ_g es el espesor geométrico del entrehierro frente a un diente.

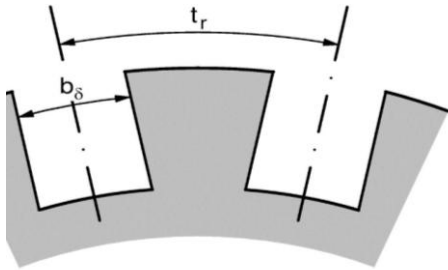


Figura 4.5 Dibujo que muestra las medidas entre dientes [20]

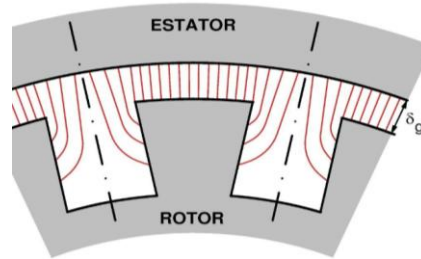


Figura 4.4 Líneas de flujo magnético entre [20]

$$B_\delta = \frac{B_r}{1 + \frac{\mu_r \delta_g D_m}{l_m D_r}} \quad (3)$$

$$\phi_\delta = D_r B_\delta \frac{L}{p} \quad (4)$$

El siguiente paso en el cálculo del generador es la obtención del imán que ira en el rotor. Todo imán permanente genera un campo B o inducción magnética (unidad SI el Tesla) tanto en su interior como en su entorno externo. A cada punto en el interior o exterior del imán se le puede asignar una intensidad de campo en una dirección.

No existen fórmulas sencillas para el cálculo del campo en función de la forma del imán. Sin embargo, para formas geométricas simétricas menos complejas existen fórmulas sencillas que indican el campo sobre un eje de simetría en dirección de polo norte sur.

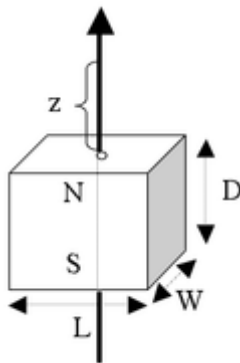
En este caso se va a considerar que el imán se trata de un paralelepípedo magnético pues los imanes que se dispondrán serán pastillas lo más rectangulares posibles, las cuales se colocarán como muestra la figura.



Figura 4.6 Disposición en anillo de los imanes [21]

Tomando como referencia un único imán la fórmula del campo B sobre el eje de simetría de un paralelepípedo magnético magnetizado axialmente será [22]:

$$B = \frac{B_r}{\pi} \left[\arctan \left(\frac{(L * W)}{2z * \sqrt{4z^2 + L^2 + W^2}} \right) - \arctan \left(\frac{(L * W)}{2(D + z) * \sqrt{4(D + z)^2 + L^2 + W^2}} \right) \right]$$



B_r es el campo remanente.

z la distancia, este caso del entrehierro.

L la longitud del paralelepípedo.

W el ancho del paralelepípedo.

D el espesor del paralelepípedo.

Figura 4. 7 Diagrama dimensiones del imán [22]

4.3 DISEÑO DE LAS PALAS

Como ya se ha comentado con anterioridad las palas son las encargadas de captar la energía cinética del viento. Esta energía depende de la masa y la velocidad según la formula (1).

$$E_c = 0.5 \cdot m \cdot v^2 \quad (1)$$

Resulta obvio que la velocidad del viento no es de fácil evaluación, sin embargo, podremos determinar la masa de aire que atraviesa el aerogenerador. Para hacer esto se debe calculará su volumen y multiplicarlo por la densidad.

Para esto, sabiendo que las aspas de un aerogenerador giran formando un círculo, la masa de aire que cruza el aerogenerador tendrá, por lo tanto, forma de cilindro (figura 3.1) y es la energía cinética contenida en este cilindro la que se debe calcular, considerando un tiempo aleatorio t , en el que se asumirá una velocidad v del viento constante.

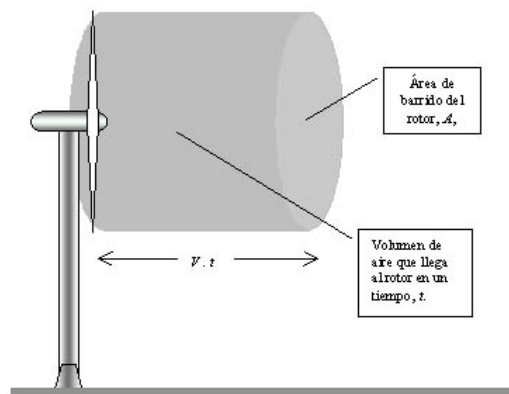


Figura 4.8 Modelización del aire a través de un aerogenerador [23]

Considerando el cilindro, se sabe que el área de su base será A (2), siendo r el radio desde el centro del eje del motor hasta el borde del aspa. Por otra parte, la altura será considerada como la distancia recorrida por el aire en un tiempo t (3).

$$A = \pi * r^2 \quad (2)$$

$$L = v * t \quad (3)$$

Por lo tanto, el volumen de nuestro cilindro será (4). Se ha de tener en cuenta que la masa de aire que cruza el aerogenerador es el volumen por la densidad, tomando como la densidad del aire, en condiciones normales, aproximadamente $\rho = 1.29 \text{ kg/m}^3$.

$$V = \pi * r^2 * v * t \quad (4)$$

Sustituyendo en la formula (1) haciendo uso de la (2), (3), y (4) se puede apreciar que la energía cinética depende cúbicamente de la velocidad del aire (5), por lo que pequeños aumentos de velocidad pueden suponer grandes incrementos de energía obtenida.

$$E_c = 0.5 * m * v^2 = 0.5 * (V * \rho) * v^2$$

$$E_c = 0.5 * (\pi * r^2 * v * t * \rho) * v^2$$

$$E_c = 0.5 * \pi * r^2 * v^3 * t * \rho \quad (5)$$

Se ha de tener en cuenta que la conversión de energía cinética a eléctrica no es perfecta. Un concepto que valora la cantidad de potencia eléctrica que un aerogenerador es capaz de extraer del viento es C_{pe} que normalmente esta en torno a 0,4 0,5.

$$C_{pe} = C_{pm}(\beta, \lambda) * \eta_{\text{eléctrico}} * \eta_{\text{mecánico}}$$

Siendo:

C_{pm} = Coeficiente de potencia mecánico

β = Angulo de paso

λ = Velocidad especifica de la turbina

$\eta_{\text{eléctrico}}$ = Rendimiento eléctrico

$\eta_{\text{mecánico}}$ = Rendimiento mecánico

Retomando nuevamente la formula (5), aplicándole el rendimiento y despejando el tiempo de la ecuación, se obtendrá la formula (6) de la potencia, magnitud mucho más adecuada para el estudio.

$$P_{motor} = (C_{pe} * 0.5 * \pi * r^2 * v^3 * t * \rho) / t$$

$$P_{motor} = C_{pe} * 0.5 * \pi * r^2 * v^3 * \rho \quad (6)$$

Agrupando los términos que permanecen constantes en cada tipo de generador, debido a sus características, en un factor k (7), que aplicando esta constante en la formula quedará (8).

$$k = C_{pe} * 0.5 * \pi \quad (7)$$

$$P_{motor} = k * r^2 * v^3 \quad (8)$$

Finalmente, partiendo de la ecuación (8), despejando la r, nos permite obtener la longitud de las palas en función de la potencia que se desea obtener y la velocidad a la que se quiere que se produzca, cruzando

esto con el punto óptimo de la curva de potencia del motor, se obtiene una longitud de palas lo más óptima posible.

