

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FÍSICA



INFORME DE SUFICIENCIA PARA OPTAR EL TÍTULO  
PROFESIONAL DE INGENIERO FÍSICO

TITULADO  
**INTEGRACIÓN DE FUENTES RENOVABLES PARA  
TELECOMUNICACIONES EN SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDO  
DIESEL EN VESIQUE**

PRESENTADO POR:  
**HUGO ROJAS ESPINOZA**

Asesor  
Dr. MANFRED HORN  
LIMA – PERU  
2015

## **Contenido**

I.	RESUMEN.....	3
II.	INTRODUCCION.....	4
III.	FUNDAMENTO TEORICO .....	5
IV.	IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTO.....	14
V.	PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES.....	21
VI.	CONCLUSIONES.....	29
VII.	REFERENCIAS.....	30

# INTEGRACIÓN DE FUENTES RENOVABLES PARA TELECOMUNICACIONES EN SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDO DIESEL EN VESIQUE

## I. RESUMEN

El objetivo de este trabajo ha sido describir la conveniencia de integrar fuentes de energía renovable como parte de la solución de soporte de energía en estaciones aisladas. Para la industria de Telecomunicaciones en lugares remotos y aislados el soporte de energía está basado en sistemas de energía autónomos que sean confiables y que brinden continuidad al servicio operando de manera autónoma. En la mayoría de casos estos sistemas de comunicación son respaldados con uno o dos grupos electrógenos que operan alternándose en horarios programados, en caso de alguna falla o desperfecto de uno, el otro generador enciende automáticamente. La operación y mantenimiento de estos sistemas de energía tienen un costo elevado debido al continuo abastecimiento de combustible que requiere y la dificultad de acceso a estos sitios. Además del costo ambiental relacionado con la quema de combustible. De ahí la importancia de la inclusión de otras fuentes alternativas de generación de energía junto a la generación Diesel actuando como respaldo en caso de ausencia de la fuente de energía primaria (que podría ser eólica y/o solar).

En este informe se describe el sistema de energía existente y sus partes; un generador diesel, planta de rectificadores y un banco de baterías. Se explica la operación que permite el uso eficiente de la energía del combustible. Se explican los beneficios de la mejora en los costos de operación debido a que el combustible debe ser repuesto de forma periódica e implica un costo alto y variable. Se realiza el cálculo de la energía generada por un aerogenerador de 6kW y se compara con la estimación previa de la producción de energía de acuerdo a datos de la Nasa para la ubicación geográfica de la estación Vesique. De la estimación realizada se tiene previsto que la estación cubrirá la demanda de energía en los meses mayo a diciembre y deberá ser complementado con otra fuente durante los meses de enero a abril.

El viento, como lo conocemos es causado por variaciones de temperatura que existen en diversas zonas de la Tierra y de la atmósfera. Las masas de aire más caliente tienden a ascender, y ese lugar es ocupado por aire más frío y denso generando circulación. Desde los polos hacia la línea ecuatorial. El "viento" es la corriente de aire que se desplaza en sentido horizontal, y se denomina "corriente de convección" a los movimientos de aire en sentido vertical. La dirección del viento depende de la distribución y dinámica de los vientos con igual presión; se desplaza de los centros de alta presión (anticiclones) hacia los de baja presión (depresiones) y su fuerza es tanto mayor cuanto mayor es el gradiente de presiones. En su movimiento, el viento se ve alterado por diversos factores tales como el relieve y la aceleración de Coriolis. En superficie, el viento viene definido por dos parámetros: la dirección en el plano horizontal y la velocidad.

Fuentes renovables, energía eólica, distribución de Weibull, Confiabilidad, telecomunicaciones

## II. INTRODUCCION

### Antecedentes

El presente informe, considera la implementación de sistema de energía eólica en la estación de telecomunicaciones ubicadas en sitios remotos y aislados donde no se tiene energía comercial pero cuentan con recurso eólico aprovechable. El estudio desarrollado a continuación describe dos diferentes opciones con sistemas de energía híbridos frente a la alternativa del grupo diesel con baterías operando entre ocho y diez horas.

Los datos regidos en la visita al sitio son los siguientes:

PARAMETRO	MEDIDA		Cálculo
	VOLTAJE	CORRIENTE	Consumo
Potencia a Consumo	54.8 V	23.6 A	1294 W
Potencia a Baterías	54.8 V	44.7 A	2450 W
Potencia de Salida GE	4000 W		3800 W

### LINEA BASE

Grupo electrógeno operando para alimentar los consumos y recarga de baterías. Operación PERIODICA, 8 horas de GE + 16 horas en baterías. CICLO DE TRABAJO depende directamente de la capacidad del banco de baterías. La confiabilidad del sistema está sujeta al índice de fallas y calidad del grupo. Se depende del mantenimiento y suministro de combustible constante Mejora la eficiencia de consumo de combustible. Se evita la operación a bajo factor de carga.

