

## **Propuesta de abastecimiento energético en forma independiente para una vivienda rural basada en un aerogenerador**

### **Proposal for energy supply independently for a rural housing based on a wind turbine**

*Arratia Patricio Alejandro, arratiapatricio90@gmail.com Chocala Ma. de los Angeles, mchocala@uaco.unpa.edu.ar, Rodriguez Roberto, rgrod\_2004@yahoo.com.ar, Rodriguez Ramiro, ramiro246@gmail.com, De San Pedro Eugenia, Herrera Mabel*

Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA), Unidad Académica Caleta Olivia (UACO) - Acceso Norte, Ruta N° 3 - Caleta Olivia - Santa Cruz - Argentina.

*Recibido: 31/03/2017 Aceptado: 27/09/2017*

### **RESUMEN**

El presente proyecto tiene como objetivo la selección de un aerogenerador de baja potencia para el abastecimiento energético de una casa-tipo, situada en un lugar aislado de la Patagonia Argentina. Con tal fin, se ejecutó un relevamiento de la potencia instalada en el hogar y el consumo estimado del mismo, como así también un análisis del recurso eólico en la zona, tomando mediciones periódicas de la velocidad del viento, velocidad de ráfagas y dirección mediante una estación meteorológica instalada en el lugar. Los datos obtenidos fueron procesados para calcular el potencial eólico y seleccionar a partir de ellos, el aerogenerador.

**Palabras clave:** Abastecimiento Energético; Energía Renovable; Aerogenerador de Baja Potencia; Energía Eólica; Patagonia Argentina.

### **ABSTRACT**

This project's aim is the selection of a wind turbine of low power in the energy supply of a house-type, situated in a secluded place of the Patagonia Argentina. To this end, an analysis was made of the wind resource in the area, periodic measurements were taken of the wind speed, speed bursts and using a meteorological station installed in the place.

**Key words:** Energy Supply - Renewable Energy - Wind Power - Low Power Wind Turbine - Patagonia Argentina.

### **INTRODUCCIÓN**

Se tiene una casa-tipo situada en un lugar aislado de la Patagonia Argentina. La gran distancia que existe entre el hogar y el tendido de red eléctrica más próximo, dificulta la llegada de energía al lugar por medio de las vías convencionales. El proyecto busca abastecer energéticamente la casa mediante la implementación de energías renovables, más precisamente por medio de la fuerza del viento. Para ello se ejecutó un relevamiento de la potencia instalada en el hogar y el consumo estimado del mismo, a fin de conocer las



necesidades energéticas a cubrir. Al mismo tiempo se realizó un análisis del recurso eólico en la zona, se tomaron mediciones periódicas de la velocidad del viento, velocidad de ráfagas y dirección. Las variables mencionadas fueron datadas por una estación meteorológica DAZA DZ-WH3104 instalada en el lugar. Los datos obtenidos fueron procesados para calcular el potencial eólico y seleccionar, a partir de ellos, un aerogenerador de baja potencia capaz de satisfacer las necesidades de consumo básicas.

El objetivo general del proyecto es hacer una propuesta de abastecimiento energético, en forma independiente, para una vivienda rural basada en un aerogenerador. Por otra parte, los objetivos particulares del trabajo son: la estimación de la demanda energética diaria del hogar y el análisis del recurso eólico en la zona.

Este escrito divide la investigación en dos secciones: en la primera parte se hace una reseña del desarrollo de la energía eólica y se expone su marco conceptual y legal; la segunda parte contiene cinco apartados. En el primero se hace una descripción de la vivienda y su consumo energético diario y en el segundo un análisis del recurso eólico en la zona; en el tercero se plantean medidas tendientes a hacer un buen Uso Racional de la Energía y la ampliación de la demanda; en el siguiente se comparan las tecnologías existentes en el mercado de los aerogeneradores; finalmente se hace una propuesta de conexión del equipo eólico seleccionado al sistema de generación existente.

## **1. MARCO DE REFERENCIA**

### **1.1. Marco Histórico**

La energía eólica se basa en la utilización del viento como energía primaria. Desde tiempos remotos este recurso ha sido empleado en diferentes partes del mundo y con diversos propósitos. En la Argentina su aplicación para el bombeo de agua ha sido muy común en la zona rural, adaptándose a las más diversas condiciones y climas del país.

Los molinos para bombeo de agua, ya sea para riego o para bebederos de ganado, se fueron difundiendo desde fines del siglo pasado. Estos molinos de baja velocidad, de eje horizontal y de tipo multipala, constituyen aún hoy un paisaje común en la zona rural de la mayoría de las provincias argentinas. “Estos representan a los clásicos molinos construidos con torres estructurales, usados en granjas o por el ferrocarril para la extracción de agua de napas. Se llegaron a instalar aproximadamente 610.000 molinos a mediados de la década del ‘50. El “Censo Nacional Agropecuario” realizado en el año 2002 por el INDEC dio como resultado 350.226 molinos instalados; tomando como referencia 0,5 [KW] de potencia nominal por unidad, nos da por consiguiente una potencia total de 175,1 [MW]” (García, 2006).

Otra de las aplicaciones de la energía eólica, con cierta tradición en la zona rural de nuestro país, ha sido la implementación de aerocargadores. Estos equipos tuvieron su auge a partir de la década del ‘20 y servían, básicamente, para cargar baterías o acumuladores que hacían funcionar radios y otros equipos valvulares de entonces. Con la llegada de los equipos a transistores y portátiles, estos cargadores fueron quedando en desuso. Este tipo de aerogeneradores volvieron a hacer su aparición en los '70 para su uso en zonas aisladas sin suministro eléctrico, lo que suponía en ese momento una revalorización de las fuentes no convencionales de energía. Los generadores de este tipo se utilizan como cargadores de baterías y sus potencias varían entre algunos vatios a unos 5 [KW]. Actualmente la oferta de esta tecnología se ha ampliado notablemente con el incremento de la importación y el

mejoramiento de los productos nacionales, lo que ha hecho más confiable el servicio que ofrecen. Según el “Censo Nacional Agropecuario de 2002”, se encontraban en operación 1.160 pequeños aerocargadores. Si se estima una potencia promedio de 0,4 [KW] por unidad nos da una potencia total de 464 [KW].

A pesar de su tradicional presencia, la energía eólica, no ha tenido hasta ahora un apoyo real en la Argentina. Esto se observa en el hecho de que a pesar de ser una fuente de energía con excelente perspectiva, con inmejorables posibilidades de desarrollo en el país, especialmente en la vasta región patagónica, no tiene gran desarrollo.

La energía eólica tiene amplios y diversos usos y su rol será, sin duda, cada vez más importante. Sus aplicaciones van desde los pequeños generadores para brindar suministro eléctrico a instalaciones de bajo consumo, hasta los grandes parques para la generación de electricidad a gran escala.