5. CASO PRÁCTICO

5.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO A UTILIZAR

Para la realización de estudio del motor, se van a realizar una serie de pruebas para demostrar que un motor de jaula de ardilla no puede funcionar como generador sin las modificaciones necesarias. Todos los elementos que van a ser descritos han sido cedidos por la Universidad de Cantabria.

- **Motor.** La siguiente foto muestra el motor que se usará en el ensayo y posteriormente se modificará a fin de que trabaje como generador.
- **Tacómetro.** Para poder determinar la velocidad de giro del eje del motor ensayado es necesario el uso de un tacómetro, en este caso será un tacómetro láser, como muestra la imagen, para lo cual se precisa instalar una pegatina blanca en el eje del motor.
- **Multímetro.** Lo más importante de este ensayo es poder demostrar que el motor genera tensión a la salida y para esto se hace necesario el uso de un multímetro, que compruebe la tensión a la salida del motor.
- **Testo 615.** Se trata de un termo-higrómetro compacto que permitirá verificar que las pruebas son hechas en un ambiente normal.
- **Motor compound.** Este será el motor que se usará para hacer girar el motor a ensayar uniendo sus ejes mediante el uso de una correa. Las características del motor se detallan en la siguiente foto.

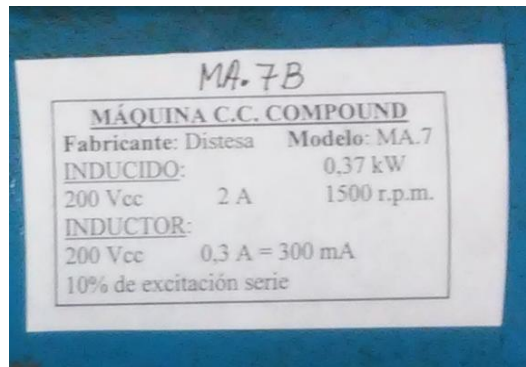


Figura 5. 1 Etiqueta del motor de ensayo

5.2 ANALISIS DEL MOTOR DE JAULA DE ARDILLA

Para realizar el ensayo se disponen todos los elementos antes citados como se muestra en la foto. El motor compound actuará como motor y mediante el uso de una correa transmitirá la potencia del giro al motor que vamos a ensayar. Dado que el motor compound tiene tacómetro integrado solo necesitamos medir la velocidad de giro del motor a ensayar y teniendo las dos velocidades se puede determinar la relación de transmisión.



Figura 5. 2 Equipo completo de ensayo

A la salida del motor a ensayar se tienen tres cables rojo, blanco y negro que mediante el uso de clemas uniremos como muestra la foto al

multímetro para medir la tensión de salida, así como los ohm de las bobinas lo que permitirá conocer la construcción interna del motor.

En la primera parte del ensayo, se han medido mediante la función de continuidad del multímetro los ohm entre las diferentes salidas del motor para conocer su construcción interna. Los resultados han sido los siguientes:

Rojo/Negro-----79 Ohm

Negro/Blanco-----82.5 Ohm

Roja/Blanca-----164 Ohm

Con estos datos se llega a la conclusión que la construcción interna del motor es la de un motor bifásico, con el negro común y por lo tanto 4 polos en el estator, formados por 2 bobinas.

Tras esto se realizará el ensayo del motor a estudio, aumentando la velocidad de giro del motor impulsor hasta hacer que el eje del motor a estudiar gire a 1500 rpm, velocidad indicada por el tacómetro laser. Gracias al tacómetro integrado en el motor compound se ha podido determinar que cuando el motor del estudio gira a 1500 rpm, el motor compound gira a 538 rpm obteniendo una relación de transmisión 0,35.

La señal obtenida en el multímetro a la salida del motor indica una tensión aproximada de 3 voltios, desde el inicio del movimiento a bajas revoluciones hasta alcanzar las 1500 rpm, esto es debido a la inducción remanente que se producida en el rotor. Esto nos indica que nos encontramos ante un motor de jaula de ardilla, motores como se indicó con anterioridad, muy comunes en este tipo de máquinas debido a su reducido coste.

A pesar de estos resultados se decidió probar a conectar el condensador, que venía junto al motor, entre las distintas conexiones y

estudiar como variaba la tensión a la salida. Conectando las dos bobinas del estator en paralelo con el condensador entre la salida de color blanco y el neutro, obtuvimos menor tensión que la anterior prueba. Al conectar de la misma manera, pero entre la salida de color rojo y el neutro la tensión fue algo más elevada alrededor de 3,2 voltios, pero sin utilidad práctica para el objetivo del proyecto.

5.3 MODIFICACIÓN DEL MOTOR PARA SU USO COMO GENERADOR

Dado que el motor elegido no puede trabajar como generador, como la mayoría de los casos que se pueden encontrar en el vertedero, se hace necesario realizar una modificación para que este pueda trabajar como tal. Como se ha visto con anterioridad para poder generar electricidad, según la ley de Faraday, tiene que existir un campo magnético que varíe respecto a una bobina. En este caso se dispone de las bobinas que se encuentran en el estator, sin embargo, el rotor es de tipo de jaula de ardilla, por lo que al girar este no existe ningún campo magnético excitador.

El primer paso para la conversión es desmontar el motor, para poder acceder al rotor, al que se necesita tallar los espacios necesarios para situar los imanes sobre el mismo y que pueda seguir girando sin problema dentro del estator. Con el motor despiezado podemos apreciar todas las partes del mismo.



Figura 5. 3 Estator del motor a ensayar

Se van a usar 10 imanes de neodimio de 10x20x2mm, que son los que actualmente se disponen. Debido a la imposibilidad de mecanizar el rotor para instalar los imanes, se ha optado por diseñar un rotor en CAD para poder imprimirlo en 3D. El diseño consiste en 10 acanaladuras de 2mm de ancho y 10mm de profundo, de esta manera se consigue disponer los 10 imanes a lo largo del rotor.

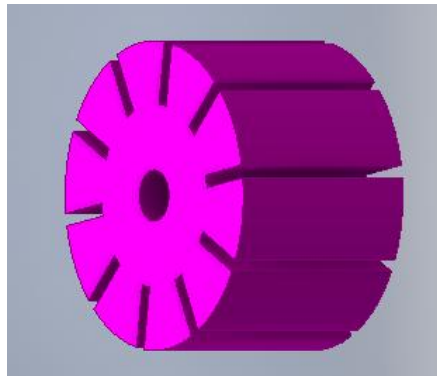


Figura 5. 4 Diseño del roto en CAD.
Elaboración propia

Situando los imanes alternando sus polaridades, Norte Sur, consiguiendo tener el rotor listo para montar en el estator, cerrarlo y probarlo. La siguiente imagen muestra los imanes dispuestos en un rotor fabricado por una impresora 3D.

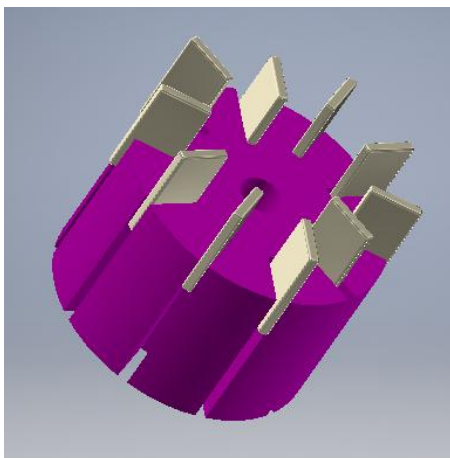


Figura 5. 6 Diseño en CAD del rotor introduciendo los imanes. Elaboración propia



Figura 5. 5 Figura del rotor con los imanes colocados en su posición final. Elaboración propia.