## 1.2. Marco Conceptual

La utilización adecuada de la nomenclatura hace del presente informe técnico un documento legible para cualquier persona interesada en el tema. Según las disposiciones técnicas, tendremos:

- **Aerogenerador:** máquina que transforma la energía del viento en energía eléctrica mediante rotores de palas. Produce energía tanto de día como de noche. Su potencia deberá de ser acorde a las necesidades de consumo de la instalación.
- **Batería:** almacena la energía producida por el aerogenerador y los paneles sola res, suministrándola posteriormente para su consumo. La autonomía mínima recomendada es de tres (3) días. La batería recomendada para este tipo de aplicaciones es del tipo estacionaria.
- **Inversor:** transforma la energía almacenada en las baterías de corriente continua a corriente alterna, apta para el uso doméstico. Puede incorporar un cargador para la recarga de las baterías en el caso de disponer de una fuente externa de CA como puede ser un grupo electrógeno. Existen además inversores que permiten un amplio abanico de posibilidades como la interacción entre ellos, con grupos electrógenos o con la red eléctrica, permitiendo aplicaciones mucho más amplias como instalaciones trifásicas, paralelo, Smart Grids, autoconsumo, o soporte de red.
- **Paneles solares:** generan electricidad a través de la radiación solar, por lo que su funcionamiento está limitado a las horas de sol. La cantidad de paneles y su potencia dependerá de la demanda energética requerida.
- **Potencia nominal ( $P_n$ ):** es la potencia máxima que demanda una máquina o aparato en condiciones de uso normales.
- **Regulador:** controla la energía generada por el aerogenerador y/o los paneles solares, así como el estado de la batería, previniendo la sobrecarga y descarga de las mismas.
- **Rendimiento del generador ( $\eta_g$ ):** de manera general, se define como la relación entre potencia útil y potencia absorbida expresada en %.

- **Uso Racional de la Energía (URE):** hace referencia al uso eficiente de los recursos energéticos, evitando el derroche de los mismos.
- **Velocidad nominal ( $V_n$ ):** es la velocidad que el motor alcanza cuando está entregando la potencia nominal.
- **Velocidad promedio del viento ( $V_{mv}$ ):** resultado que se obtiene al dividir la suma de las velocidades periódicas del viento por el número de sumandos, medido en [m/s].

La generación de electricidad mediante la energía eólica se puede presentar en tres niveles según su potencia (ver Tabla 1).

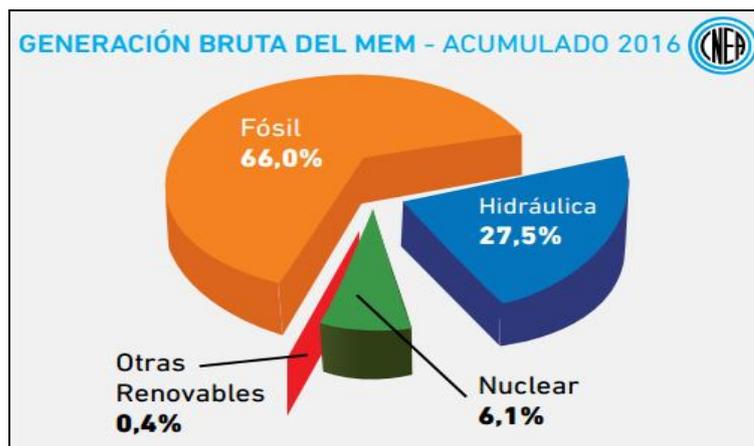
Nivel	Potencia	Aplicación
Baja	Desde algunos watts hasta 5 kW.	Suministro energético de aldeas escolares y puestos aislados.
Media	Desde 5 kW hasta 2 MW. En sistemas híbridos (térmico-eólico).	Para poblaciones aisladas eléctricamente y distribución local.
Alta	Desde decenas a centenas de MW.	Denominadas granjas o parques eólicos, a ser conectadas a redes eléctricas de escala regional o nacional.

Tabla 1: niveles de generación eólica según su potencia

### 1.3. Marco Legal

La Argentina posee leyes que buscan impulsar y fortalecer la utilización de energías alternativas, como por ejemplo la Ley N° 27.191. Ella indica el régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica (Ley N° 27191. Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica. Modificación., 2015). Esta fue sancionada el 23 de Septiembre de 2015 y promulgada de hecho el 15 de Octubre del mismo año. En su artículo segundo establece como objetivo lograr una contribución de las fuentes de energía renovables hasta alcanzar el ocho por ciento (8%) del consumo de energía eléctrica nacional para el 31 de diciembre de 2017. En la misma ley se establecen objetos, alcance, ámbito de aplicación, autoridad de aplicación, políticas, régimen de inversiones, beneficiarios y beneficios.

Sancionar leyes como la 27.191 ampliaría el mercado de las energías no convencionales, lo que resultaría en una disminución de costos de fabricación y en la consolidación de un sector comercial muy pequeño aún. Sin embargo, estos esfuerzos no alcanzan para otorgarle al recurso eólico argentino el nivel que podría ocupar en la producción eléctrica global. Según la síntesis del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) realizado por la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA, 2016) hasta el mes de Julio del 2016, la generación bruta de energía primaria acumulada se dio en la proporción presentada en la Ilustración 1.



**Ilustración 1: generación bruta del MEM de la República Argentina**

La generación de Otras Renovables, comprende la generación eólica y fotovoltaica incorporada hasta el momento. Cabe destacar que el mayor porcentaje de dicho valor corresponde a la generación eólica.

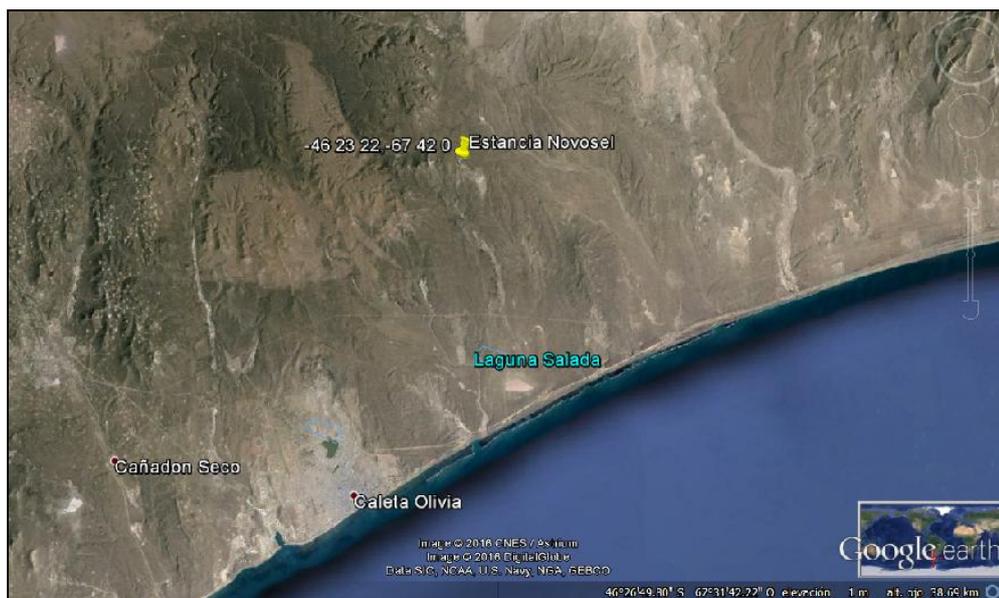
## **2. UNA CASA AISLADA EN LA PATAGONIA**

### **2.1. Descripción de la casa**

Se tiene una casa-tipo situada en un lugar aislado de la Patagonia Argentina. La gran distancia que existe entre el hogar y el tendido de red eléctrica más próximo, dificulta el transporte de energía al lugar por medio de las vías convencionales. El proyecto busca abastecer energéticamente la casa mediante la implementación de energías renovables, más precisamente el recurso eólico. Con este fin se han procesado datos de las condiciones del viento, tomados por una estación meteorológica ubicada en el predio de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA), para el posterior dimensionamiento del aerogenerador.

La casa, objeto de análisis del presente proyecto, está ubicado próximo a la ciudad de Caleta Olivia, provincia de Santa Cruz, República Argentina. Sus coordenadas geográficas son latitud  $46^{\circ} 23' 22''$  Sur y longitud  $67^{\circ} 42' 0''$  Oeste, siendo la densidad del aire en el lugar  $\rho = 1,2$  [kg/m<sup>3</sup>].