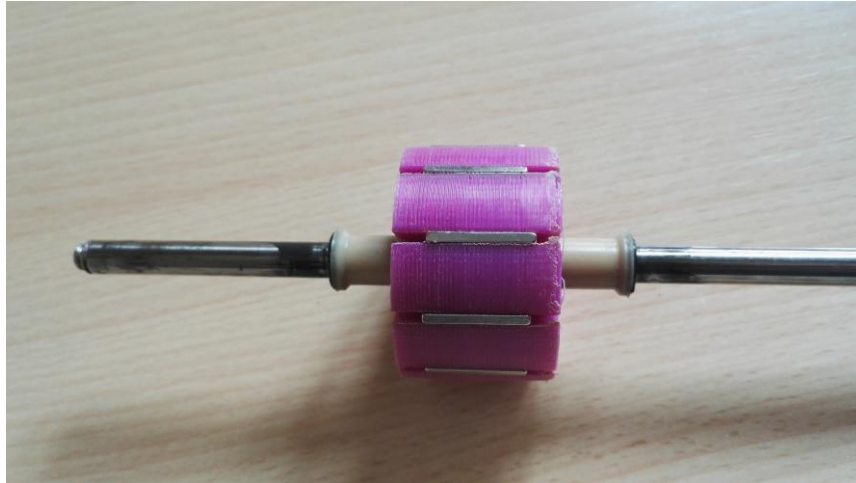


Figura 5. 7 Foto del rotor que será usado en el ensayo

Tomando la fórmula del apartado 4.3, sabiendo que las dimensiones de los imanes son de 2x1x0,2cm, en el motor existe un entre hierro de 1mm y que son del tipo N40, con un $B_r = 1,25 \text{ T}$, el campo magnético que puede llegar a generar cada uno de estos imanes, es de 18,22 Teslas.

5.4 CURVAS DE POTENCIA DEL MOTOR MODIFICADO

Al igual que en ensayo anterior se dispondrá el motor ya modificado uniendo su eje al motor compound. También será usado el tacómetro y el multímetro para ir realizando una tabla que relacione la tensión y la intensidad con las revoluciones por minuto para así obtener la curva del nuevo motor modificado. Se añadirá una resistencia de 25 Ohms con el fin de obtener la intensidad. La potencia se obtendrá a partir de la formula (9), para ello se necesitará saber que el factor de potencia del motor es $\cos(\varphi) = 0,63$.

$$P_{motor} = V * I * \cos(\varphi) \quad (9)$$

Con estos datos, se obtendrá la tabla de potencia del motor, tanto

con su configuración en serie, paralelo e individual. Se irá aumentando de 100 en 100 rpm desde 0 hasta 1200 rpm, y un valor final de 2500 rpm.

5.4.1 Configuración individual

Para el ensayo de la configuración individual, se han situado las puntas del multímetro entre el cable negro (común) y el rojo (fase). La resistencia será situada entre el común y una de las puntas de medición del multímetro. La tabla 4.1 muestra los datos obtenidos del ensayo y la Figura 4.1 muestra la curva del motor con esta configuración.

RPM	Tensión (V)	Intensidad (A)	Potencia (W)
0	0	0	0
100	1,2	0,043	0,03293112
200	2,2	0,085	0,1193434
300	3,7	0,145	0,3423943
400	5,5	0,24	0,842424
500	7,3	0,293	1,36504598
600	7,8	0,335	1,6676166
700	14	0,643	5,7450764
800	17	0,676	7,3341944
900	19	0,759	9,2034822
1000	20	0,822	10,492008
1100	22	0,891	12,5099964
1200	25	1,121	17,885555
2500	30	1,192	22,822032

Tabla 5. 1 Configuración de una sola bobina del motor modificado. Elaboración propia

Dado que las bobinas son casi idénticas, solo se ha realizado el ensayo con la bobina del cable rojo.

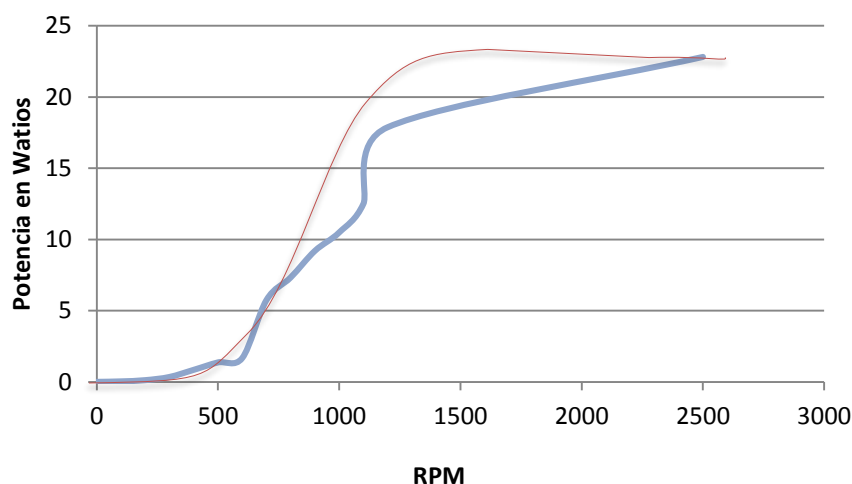


Figura 5. 8. Curva del motor en configuración individual (azul), aproximación de las curvas de potencia habituales (rojo). Elaboración propia

5.4.2 Configuración serie

Para el ensayo de la configuración individual, se han situado las puntas del multímetro entre el cable blanco (fase) y el rojo (fase). La resistencia será situada entre una de las fases y una de las puntas de medición del multímetro. La tabla 4.1 muestra los datos obtenidos del ensayo y la Figura 4.1 muestra la curva del motor con esta configuración.

RPM	Tensión (V)	Intensidad (A)	Potencia (W)
0	0	0	0
100	3,1	0,112	0,22158304
200	4,7	0,189	0,56691306
300	6,2	0,253	1,00108052
400	9,3	0,332	1,97050632
500	12	0,501	3,8368584
600	14	0,579	5,1732492
700	26	1,081	17,9372492
800	28	1,131	20,2105176
900	31	1,221	24,1565082
1000	33	1,321	27,8210526
1100	35	1,421	31,740877
1200	37	1,49	35,183966
2500	40	1,53	39,05784

Tabla 5. 2 Configuración en serie del motor modificado. Elaboración propia

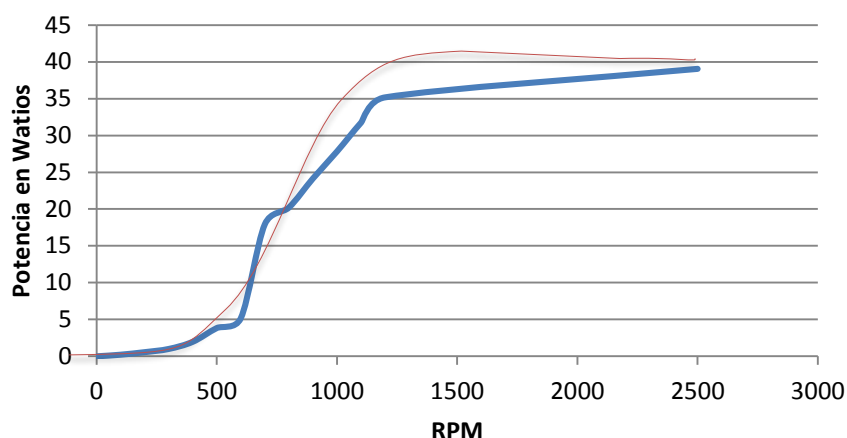


Figura 5. 98 Curva del motor en configuración serie (azul), aproximación de las curvas de potencia habituales (rojo). Elaboración propia

5.4.3 Configuración paralelo

Para el ensayo de la configuración individual, se han situado las puntas del multímetro entre el cable negro (común) y cable rojo y blanco unidos. La resistencia será situada entre el común y una de las puntas de medición del multímetro. La tabla 4.1 muestra los datos obtenidos del ensayo y la Figura 4.1 muestra la curva del motor con esta configuración.

RPM	Tensión (V)	Intensidad (A)	Potencia (W)
0	0	0	0
100	1,3	0,055	0,0456313
200	2,4	0,083	0,12712944
300	5,8	0,221	0,81804476
400	7,7	0,298	1,46441372
500	7,8	0,513	2,55369348
600	13	0,52	4,314232
700	18	0,77	8,845452
800	21	0,85	11,39187
900	22	0,871	12,2291884
1000	24	0,981	15,0257808
1100	26	1,103	18,3022996
1200	31	1,2	23,74104
2500	33,2	1,43	30,2991832

Tabla 5. 3 Configuración en paralelo del motor modificado. Elaboración propia

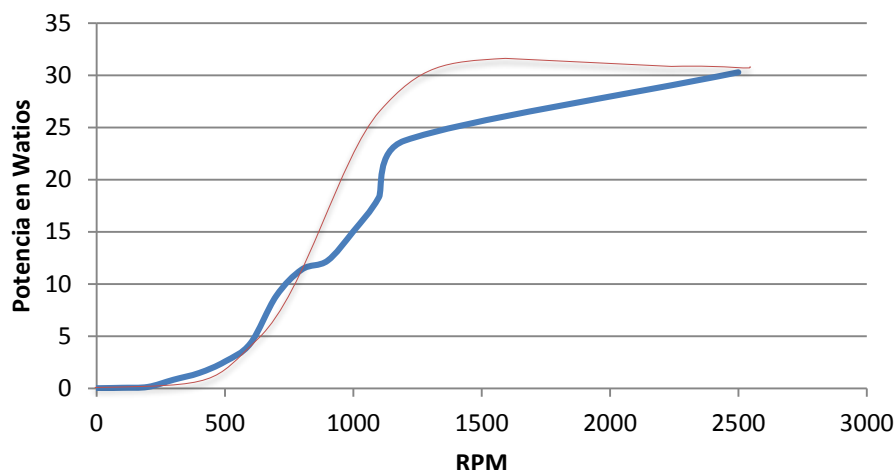


Figura 5. 10 Curva del motor en configuración paralelo (azul), aproximación de las curvas de potencia habituales (rojo). Elaboración propia

De los resultados se obtiene que de la configuración en serie se obtiene algo más de potencia, pero que sin embargo el crecimiento es algo más lento, comparada con la configuración en paralelo

5.5 DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS PALAS

Para la construcción de las palas, se parten de los tubos de PVC antes descritos. Uno de los principales fines para el que se realizó el estudio anterior fue definir el mejor punto de trabajo para el motor y así posteriormente obtener el radio óptimo de las palas, por lo que la longitud del tubo, debería de ser un valor aproximado a esa medida.

Lo primero que debemos saber para nuestro diseño, es la velocidad media del viento en localización donde se va a instalar el aerogenerador. En nuestro caso, vamos a estudiar la situación de los vientos en la costa de Accra. Tomando como referencia las velocidades medias de vientos entre 2010 y 2014, como se mostró en la figura 1.6, vemos que el viento medio suele ser de 4,55 m/s.

Posteriormente se definirá definir el punto de trabajo del motor, para el presente proyecto se ha decidido tomar un punto entorno a las 800

rpm, con la configuración individual, de la que se obtienen 7,33 W. Como se ha comentado, a la hora de convertir la potencia cinética del viento en potencia mecánica se ha de tener en cuenta el coeficiente de potencia mecánica, en nuestro estudio tomaremos un valor común de $C_{pe} = 0,5$, además de una $\rho = 1.29 \text{ kg/m}^3$.

Para el cálculo del radio de las palas se partirá de la expresión (10) de despejando la r obtenemos la expresión (11), cuyo valor es la dimensión en metros de las palas.

$$P_{motor} = C_{pe} * 0.5 * \pi * r^2 * v^3 * \rho \quad (10)$$

$$r = \sqrt{\frac{P_{motor}}{C_{pe} * 0.5 * \pi * v^3 * \rho}} \quad (11)$$

El valor que obtenemos de la expresión (11) es 0,27 metros. Por lo que el tubo de PVC que debemos escoger debe tener una longitud próxima a 0,27 metros.

Si en vez de escoger la configuración individual, hubiese escogido la configura serie o paralelo, el proceso numérico sería idéntico, y obteniendo unos valores de 0,46 metros y 0,34 respectivamente.

Para la construcción de las palas los tubos serán divididos y cortados en tres partes iguales radialmente. Mediante el uso de plantillas de papel puede proyectarse el diseño de las palas sobre cada una de las partes el tubo de PVC obteniéndose las tres palas que formaran el aerogenerador, como muestra la siguiente figura:

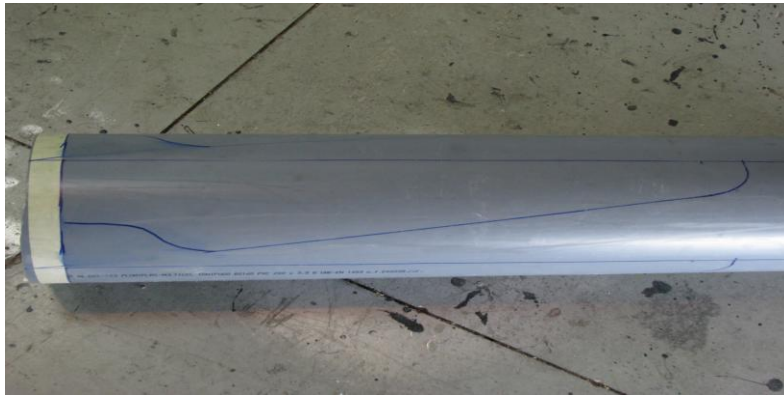


Figura 5. 11Diseño de las palas proyectado sobre el tubo de PVC [25]

Repitiendo el mismo dibujo 3 veces en el mismo tubo, y recortando las mismas, se obtendrán las 3 palas del aerogenerador.