En la Ilustración 2 se muestra una foto satelital de la localización geográfica de la casa capturada desde el programa Google Earth.

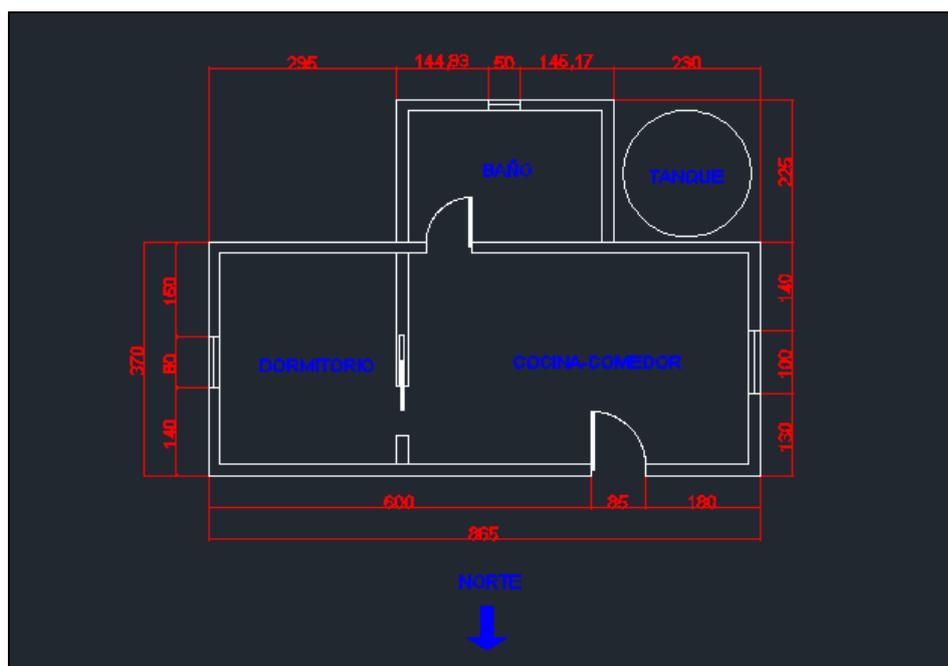


**Ilustración 2: imagen satelital de la localización geográfica de la casa**

La envolvente de la edificación es de ladrillo hueco de 12x18x33 [mm], recubiertos con revoque grueso por el exterior y revoque fino por el interior, mientras que las paredes de ambos lados se han pintado de color blanco. El contrapiso es de 10 [cm] de espesor y no posee ninguna cubierta. El techo de la construcción es de chapa galvanizada sin aislación y tiene pendiente.

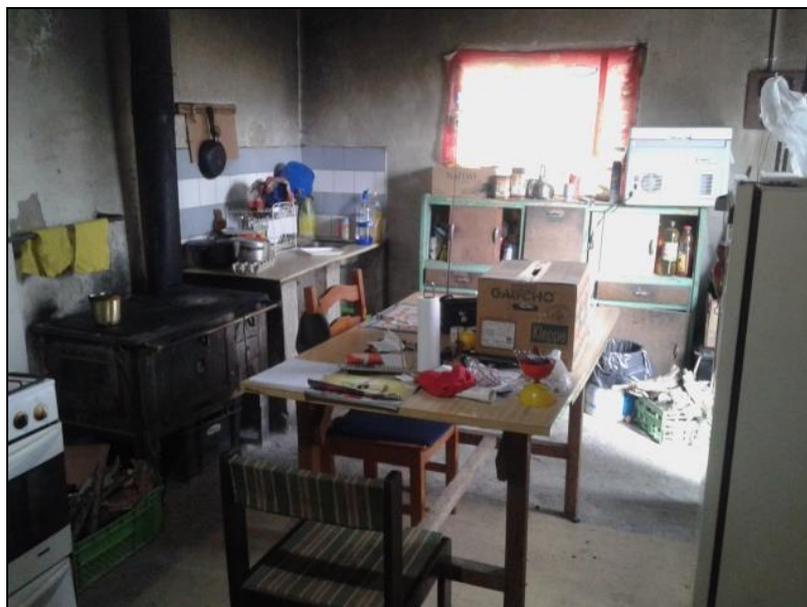
La casa posee tres locales distinguidos como cocina-comedor, dormitorio y baño. A lo largo de la construcción nos encontramos con tres ventanas de vidrioado simple sin postigos (una en cada ambiente), dos puertas de madera (habitación y baño) y una de chapa (entrada).

En la Ilustración 3 se muestra una vista superior del plano de la casa.



**Ilustración 3: vista superior del plano de la casa**

El acondicionamiento de aire de toda la casa se realiza a través de una salamandra ubicada en la cocina-comedor, como se puede ver en la Ilustración 4.



**Ilustración 4: acondicionamiento del aire en el hogar**

Actualmente el hogar es abastecido energéticamente por dos paneles solares instalados en el predio, los cuales forman parte del Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales (PERMER). Cada equipo de generación responde a un diseño común y tiene los siguientes componentes:

- Módulo fotovoltaico SUNTECH-STP060-12SB de 60 [W] de potencia nominal (ver Ilustración 5).
- Estructura de soporte del módulo fotovoltaico.
- Caja de conexión para conectar los módulos fotovoltaicos montados en distintas estructuras de soporte.
- Batería de plomo-ácido de 12 [V] de tensión nominal y 220 [Ah] de capacidad (ver Ilustración 6).
- Inversor/ Cargador Xantrex UX512E (ver Ilustración 7).
- Regulador de Carga, para prevenir excesivas descargas o sobrecargas de la batería.
- Cables conductores, bipolares tipo sintenax, más elementos seccionadores para los módulos y las baterías.

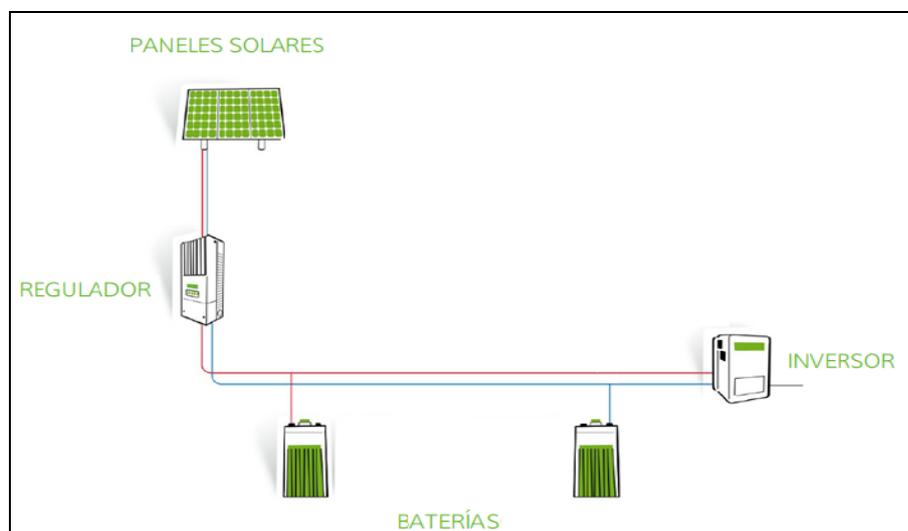
La instalación interior responde a un diseño común y tiene los siguientes componentes<sup>1</sup>:

- Interruptor de un punto exterior: de tipo tecla, con base para fijación.
- Tomacorrientes del tipo exterior con base para su fijación.
- Tablero Principal que contiene el regulador de carga y los elementos de corte y protección.

<sup>1</sup> Se considerarán también parte del sistema a todos los materiales (tornillos, tuercas, terminales, etc.) que sean necesarios para el montaje del conjunto o de una de sus partes.



La tensión de salida suministrada por los paneles es en corriente continua y, mediante el inversor, se transforma en corriente alterna. En la Ilustración 8 se presenta el diagrama de conexión de los distintos componentes del sistema actual de generación de energía.



**Ilustración 8: diagrama de conexión del equipo de generación fotovoltaico**

Los datos de consumo de la instalación han sido proporcionados por el habitante del hogar. Estos son utilizados para determinar las necesidades energéticas de la instalación y los consecuentes elementos necesarios para la producción de energía requerida<sup>2</sup>.

En la Tabla 2 se muestran los artefactos instalados en cada local, su potencia y consumo en función de las horas de uso, según datos proporcionados por EDENOR (EDENOR, 2008).

Local	Artefacto	Potencia [W]	Uso estimado [Hs]	Consumo [Wh/día]
Cocina-Comedor	Lámpara de bajo consumo	18	6	108
	Lámpara incandescente	60	6	360
Habitación	Lámpara incandescente	60	4	240
Baño	Lámpara incandescente	60	1	60
<b>Total</b>		<b>198</b>		<b>768</b>

**Tabla 2: consumo de los artefactos instalados**

La potencia total instalada en el hogar es de 198 [W], mientras que el consumo diario se estima en 768 [Wh/día].

Con esta información se calculó que la demanda de energía diaria real representa el 16 % de la demanda máxima posible (simultáneamente todos los artefactos en uso).

<sup>2</sup> Si estos datos no son correctos, la instalación puede no funcionar como se espera.

## 2.2. Medición del viento

Los datos meteorológicos en la zona de interés fueron tomados por una estación DAZA DZ-WH3104, cada 10 minutos a una altura de 10 [m]. Las mediciones obtenidas corresponden al periodo comprendido entre 01/01/2014 y 31/12/2014.

En la Tabla 3 se muestra la velocidad del viento promedio calculada para cada mes y para el año medido en [m/s].

Año	Mes	Cantidad de días	Vel.Prom. [m/s]
2014	Enero	31	9.25834812
2014	Febrero	28	7.87400595
2014	Marzo	31	7.91733199
2014	Abril	30	6.54919722
2014	Mayo	31	7.57929704
2014	Junio	30	7.74270417
2014	Julio	31	6.75656855
2014	Agosto	31	7.81865995
2014	Septiembre	30	7.64695
2014	Octubre	31	7.97677554
2014	Noviembre	30	9.5721375
2014	Diciembre	31	8.90284677
<b>Prom. Anual [m/s]</b>			<b>7.966235233</b>

Tabla 3: estadística descriptiva aplicada al registro de velocidad de los vientos

La velocidad del viento varía con la altura siguiendo aproximadamente una ecuación de tipo estadístico conocida como ley exponencial de Hellmann (Fernández Díez, P. 2007) de la forma:

Ecuación 1

$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^\alpha$$

Donde V es la velocidad del viento [m/s], h la altura sobre el nivel del suelo [m] y  $\alpha$  el exponente de Hellman<sup>3</sup>.

Esta ecuación nos permite conocer la velocidad del viento a otras alturas de manera aproximada. La tabla 4 muestra extrapolaciones, con base en nuestro dato, de la velocidad del viento promedio anual para distintas alturas.

<sup>3</sup> El exponente de Hellman para terrenos poco accidentados  $\alpha = 0.16$

Altura de medición [m]	Vel. a altura de medición [m/s]
0	0.00
5	7.13
10	7.97
15	8.50
20	8.90
25	9.22
30	9.50
35	9.73
40	9.94
45	10.13
50	10.31

Tabla 4: extrapolación del viento a distintas alturas mediante la ecuación de Hellmann

Con los valores obtenidos en la tabla anterior se construye el “Perfil del viento” que se muestra en la Ilustración 9.

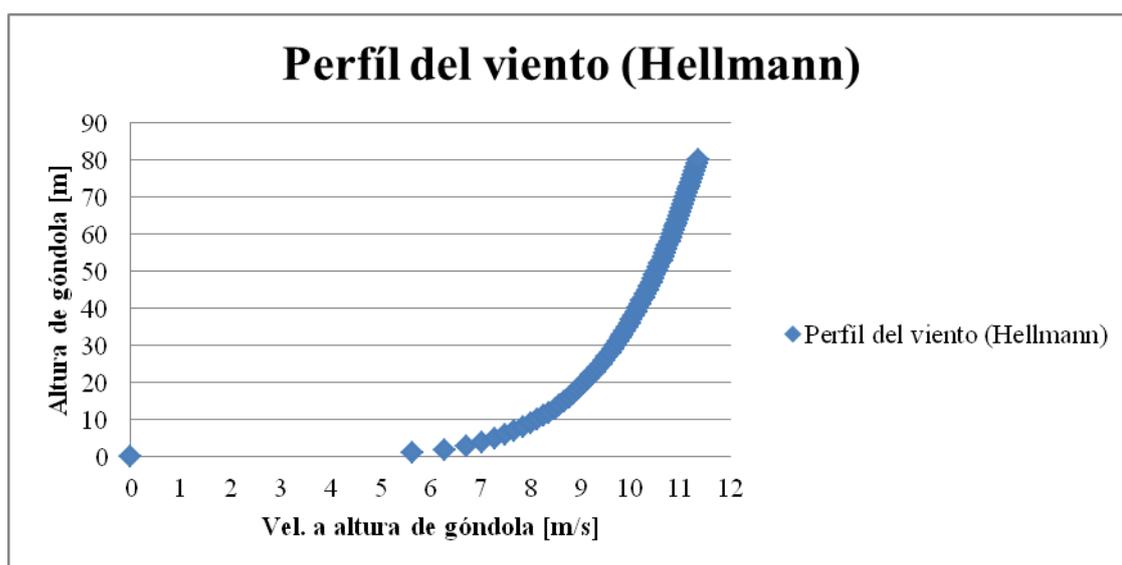
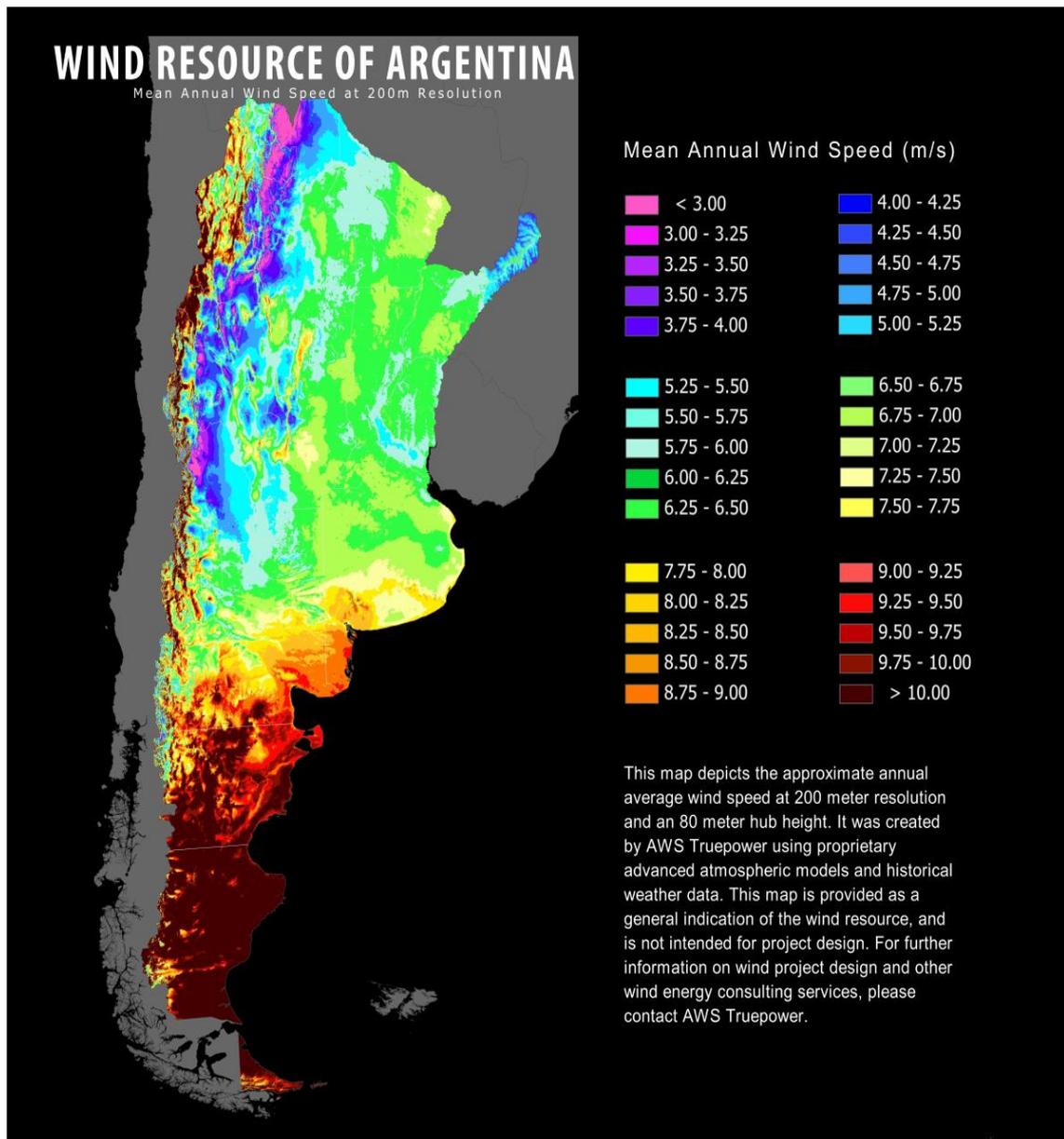