Figura 5. 9 Palas obtenidas del tubo de PVC [25]

5.6 CURVAS DE POTENCIA DEL AEROGENERADOR

El funcionamiento de un aerogenerador está caracterizado por su curva de potencia. La curva de potencia es la respuesta en potencia generada por ese aerogenerador frente a todas las velocidades de viento, como muestra la siguiente figura:

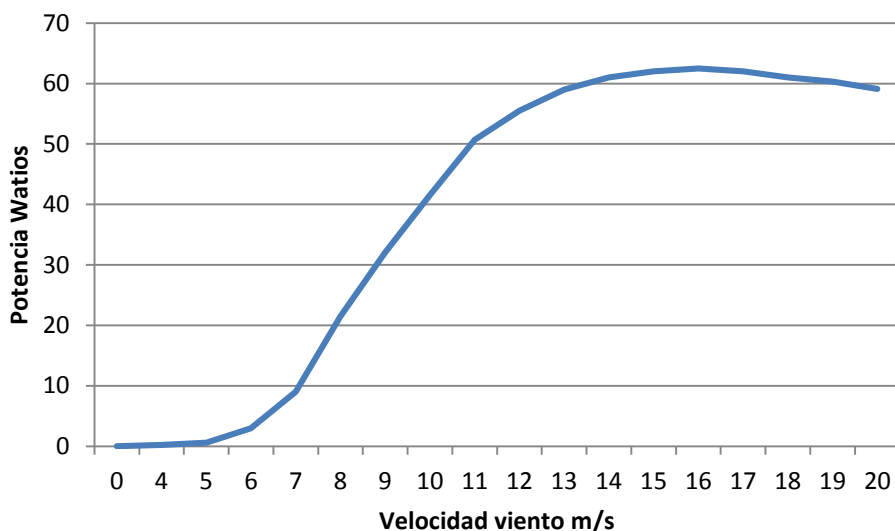


Figura 5. 13 Curva de potencia típica de un aerogenerador. Elaboración propia

La explicación a que la curva no siga un crecimiento lineal hasta producir daños en la estructura respecto al viento es debido a la pérdida aerodinámica. Se denomina Stall a la pérdida de sustentación de una pala por cambios en su comportamiento aerodinámico, de la misma forma que cuando un avión vuela a una velocidad demasiado baja, la sustentación de sus alas disminuye y entra en pérdida. El fenómeno de pérdida se produce por la rotación de la pala sobre su eje. A partir de una determinada velocidad de viento se comienza a producir pérdida aerodinámica progresiva manteniendo el par constante e independiente de la velocidad del viento.

Para el cálculo de la velocidad del viento se hará uso de la expresión (12) que relaciona la velocidad lineal y las RPM.

$$v = r \times \text{RPM} \times 2\pi/60 \quad (11)$$

Siendo:

v la velocidad del viento

r radio de las palas

RPM revoluciones por minuto del motor

Usando esta relación matemática, se debe hacer coincidir las 800 rpm con un viento de 4,55 m/s. Sin embargo, si se realiza la operación obtenemos, en el caso de la configuración individual, que para girar a 800rpm se necesitará un viento de 22 m/s. Esto nos indica que se requiere una multiplicadora de revoluciones entre las aspas y el eje del motor. En la formula (12) se indica con el termino ω la relación de la multiplicado que es necesario añadir, en este caso $\omega=5$

$$v * \omega = r \times \text{RPM} \times 2\pi/60 \quad (12)$$

Usando las palas calculadas y una multiplicadora con una relación de 5/1 para la configuración individual, 8/1 para configuración serie, y 6/1 para la configuración en paralelo, se obtienen, en cada configuración, las diferentes curvas de potencia.

5.6.1 Curva de potencia con la configuración individual

Viento (m/s)	Tensión (V)	Intensidad (A)	Potencia (W)
0	0	0	0
0,565488	1,2	0,043	0,0329311
1,130976	2,2	0,085	0,1193434
1,696464	3,7	0,145	0,3423943
2,261952	5,5	0,24	0,842424
2,82744	7,3	0,293	1,365046
3,392928	7,8	0,335	1,6676166
3,958416	14	0,643	5,7450764
4,523904	17	0,676	7,3341944
5,089392	19	0,759	9,2034822
5,65488	20	0,822	10,492008
6,220368	22	0,891	12,509996
6,785856	25	1,121	17,885555
14,1372	30	1,192	22,822032

Tabla 5. 4 Relación entre la velocidad del viento y la potencia en configuración individual

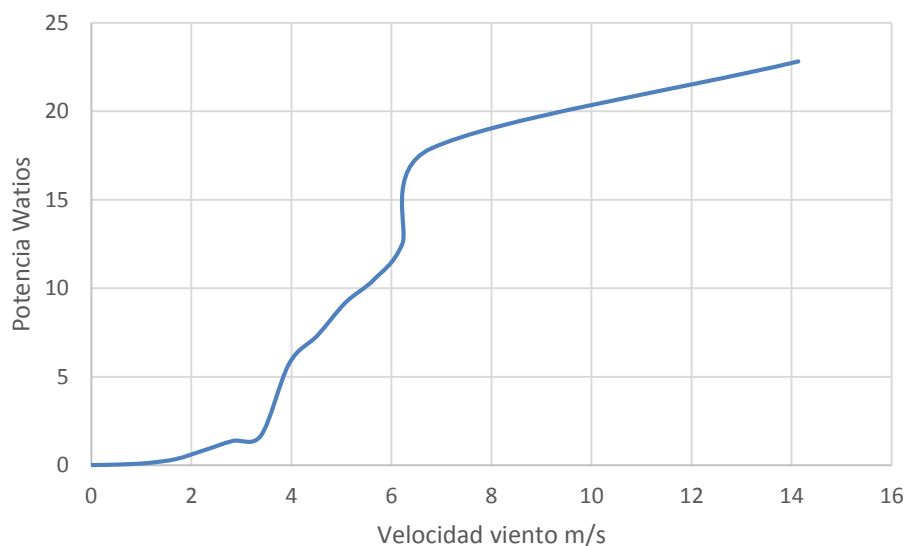


Figura 5. 10 Curva de potencia del aerogenerador en configuración individual. Elaboración propia

5.6.2 Curva de potencia con la configuración serie

Viento (m/s)	Tensión (V)	Intensidad (A)	Potencia (W)
0	0	0	0
0,60214	3,1	0,112	0,221583
1,20428	4,7	0,189	0,5669131
1,80642	6,2	0,253	1,0010805
2,40856	9,3	0,332	1,9705063
3,0107	12	0,501	3,8368584
3,61284	14	0,579	5,1732492
4,21498	26	1,081	17,937249
4,81712	28	1,131	20,210518
5,41926	31	1,221	24,156508
6,0214	33	1,321	27,821053
6,62354	35	1,421	31,740877
7,22568	37	1,49	35,183966
15,0535	40	1,53	39,05784

Tabla 5. 5 Relación entre la velocidad del viento y la potencia en configuración serie

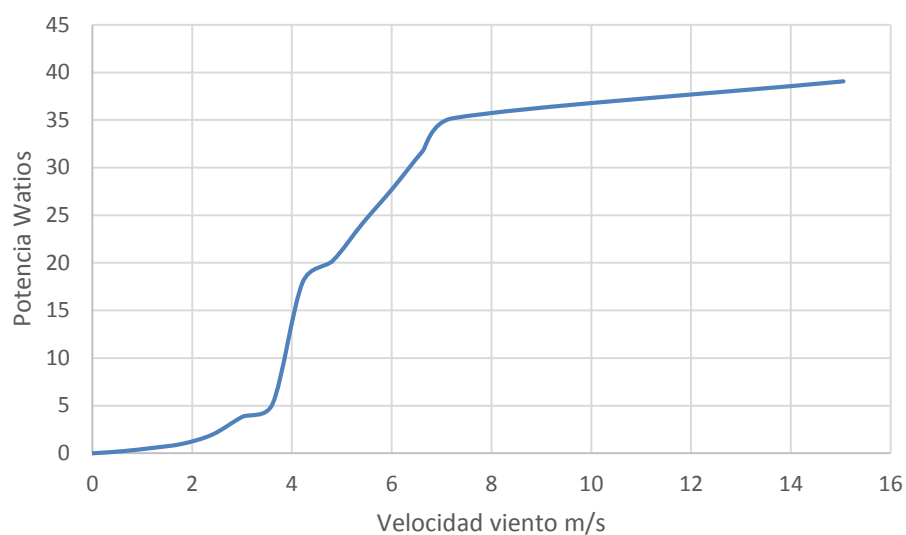


Figura 5. 11 Curva de potencia del aerogenerador en configuración serie. Elaboración propia