Ilustración 9: perfil del viento

La extrapolación de la velocidad del viento a 50 [m] de altura arroja un valor de 10,31 [m/s]. Este valor coincide gráficamente con la escala del promedio anual para la zona, presentado en el siguiente mapa del recurso eólico en Argentina (AWS Truepower, 2015).



**Ilustración 10: mapa del recurso eólico en Argentina**

Para la zona aislada donde se sitúa la casa se establece, entonces, una velocidad promedio anual de 7,97 [m/s], aproximadamente. Éste será el valor utilizado como referencia para la selección del aerogenerador.

Con los datos de la velocidad del viento, obtenidos por la estación meteorológica emplazada en el lugar de estudio, se realizó un análisis de frecuencia. Los mismos fueron ajustados mediante una distribución de Weibull. Dicha función es caracterizada por dos parámetros: uno de escala (c) y otro de forma (k). El primero define cuán dispersa se encuentra la distribución mientras que el segundo define la forma de la distribución.

La función densidad de probabilidad de Weibull está dada por:

**Ecuación 2**

$$f(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right]$$

Y la función de distribución acumulada es:

**Ecuación 3**

$$F(v) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right]$$

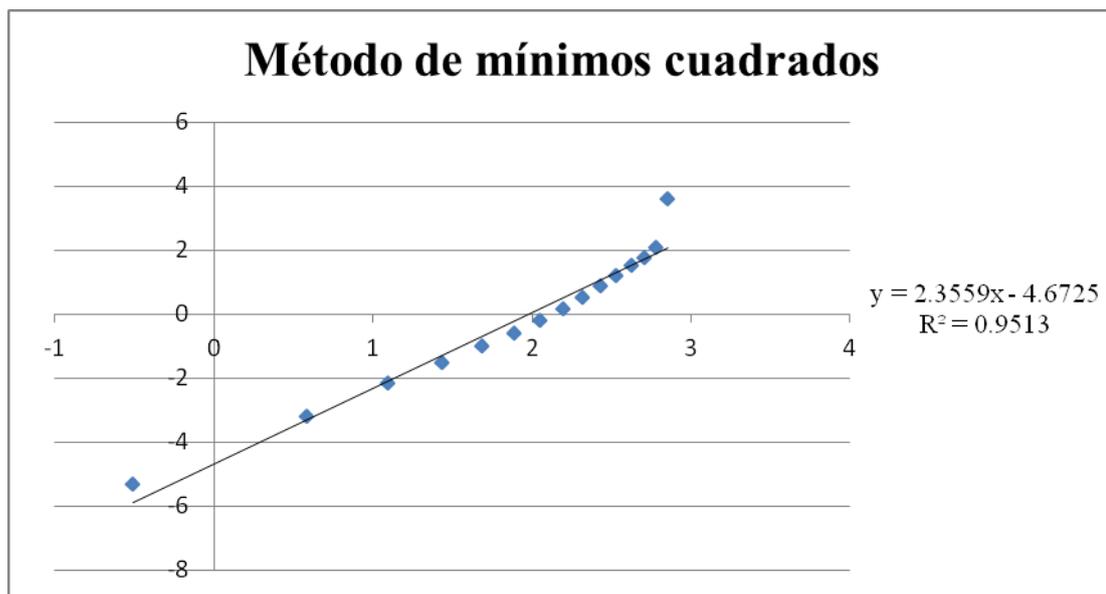
Donde  $v$  es la velocidad del viento en [m/s],  $c$  es el parámetro de escala con unidades de [m/s] y  $k$ , parámetro de forma, sin dimensiones.

Existen diferentes métodos para determinar los parámetros de forma y escala de la distribución de Weibull (Juan Carlos Serrano Rico, 2013). El utilizado en el presente proyecto se basa en el método de mínimos cuadrados. La Ecuación 3, después de algunas operaciones matemáticas reescribirse como:

**Ecuación 4**

$$\ln[-\ln(1 - F(v))] = k \ln(v) - k \ln(c)$$

La ecuación anterior es básicamente la de una línea recta,  $y = ax + b$ . Graficando  $\ln[-\ln(1 - F(v))]$  versus  $\ln(v)$  genera una línea recta con pendiente  $k$  con intersección con el eje  $y$ , en  $k \ln(c)$ .