5.6.3 Curva de potencia con la configuración paralelo

Viento (m/s)	Tensión (V)	Intensidad (A)	Potencia (W)
0	0	0	0
0,5934133	1,3	0,055	0,0456313
1,1868267	2,4	0,083	0,1271294
1,78024	5,8	0,221	0,8180448
2,3736533	7,7	0,298	1,4644137
2,9670667	7,8	0,513	2,5536935
3,56048	13	0,52	4,314232
4,1538933	18	0,77	8,845452
4,7473067	21	0,85	11,39187
5,34072	22	0,871	12,229188
5,9341333	24	0,981	15,025781
6,5275467	26	1,103	18,3023
7,12096	31	1,2	23,74104
14,835333	33,2	1,43	30,299183

Tabla 5. 6 Relación entre la velocidad del viento y la potencia en configuración paralelo

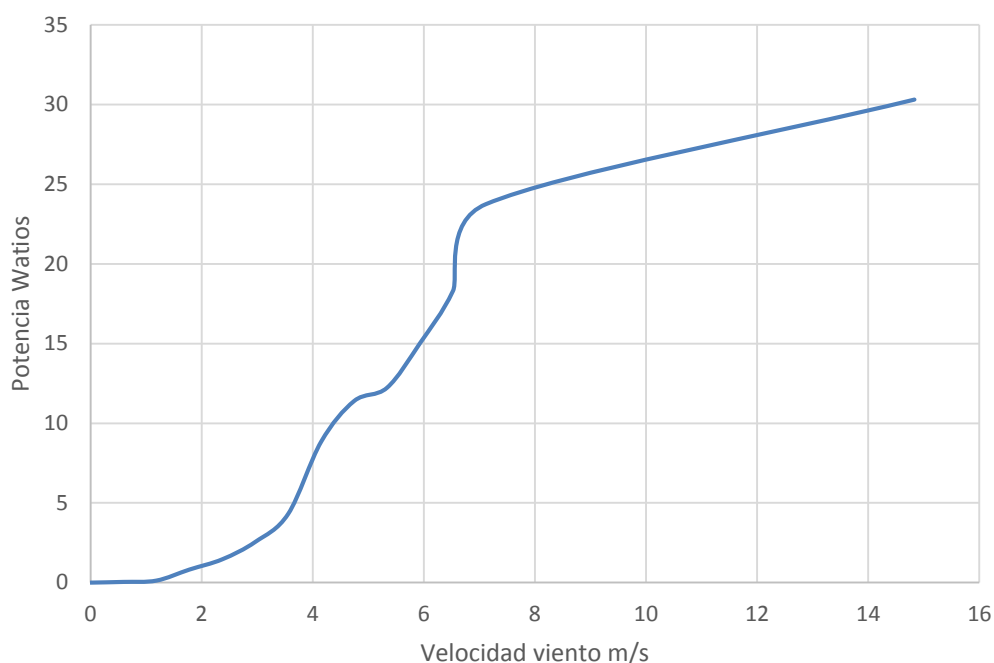


Figura 5. 12 Curva de potencia del aerogenerador en configuración paralelo. Elaboración propia

5.7 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN E IMPACTO

Para calcular la energía que podría llegar a producir el uso de este tipo de aerogeneradores, en la región de Accra, nos centraremos en un año como 2013, el cual posee una velocidad de viento máxima de 5,8 m/s en Agosto, y mínima en Enero de 3,85 m/s. Para realizar los cálculos se tomará la conexión simple del aerogenerador, además, se deberá tener en cuenta que para poder iniciar el movimiento de las palas hace falta una velocidad mínima de viento de unos 5m/s debido a los rozamientos mecánicos y más acusados con la multiplicadora, por lo que velocidades inferiores a esta no generan energía.

Haciendo uso de los datos de viento a lo largo de 2013 y usando los resultados obtenidos en el ensayo del motor, se puede estimar la energía generada cada mes por uno de estos aerogeneradores en la región de Accra.

	Velocidad del viento	Energía producida (W)	Energía producida en un mes (Wh)
Enero	3,861003	0	0
Febrero	4,610982	0	0
Marzo	5,138745	9,2	6844,8
Abril	4,527651	0	0
Mayo	3,833226	0	0
Junio	4,749867	0	0
Julio	5,360961	9,7	7216,8
Agoste	5,83317	11	8184
Septiembre	5,305407	9,7	7216,8
Octubre	4,638759	0	0
Noviembre	4,333212	0	0
Diciembre	3,916557	0	0

Tabla 6. 1 Estimación de la producción mensual en la región de Accra por un aerogenerador

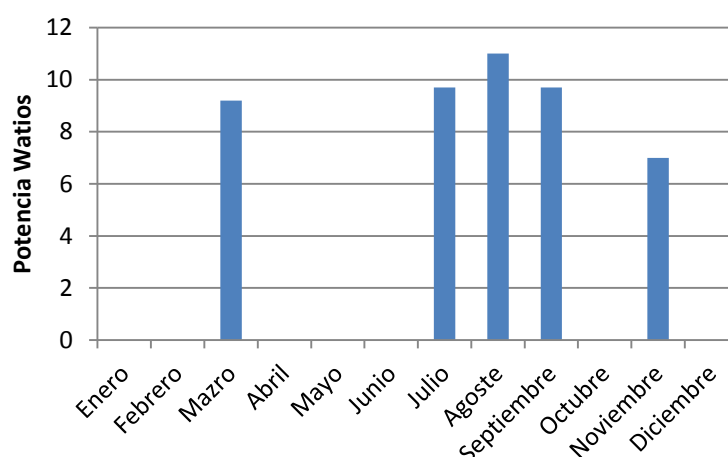


Figura 6. 1 Estimación de la potencia mensual producida Accra por 1 aerogenerador. Elaboración propia.

La figura 6.1 muestra los watios generados cada mes, suponiendo que el viento es constante las 24 horas del día y que con una velocidad inferior a 4 m/s no se genera potencia. Sumando todos estos valores se obtendrá una energía total a lo largo del año de 34670,4 Wh, siendo esto solo lo producido por 1 aerogenerador.

Por otro lado, también existe la opción de vender los aerogeneradores a países con mayores velocidades de viento. Uno de estos países situado

en Sahara occidental, donde los vientos son más abundantes todo el año, es Villa Cisneros. Tomando como referencia el año 2013, se tiene una velocidad máxima de viento de 10,7 m/s en junio, una mínima de 6,6 m/s en Marzo y una media de 8,2 m/s.

Realizando un estudio idéntico para Villa Cisneros, se obtiene la tabla 6.2.

	Velocidad del viento	Energía producida (W)	Energía producida en un mes (Wh)
Enero	7,05358	18,3	13615,2
Febrero	7,08135	18,3	13615,2
Marzo	6,69257	17	12648
Abril	7,85891	19	14136
Mayo	9,63619	19,5	14508
Junio	10,77476	19,9	14805,6
Julio	9,85835	19,6	14582,4
Agoste	8,38654	18,9	14061,6
Septiembre	8,6087	19,2	14284,8
Octubre	8,46985	19,1	14210,4
Noviembre	7,13689	18,4	13689,6
Diciembre	6,88696	17,9	13317,6

Tabla 6. 2 Estimación de la producción mensual en la región de Villa Cisneros por un aerogenerador

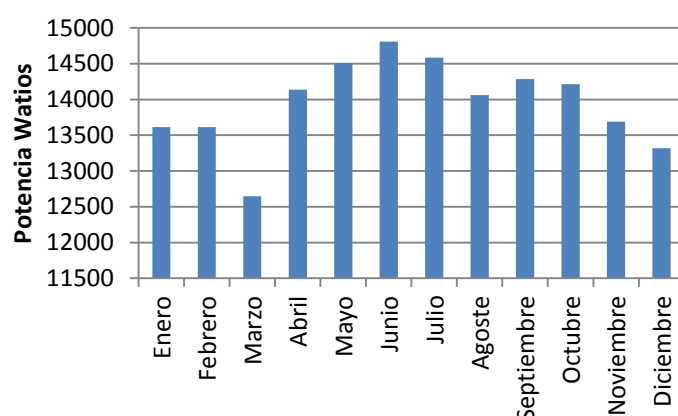


Figura 6. 2 Estimación de la potencia mensual producida en Villa Cisneros por 1 aerogenerador.
Elaboración propia.

La figura 6.2 nos muestra los watios generados cada mes, suponiendo que el viento es constante las 24 horas del día y que con una velocidad inferior a 4 m/s no se genera potencia. Sumando todos estos valores obtenemos una energía total a lo largo del año de 167474,4 Wh, siendo esto solo lo producido por 1 aerogenerador.

Para hacer un cálculo del impacto del uso de estos aerogeneradores se ha de tener en cuenta que una reducción de 34670,4 Wh al año supone que, si el consumo de energía al año en uso doméstico en Ghana es de 26248,91 Gwh con una población de 25,9 millones habitantes, suponiendo familias de tres miembros, cada familia consumiría 3030414,3 Wh al año. Esto supondría que el uso de estos aerogeneradores reduciría en 1,1% la energía consumida en los hogares.

Comparando su aplicación en Togo, donde la media de vientos es casi idéntica, una población 6,817 millones, una energía consumida a nivel doméstico de 15630,72 Gwh. Si se realizan las mismas consideraciones, se obtiene una familia consume al año 6878709 Wh, un valor superior a Ghana, obteniéndose un impacto en la factura del 0,5%. Sin embargo, hay que considerar que el mayor derroche energético en este país es debido a la falta de medidas de eficiencia.

Como resulta obvio, la elección de un emplazamiento adecuado es vital para el mejor aprovechamiento del aerogenerador. Como se puede ver el mismo aerogenerador en Villa Cisneros produce 132804 Wh más que en Ghana.

Si finalmente se venden los aerogeneradores a países colindantes, se puede llegar a realizar una estimación del precio de venta, así como su beneficio. En Ghana la moneda oficial es el Cedi de Ghana, que es igual a 0,22€ por Cedi. Los cálculos del coste se desarrollarán en euros por ser la moneda donde se ha diseñado el proyecto. Se ha de tener en cuenta que el nivel adquisitivo en la zona subsahariana es muy inferior al nivel europeo, por esta razón, los precios que se calcularán más adelante

habría que multiplicarlos por un factor de corrección X para tener en valorar esta circunstancia. Este factor de corrección se obtendrá comparando la renta per cápita de cada país con España [31], teniendo en España una renta per cápita de 30.150\$. Por ejemplo, en Ghana, donde la renta per cápita es de 1.689\$ el factor de corrección será de 0,056, y en todo donde el nivel de vida es mucho menor, la renta per cápita es de 495\$, dando un factor de corrección de 0,016.

Para el cálculo del coste necesitaremos valorar los siguientes apartados:

- Primero se considera que se trabaja en un taller con las herramientas adecuadas, como son un torno, caladora y todo tipo de herramienta necesaria para la construcción del aerogenerador.
- Segundo, el salario mínimo en Ghana por horas es de 0,5 €/h, el medio 3,5 €/h y el alto 14 €/h [26].
- Tercero, el precio aproximado de venta, de la parte del aerogenerador tratada en el proyecto, está en el mercado en torno a los 200€ [27].
- Y cuarto, el coste de los materiales de construcción es 0, dado que se reciclan del vertedero.

Gracias a la experiencia personal, se considera que para la construcción de este tipo aerogeneradores se tardaran 8 horas, lo que supondría, cobrando un sueldo medio, 28€ por aerogenerador. También, habría que añadir un plus de 50€ por el coste las herramientas de construcción. Y finalmente, dado que no es un aerogenerador con acabados profesionales, se podría vender por la mitad del precio de los aerogeneradores habituales, 120€, obteniéndose un margen de beneficio por aerogenerador de 42€.

Un aspecto importante es el impacto de la orografía del terreno donde se instalen los aerogeneradores. Para solucionar este problema de una manera general, la altura a la que se situará el aerogenerador, debería estar en torno a 10 metros [27]. Como altura se entiende la

distancia entre el suelo hasta el eje de giro de las palas, o bien, si existe vegetación frondosa u otro elemento que no permita el correcto flujo de aire, desde la superficie superior del mismo.

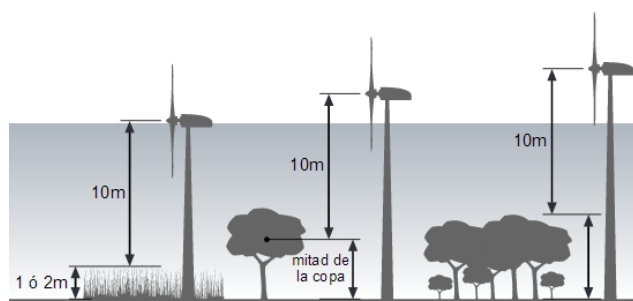


Figura 6. 3 Altura a la que se aconseja situar el aerogenerador [27]

También es importante destacar la importancia la orografía y los obstáculos donde se instalen los aerogeneradores. Accidentes suaves del terreno como colinas o vaguadas ayudan positivamente a la aceleración del viento, como muestra la figura 6.4 Al contrario, en casos de accidentes abruptos, la energía del viento se disipa en forma de turbulencias, mostrado en la figura 6.5.

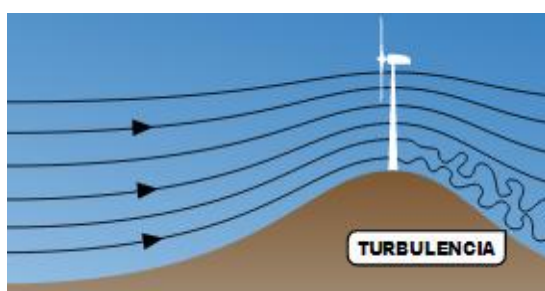


Figura 6. 4 Flujo de viento con accidente suave del terreno [28]

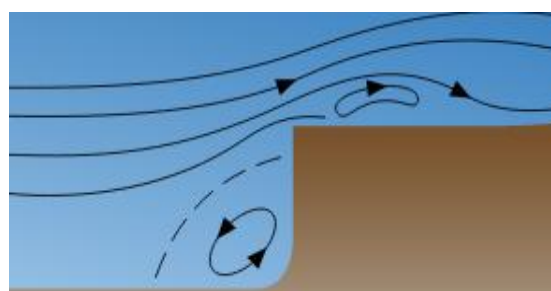


Figura 6. 5. Flujo de viento con accidente abrupto del terreno [28]

Sin embargo, estos últimos aspectos no se han podido tener en cuenta en este proyecto, ya que, varían completamente dependiendo el lugar donde se instalen los aerogeneradores y se precisaría realizar el estudio en cada sitio en particular.