**Ilustración 11: método de mínimos cuadrados para determinar los parámetros de forma y escala de la distribución de Weibull**

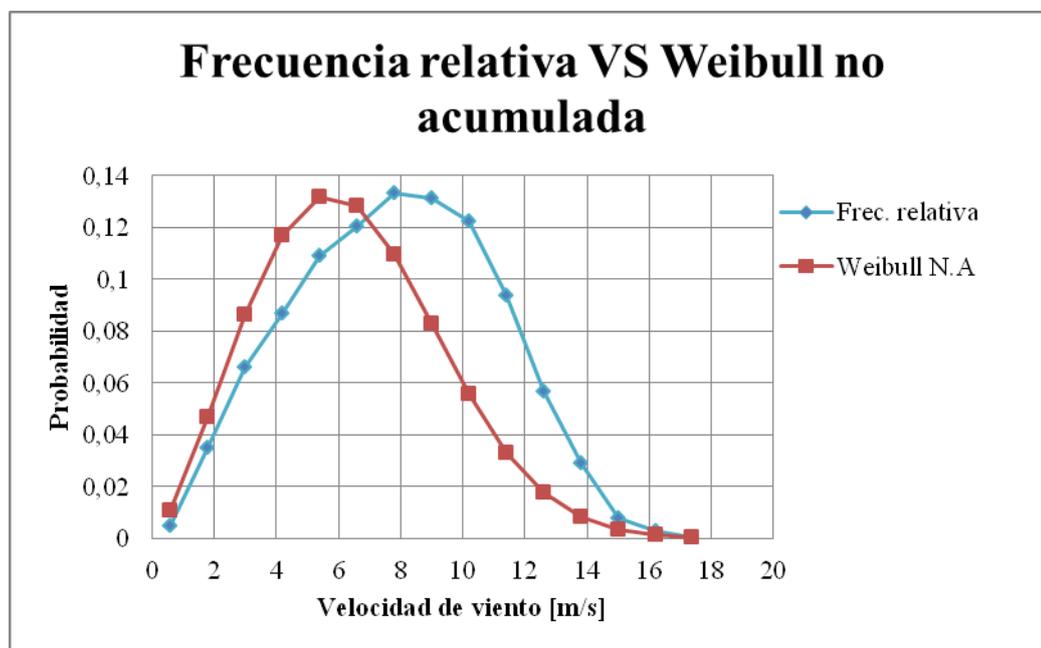
La ecuación presentada en la Ilustración 11 se obtiene del ajuste por mínimos cuadrados. De ella se pueden identificar los valores del factor de forma  $k$ , que es el factor de la variable independiente, y el valor  $a$  que corresponde al punto de corte en el eje  $y$ .

$$a = -4.6725$$

$$k = 2.3559$$

Utilizando estos valores y despejando de  $a = -k \ln(c)$  se encuentra el factor de escala  $c = 7.2668$ .

En la siguiente ilustración se presenta la frecuencia relativa de los datos observados junto a la obtenida a través de la distribución de Weibull en función de la velocidad del viento.



**Ilustración 12: frecuencia relativa de datos observados y distribución de Weibull.**

### 2.3. Discusiones

Luego de analizar detenidamente las condiciones del hogar, se observa que existen varios puntos débiles tanto en lo referido al comportamiento térmico del edificio como al consumo. Se proponen, entonces, una serie de modificaciones tendientes a hacer un mejor Uso Racional de la Energía (URE).

La implementación de lámparas incandescentes para gran parte de la luminaria de la casa es un punto a corregir, ya que supone un elevado consumo. Una mejora rápida y económica a este problema consiste en reemplazar dichas lámparas por otras equivalentes tipo LED. En la Tabla 5 se muestran los valores de potencia, flujo luminoso y vida útil de diferentes lámparas (equivalentes en flujo luminoso).

EQUIVALENCIAS DE BOMBILLAS		FLUJO LUMINOSO - LUMENES				
TIPO	VIDA UTIL	220+	400+	700+	900+	1300+
 <b>LED</b>	<b>+40.000 Horas</b>	<b>3W</b>	<b>5W</b>	<b>6W</b>	<b>8W</b>	<b>10W</b>
 <b>FLUORESCENTE</b>	<b>8.000 Horas</b>	<b>6W</b>	<b>9W</b>	<b>12W</b>	<b>15W</b>	<b>20W</b>
 <b>HALOGENA</b>	<b>3.000 Horas</b>	<b>18W</b>	<b>28W</b>	<b>42W</b>	<b>53W</b>	<b>70W</b>
 <b>INCANDESCENTE</b>	<b>1.200 Horas</b>	<b>25W</b>	<b>40W</b>	<b>60W</b>	<b>75W</b>	<b>100W</b>

Tabla 5: potencia, flujo luminoso y vida útil de distintos tipos de lámparas.

Disponible en la

web <http://ahorro-led.com/tecnologia/ventajasled.html>

A fin de implementar el URE se propone reemplazar los artefactos de iluminación de todo el hogar por lámparas LED de 10 [W]. En la Tabla 6 se presenta el consumo diario en relación a esta modificación.

Local	Artefacto	Potencia [W]	Uso estimado [Hs]	Consumo [Wh/día]
Cocina- Comedor	Lámpara LED	10	6	60
	Lámpara LED	10	6	60
Habitación	Lámpara LED	10	4	40
Baño	Lámpara LED	10	1	10
<b>Total</b>		<b>40</b>		<b>170</b>

Tabla 6: consumo de la casa modificado

Comparando los valores diarios de consumo antes y después de la implementación de las lámparas LED se observa que, con esta simple acción, se reduce drásticamente el consumo del hogar.

Para mejorar el comportamiento térmico del edificio se proponen dos acciones: la primera consiste en la colocación de un piso cerámico con adhesivo impermeable en cada uno de los locales; la segunda, trata de la construcción de una aislación para el techo compuesta por una capa de membrana asfáltica, una de telgopor de 2 [plg] y una cubierta de machimbre<sup>4</sup>.

En pos de mejorar la calidad de vida del habitante resulta necesario ampliar la generación de energía. La misma deberá satisfacer el consumo de los siguientes artefactos de primera necesidad que se desean instalar en la vivienda (Tabla 7).

<sup>4</sup> Machimbrado es un sistema para ensamblar tablas de madera cepillada por medio de rebajes y cortes en sus cantos, para lograr por medio de la sucesión de piezas encajadas entre sí una sola superficie lisa, uniforme y sólida.

Local	Artefacto	Potencia [W]	Uso estimado [Hs]	Consumo [Wh/día]
Cocina-Comedor	Lámpara LED	10	6	60
	Lámpara LED	10	6	60
	Heladera c/ freezer	195	12	2340
	Minicomponente	60	2	120
	TV color 20"	70	4	280
Habitación	Lámpara LED	10	4	40
Baño	Lámpara LED	10	1	10
	Lavarropas S.A	200	1	200
<b>Total</b>		<b>565</b>		<b>3110</b>

Tabla 7: consumo total estimado con ampliación de demanda

#### 2.4. Comparación de tecnologías y selección preliminar del aerogenerador de baja potencia

Diversos son los dispositivos que permiten el aprovechamiento de la energía eólica. La clasificación más común es a partir de la disposición de su eje de giro respecto a la dirección del viento. En éste sentido las máquinas eólicas pueden clasificarse en:

**Aerogeneradores de eje horizontal:** se suelen clasificar según su velocidad de giro en rápidas y lentas. Las primeras tienen un número de palas no superior a 4, mientras que las segundas pueden tener hasta 24. Entre los principales tipos de máquinas eólicas de eje horizontal se destacan:

- Máquinas que generan un movimiento alternativo, utilizadas para el bombeo de agua.
- Máquinas multipalas.
- Hélices con palas pivotantes (ángulo de ataque variable).
- Hélices con palas alabeadas, muy sofisticadas, que incluyen clapetas batientes y alerones de ángulo variable.

**Aerogeneradores eje vertical:** entre las máquinas eólicas de este tipo se pueden citar:

- Aerogenerador Savonius, que puede arrancar con poco viento, siendo muy sencilla su fabricación. Tiene una velocidad de giro pequeña y su rendimiento es relativamente bajo.
- Aerogenerador Darrieux, requiere para un correcto funcionamiento vientos de 4 a 5 [m/s] como mínimo, manteniendo grandes velocidades de giro y un buen rendimiento. Por lo general se construyen con 2 ó 3 hojas.
- Molino vertical de palas tipo giromill o ciclo giro, deriva del Darrieux. Tiene entre 2 y 6 palas. El modelo Darrieux arranca mal, mientras que el Savonius se puede poner en funcionamiento con una pequeña brisa; debido a ello se puede hacer una combinación sobre un mismo eje de ambas máquinas de forma que un rotor Savonius actúe durante el arranque y un rotor Darrieux sea el que genere la energía para mayores velocidades del viento.