6. RESULTADOS

A lo largo de este proyecto, se ha demostrado que es posible la construcción de un aerogenerador tri-pala funcional, a partir de materiales de desecho, obtenidos en el vertedero electrónico. Además, la simpleza de la obtención de los materiales y su ensamblado ayuda a que este proyecto sea posible.

Por otro lado, se han planteado dos posibilidades para el uso posterior de los aerogeneradores:

Usar estos aerogeneradores en las comunidades de Accra podría reducir el impacto medioambiental en dos sentidos. Por un lado, el reciclado de los materiales. Por el otro, la reducción de energía producida por combustibles fósiles, además de mejorar su calidad de vida tanto por la adquisición de conocimientos técnicos, como por dejar de exponerse a gases nocivos producidos por la quema de plásticos y otras sustancias lo que repercute en su salud a medio y largo plazo.

La otra opción, dado que Ghana es en país exportador de energía y estando Accra suficientemente abastecido energéticamente, además de no ser uno de los mejores emplazamientos para el aprovechamiento de los aerogeneradores, se contempla la venta de aerogenerador a países que no disponen de buenas infraestructuras eléctricas pero que sin embargo disponen de una media de viento superior, como en Villa Cisneros, obteniéndose 1971,6 Wh más que en Accra a lo largo de un año. Además, según la página del ministerio de Ghana el coste por kWh es de 0.066 € [29], por lo 34,6704 kWh supondrían 3€ de ahorro, por lo que el beneficio económico de 42 € debido a la venta es mayor que el coste del ahorro energético.

Se ha de tener en cuenta que una reducción de 34670,4 Wh al año significa una reducción muy importante en la tala de árboles, dado que el aporte energético de un árbol verde es de 4kwh/kg, lo que equivale a 8,65kg de madera al año por aerogenerador, multiplicando el efecto

beneficioso para el medio ambiente.

Todos estos datos resultan prometedores, sin embargo, se ha de tener en cuenta aspectos como el factor de utilización, relación entre la demanda máxima y la potencia instalada por un intervalo de tiempo definido, dado que no siempre se va a disponer de la energía suficiente, ni será siempre la misma, a excepción de que se almacene, aspecto que no se tiene en cuenta en este proyecto pero que resulta de vital importancia para este tipo y tamaño de generador.

7. FUTURAS LÍNEAS DE ACTUACIÓN

El 1 de diciembre de 2015, los jefes de estado africanos han dado a conocer en la cumbre de París la iniciativa africana de energías renovables(AREI) [30]. Este ambicioso proyecto pretende generar 30 Gw de energías renovables para el 2030. Este gran proyecto estará además impulsado por Francia con 2 mil millones de euros para el periodo 2016-2020.

Dentro de este marco podría llegar a plantearse la inclusión de este proyecto, dado que no requiere de una gran inversión económica para su realización. Además, se podría desarrollar un proyecto que abarcara varios países en el proceso productivo, realizando un reparto selectivo de los residuos, lo que distribuiría más equitativamente el beneficio económico que implica tener un vertedero.

Como ampliación de este proyecto, se podría llegar a desarrollar otro que trate sobre la rectificación y almacenamiento de la energía, usando nuevamente productos obtenidos de vertederos electrónicos.

Como conclusión final, debido a la actual crisis energética, medioambiental y social, la inclusión de este tipo de proyectos que engloban los tres problemas, únicamente pueden ser beneficiosos, no sólo a nivel local, si no a nivel global, y dado que nos encontramos dentro de un mismo planeta es hora de dejar de pensar en pequeño y ser

conscientes de que todas las acciones humanas, por pequeñas que sean, afectan al conjunto del planeta y pensar en que cada día que pasa se deteriora más y más. Manteniendo esta tendencia, como muestran los informes de W.W.F, se necesitarán al menos tres planetas para abastecernos en 2050. En el caso de España, para autoabastecer la demanda actual necesitaríamos aumentar la producción 2,8 veces.

Otro estilo de vida es posible, sin un consumo tan constante, pensado que quizás muchas de las cosas que nos rodean no son más que producto de una necesidad creada por la propia actividad consumista.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] UNEP, the hidden side of IT equipment's manufacturing and use, Early Warnings on Emerging Environmental Threats No. 5,(01/2005)
- [2] Santillo, D., Walters, A., Labunska, I. & Brigden, K, Toxic Chemicals in Computers, (22/10/2007)
- [3] Brigden, K., Labunska, I., Santillo, D. & Allsopp, Recycling of electronic wastes in China and India: workplace and environmental contamination, (08/2005)
- [5]Madeleine Cobbing, Toxic Tech: Not in our Backyard. Available, (21/02/2008)
- [6] Jackson, John G., Introduction to African Civilizations,(01/05/2001)
- [7] CIA World FactBook,Ghana,(20 /05/2016).
- [8]Ghana; Electricity and heat for 2013, International Energy Agency IEA, www.iea.org, (21/05/2016)
- [4]Jo Kuper, Martin Hojsik, La contaminación química en los emplazamientos de reciclaje y gestión de residuos electrónicos en Accra y Korforidua, Ghana, (10/2008)
- [9] La basura electrónica nos ahoga, Economía digital www.economiadigital.es, (01/07/2016)
- [10] Lugo, T.,Las Políticas TIC en América Latina: prioridad de las agendas educativas. (2015)
- [11] Kurt van der Herten, Recycling Magazine Benelux. (03/2008)
- [12] F.J. Balbás, J.R. Aranda, Ma C. Ruiz, I. Lombillo, L. Villegas, N. Kata, Renewable energy in developing countries, (16/04/2012)
- [13] Historia de la energía eólica, EKIDOM www.ekidom.com , (20/06/2016)
- [14] Clima en Accra, Tu tiempo www.tutiempo.net, (01/07/2016)

- [15] ¿Cómo funciona el motor eléctrico?, como funciona que www.comofuncionaque.com, (15/07/2016)
- [16] Despiece de disco duro Quantum, alma de herrero www.almadeherrero.blogspot.com.es, (20/07/2016)
- [17] Custom Wood & Aluminum Magnets from a Hard Drive, Instructables <http://www.instructables.com>, (21/07/2016)
- [18] Datos físicos de los imanes, Supermagnete www.supermagnete.es, (24/07/2016)
- [19] Fabricación de las palas, Opex Energy www.opex-energy.com, (3/08/2016)
- [20] Miguel Ángel Rodríguez Pozueta, Campo magnético en el entrehierro de las maquinas eléctricas simétricas, (2011)
- [21] Fmagnet, www.imanes-de-neodimio.com, (08/08/2016)
- [22] ¿Cómo se calcula la densidad de flujo?, Supermagnete www.supermagnete.es, (09/08/2016)
- [23] Central eólica, Energía eólica www.javiardelucas.es, (09/08/2016)
- [24] Aerogenerador, De todo un poco y de la nada mucho <http://fermings.blogspot.com.es> (11/09/2016)
- [25] El vertedero tecnológico, el periódico internacional <http://www.elperiodico.com/>, (15/08/2016)
- [26] Salary Survey in Ghana, Salary explorer www.salaryexplorer.com, (17/09/2016)
- [27] Turbinas de 50 watios, Aliexpress <https://es.aliexpress.com>, (17/09/2016)
- [28] Agencia Andaluza de la energía, Energía eólica Guía técnica, (09/09/2011)
- [29] Fuel Prices, Energy ghana www.energyghana.com, (17/09/2016)

[30] Africa Launches Massive Renewable Energy Initiative, WWF
<http://www.worldwildlife.org>, (18/09/2016)

[31] Perspectiva económica mundial, Fondo monetario internacional (FMI),
(17/04/2012)