Las ventajas de los aerogeneradores de eje horizontal respecto de los de eje vertical son:

- Mayor rendimiento.
- Mayor velocidad de giro (multiplicadores más sencillos).
- Menor superficie de pala a igualdad de área barrida.
- Se pueden instalar a mayor altura, donde la velocidad del viento es más intensa.

Las ventajas de los aerogeneradores de eje vertical frente a los de eje horizontal, son:

- No necesitan sistemas de orientación.
- Los elementos que requieren un cierto mantenimiento pueden ir situados a nivel del suelo.
- No requieren mecanismos de cambio de revoluciones, por cuanto no suelen emplearse en aplicaciones que precisen una velocidad angular constante.

Teniendo en cuenta los parámetros calculados en el presente proyecto, velocidad promedio del viento y consumo diario del hogar, se buscaron equipos eólicos con especificaciones técnicas similares a las requeridas. En éste sentido se presentan en la siguiente sección algunos modelos de aerogeneradores de baja potencia, tanto de eje horizontal como vertical.

Equipo N°	1	2	3
<b>Origen</b>	Extranjero	Extranjero	Extranjero
<b>Marca</b>	Aeolos Wind turbine	Aeolos Wind turbine	Bornay
<b>Modelo</b>	Aeolos-H 1kw	Aeolos-V 1kw	Bornay 1500
<b>Tipo de eje</b>	Horizontal	Vertical	Horizontal
<b>Potencia nominal [KW]</b>	1	1	1,5
<b>Potencia máxima de salida [KW]</b>	1,2	1,5	N.E
<b>Tensión de salida [V]</b>	48	48/110	24/48/120
<b>Cantidad de aspas/ Material</b>	3/Fibra de vidrio	2,8	2/Fibra de vidrio/Carbono
<b>Diámetro del rotor</b>	3,2	2	2,86
<b>Velocidad de arranque [m/s]</b>	2,5	1,5	3,5
<b>Velocidad nominal [m/s]</b>	12	10	12
<b>Velocidad de resistencia [m/s]</b>	45	50	60
<b>Tipo de generador</b>	Trifásico de imanes permanentes	Trifásico de imanes permanentes	Trifásico de imanes permanentes
<b>Peso de la turbina [kg]</b>	60	28	41
<b>Vida útil</b>	20 años	20 años	N.E
<b>Garantía</b>	5 años (Estándar)	5 años (Estándar)	3 años
<b>Enlace</b>	<a href="http://www.windturbinestar.com/">http://www.windturbinestar.com/</a>	<a href="http://www.windturbinestar.com/">http://www.windturbinestar.com/</a>	<a href="https://www.bornay.com/es">https://www.bornay.com/es</a>

**Tabla 8: modelos de aerogeneradores de baja potencia**

Equipo N°	4	5	6
Origen	Extranjero	Nacional	Nacional
Marca	Bornay	ALP GROUP	ST Charger
Modelo	Bornay 3000	Costa-I	MOD - 1100
Tipo de eje	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Potencia nominal [KW]	3	1,1	1
Potencia máxima de salida [KW]	N.E	N.E	1,4
Tensión de salida [V]	24/48/120	220 [V] a 50 [Hz]/3 x 380 [V] a 50 Hz	N.E
Cantidad de aspas/ Material	2 /Fibra de vidrio/Carbono	3	Bi-pala monoblock
Diámetro del rotor	4	3,2	1,9
Velocidad de arranque [m/s]	3,5	4	4,8
Velocidad nominal [m/s]	12	12	14
Velocidad de resistencia [m/s]	60	N.E	> 40
Tipo de generador	Trifásico de imanes permanentes	Inducción trifásica	N.E
Peso de la turbina [kg]	93	N.E	30,5
Vida útil	N.E	N.E	N.E
Garantía	3 años	N.E	N.E
Enlace	<a href="https://www.bornay.com/es">https://www.bornay.com/es</a>	<a href="http://www.alpgroup.com.ar/caracteristicas.html">http://www.alpgroup.com.ar/caracteristicas.html</a>	<a href="http://www.stcharger.com/index1.html">http://www.stcharger.com/index1.html</a>

Tabla 9: modelos de aerogeneradores de baja potencia

Equipo N°	7	8	9
Origen	Nacional	Nacional	Nacional
Marca	Wind Earth Patagonia	Wind Earth Patagonia	EOLICA SALEZ
Modelo	ELFOS 2000	SILFOS 800	Aerogenerador Patagónico
Tipo de eje	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Potencia nominal [KW]	2	N.E	0,8
Potencia máxima de salida [KW]	2,3	N.E	N.E
Tensión de salida [V]	24/48	12/24/36/48	12
Cantidad de aspas/ Material	3	Poliamida reforzada	Tri-pala/Madera laminada plastificada
Diámetro del rotor	2,8	1,75	1,8
Velocidad de arranque [m/s]	3	4	3
Velocidad nominal [m/s]	10	12	N.E
Velocidad de resistencia [m/s]	60	60	N.E
Tipo de generador	Trifásico de imanes permanentes	Trifásico de imanes permanentes	Trifásico de imanes permanentes
Peso de la turbina [kg]	70	30	N.E
Vida útil	N.E	N.E	N.E
Garantía	N.E	N.E	N.E
Enlace	<a href="http://www.windearth.com.ar/elfos.html">http://www.windearth.com.ar/elfos.html</a>	<a href="http://www.windearth.com.ar/aerogeneradores.html">http://www.windearth.com.ar/aerogeneradores.html</a>	<a href="http://eolicasalez.blogspot.com.ar/">http://eolicasalez.blogspot.com.ar/</a>

Tabla 10: modelos de aerogeneradores de baja potencia



Luego de comparar entre sí las tecnologías presentadas en la sección anterior, se observó que para una velocidad promedio del viento igual a la establecida en el proyecto, el aerogenerador de eje horizontal “Aeolos-H 1kw” de la marca extranjera “Aeolos wind turbine” es el que ofrece mayor producción anual de energía. Sin embargo, se optó por el modelo de eje vertical “Aeolos-V 1kw” por los siguientes aspectos:

- Mayor potencia de salida (1500 w)
- Tensión de salida de corriente continua (48 V) y corriente alterna (110 V)
- Menor valor de velocidad del viento para puesta en marcha del equipo (1,5 m/s)
- Menor valor de velocidad del viento para régimen nominal de trabajo (10 m/s)
- Mayor resistencia a altos valores de velocidades de viento (50 m/s)
- Menor peso de la turbina (28 kg)

### 2.5. Dimensionamiento del banco de baterías y conexión del equipo eólico al sistema de generación existente

La capacidad de la batería depende de la demanda diaria máxima de consumo de energía  $D$ , la autonomía de la batería  $A$  y la tensión de batería  $T$ . Se tiene, entonces:

Ecuación 5

$$A = \frac{D * A}{T}$$

$$A = \frac{3110 \frac{\text{Watts}}{\text{día}} * 3 \text{ días}}{12 \text{ volts}}$$

$$A = 777,5 [A]$$

Para tres días de autonomía, y proponiendo una batería de 220 [Ah], la cantidad de baterías necesarias es:

Ecuación 6

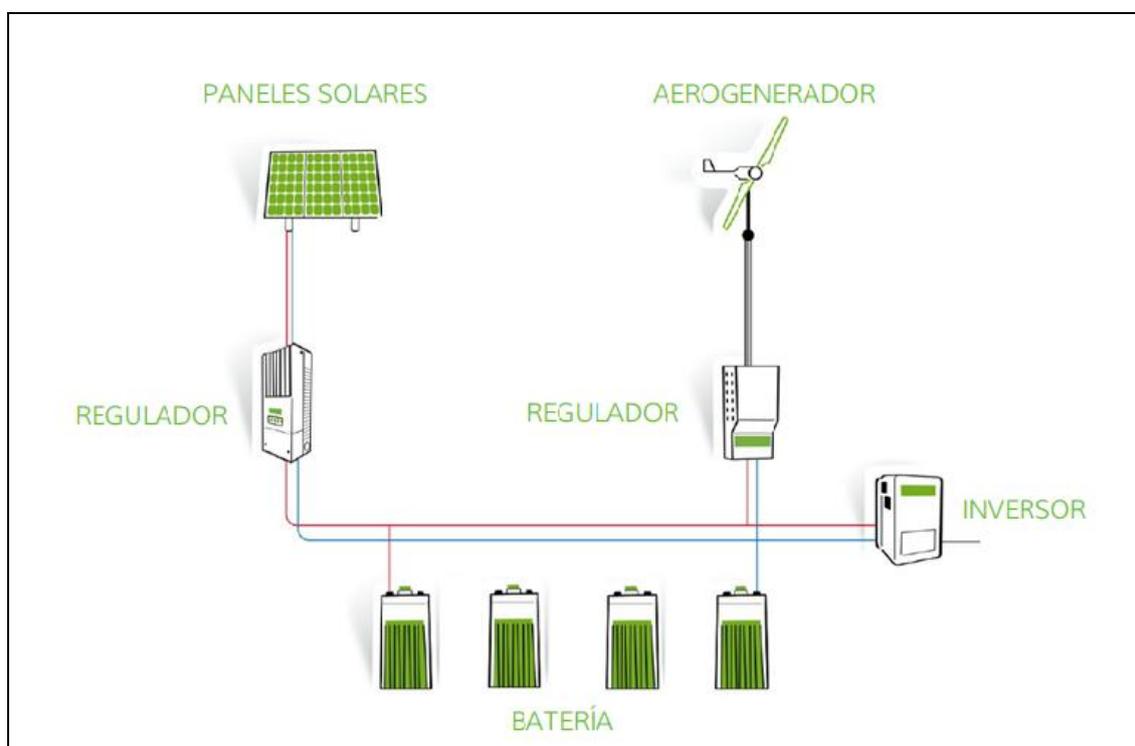
$$\text{Nro.de baterías} = \frac{A}{220}$$

$$\text{Nro.de baterías} = \frac{777,5 A}{220 A}$$

$$\text{Nro.de baterías} = 3,53$$

Para el banco de almacenamiento se requieren, entonces, cuatro baterías de 12 [V] y 220 [Ah], que deberán estar conectadas en paralelo.

En la Ilustración 13 se presenta el diagrama de conexión de los distintos componentes del sistema híbrido (solar + eólico) de generación de energía.



**Ilustración 13: diagrama de conexión de los equipos de generación solar y eólico**

## CONCLUSIONES

El abastecimiento energético es un problema a nivel mundial. Las fuentes de energía convencionales de origen fósil, además de finitas, son un problema medioambiental que debe ser solucionado. En este sentido las energías renovables son la solución en el futuro inmediato. En particular, la energía eólica se posiciona en la Patagonia Argentina como una de las más factibles.

Por otro lado existen numerosos asentamientos sin acceso a redes de energía tradicional, por lo que resulta imperioso proponer sistemas que satisfagan las necesidades básicas de forma autosustentable. Es el caso de la casa-tipo de este proyecto, que no puede satisfacer la demanda de consumo con la generación actual. Es por ello que el proyecto apuntó a complementar el suministro de energía a través de la implementación de un aerogenerador.

Basados en el análisis del recurso eólico realizado para la zona en cuestión es factible la instalación de un aerogenerador de baja potencia para abastecer energéticamente a la casa aislada. Las condiciones del viento medidas en el lugar permitieron seleccionar el aerogenerador modelo “Aeolos-V 1kw” de la marca “Aeolos wind turbine”.

Con esta medida sería posible cubrir casi la totalidad de la demanda de energía diaria, la cual se complementarí con el equipo fotovoltaico ya instalado. Con respecto a las expectativas de futuras investigaciones están la de instalar el aerogenerador seleccionado en la zona para la cual se proyectó, y luego hacer un relevamiento de su desempeño. Otra perspectiva que se

abre con respecto a las energías renovables es la del suministro de gas mediante un biodigestor, que utilizaría el excremento de las ovejas comunes en el lugar.

Las leyes como la N° 27.191 de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica y estudios como el presente permiten vislumbrar un futuro prometedor para la energía eólica en nuestro país, tanto para suministro de energía a pequeña, mediana y gran escala. Más aún teniendo en cuenta que la ley fija como plazo el 2017 para la participación del 8% de energía renovables en la oferta total de energía, y que a un año de ello solo cuenta con un 0,4%.

### RECOMENDACIONES

Se recomienda la capacitación del habitante en cuestiones básicas tales como URE y el mantenimiento de las baterías, los paneles y el aerogenerador instalado.

### AGRADECIMIENTOS

El presente proyecto de investigación fue realizado bajo la supervisión del equipo de trabajo del PI B196 de “*Abastecimiento energético de una casa-tipo en la Patagonia argentina*” de la UNPA-UACO, a quienes se expresa el agradecimiento por hacer posible la realización de este estudio.

### REFERENCIAS

- AWS Truepower. (2015). Wind Resource Map of Argentina. <https://www.awstruepower.com/knowledge-center/maps/>
- CNEA. (Junio de 2016). *Comisión Nacional de Energía Atómica*. Obtenido de Síntesis del Mercado Eléctrico Mayorista de la República Argentina: [http://www.cnea.gov.ar/sites/default/files/sintesis\\_MEM\\_2016-6.pdf](http://www.cnea.gov.ar/sites/default/files/sintesis_MEM_2016-6.pdf)
- EDENOR. (2008). *Consumo de artefactos eléctricos*. Obtenido de Empresa Distribuidora y Comercializadora Norte Sociedad Anónima: [http://www.edenor.com.ar/cms/SP/CLI/HOG/USO\\_consumo.html](http://www.edenor.com.ar/cms/SP/CLI/HOG/USO_consumo.html)
- FAIELLA, L. M., & GESINO, A. (2002). Gestión de variables meteorológicas y mapeo eólico. Asociación Argentina Eólica.
- FERNÁNDEZ DÍEZ, P. (2007). Energía eólica. España: Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria, 1-19.
- GARCÍA, J. M. (Marzo de 2006). *Centro Latinoamericano de Investigaciones Científicas y Técnicas (CLICeT)*. Obtenido de Relevamiento del parque eólico de Argentina: [http://www.cienciayenergia.com/Contenido/alternativas\\_renovables/pdf/060320\\_f\\_jmg](http://www.cienciayenergia.com/Contenido/alternativas_renovables/pdf/060320_f_jmg)
- Ley N° 27.191, Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica (21 de Octubre de 2015).
- RICO, J. C. S. (2013). Comparación de métodos para determinar los parámetros de Weibull para la generación de energía eólica. *Scientia et Technica*, 18(2), 315-320.