Grupo electrógeno en operación de respaldo o emergencia. Operación PERIODICA. CICLO DE TRABAJO depende directamente de la capacidad del banco de baterías. Mayor confiabilidad respecto de los anteriores escenarios pues se tiene diversidad de fuentes de generación. El Banco de baterías deberá tener la capacidad adecuada para aprovechar el recurso renovable en periodos largos. Es decir, mayor autonomía. La Generación de Energía depende de las variaciones y características del entorno. Bajo mantenimiento por la operación ocasional del generador diesel.

Sistema totalmente autónomo. En el sitio se tiene existente; un Generador Diesel, Planta de rectificadores y un banco de baterías cuya operación permite el uso eficiente de la energía del Combustible. Este Combustible debe ser repuesto de forma periódica e implica un costo. Para reducir este costo, se busca reducir el consumo de combustible en el site Vesique para ello se ha propuesto implementar un sistema eólico que reemplazará al generador Diesel existente.

Así se ha previsto implementar un aerogenerador de 6kW, para lo cual se ha realizado una estimación previa de la producción de energía de acuerdo al registro de datos para la

ubicación geográfica de la estación Vesique. Se adjuntan anexos de 1 al 5 con las estimaciones e información relacionada. De la estimación realizada se tiene previsto que la estación cubrirá la demanda de energía en los meses Mayo a Diciembre y deberá ser complementado con otra fuente durante los meses de Enero a Abril.

Dentro de las recomendaciones alcanzadas en el informe anterior, indicamos que se debía aumentar la capacidad existente del banco de baterías, con este aumento se logrará brindar mayor autonomía en ausencia de recurso eólico.

### III. FUNDAMENTO TEORICO

#### 1. SISTEMAS DE ENERGÍA HIBRIDOS

Los sistemas de energía híbridos son aquellos que proveen energía en áreas remotas y que por lo alejado y/o dificultades de acceso no están conectadas a la red. Un sistema de energía híbrido integra una o más fuentes de energía con el propósito de cubrir cierta demanda de energía. Estos sistemas eliminan los problemas asociados con sistemas solares fotovoltaicos puros y sistemas diesel aislados.

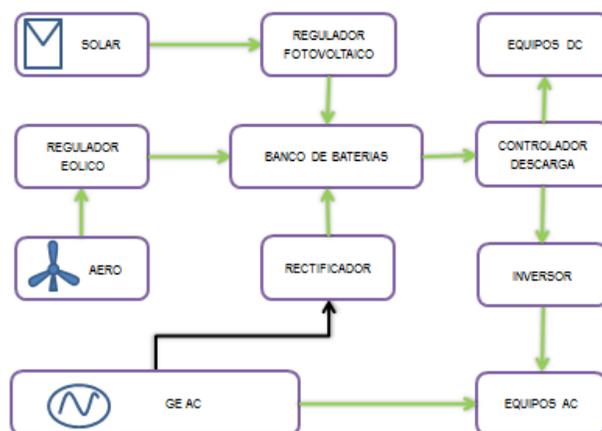


Diagrama de un sistema de energía híbrido fotovoltaico/eólico/diesel.

Aquellos sistemas son inherentemente confiables debido a las múltiples fuentes de energía y generalmente usan conjuntos con generación diesel, como segunda fuente, capaces de proveer el total de la energía a demanda. Estos son independientes de la capacidad, red eléctrica centralizada e incorpora más de una tipo de fuente de energía. Los sistemas de energía aislados en corriente alterna incluyen como siguiente: sistemas convencionales de generación diesel en AC, un sistema eléctrico de distribución y consumos en AC distribuidos. Un sistema híbrido de energía podría también incluir fuentes adicionales de energía como fuentes renovables (aerogeneradores, módulos fotovoltaicos) y almacenamiento.

Puede haber más de un generador diesel suministrando energía a la red. Estos están normalmente conectados a un bus AC en una caseta de energía donde los generadores diesel están instalados. Este bus provee energía a la red de distribución. Cuando existe más de un generador diesel, un sistema de control debe ser empleado para introducir adecuadamente la energía desde los generadores diesel. Estos sistemas de control podrían tomar varias formas especialmente sistemas de control computarizados que se han generalizados y uno de esas formas es utilizar un grupo diesel para mantener la frecuencia de la red y hacer operar los otros a aceleración constante (Kaikhurst, 1998).

## **2. CONFIGURACION DE SISTEMAS DE ENERGÍA HIBRIDOS**

Las configuraciones de sistemas híbridos tienen muchas ventajas como; alimentar directamente los consumos de manera óptima; la eficiencia del Diesel puede ser maximizada; el mantenimiento del Generador Diesel se minimiza y se logra una reducción en las capacidades del banco de baterías y el Generador Diesel (mientras se alcanzan los picos de cargas). De acuerdo a Wichert (1997), los sistemas de energía híbridos con y sin fuentes renovables están clasificados de acuerdo a su configuración como sistema híbridos en serie, híbrido conmutado o híbrido paralelo.

### **2.1. SISTEMA HIBRIDO EN SERIE**

En este tipo de sistemas la fuente de energía renovable o el generador diesel son utilizados para mantener cargado un gran banco de baterías. Durante periodos de baja demanda de energía eléctrica el generador diesel está apagado y los consumos pueden ser alimentados desde un sistema fotovoltaico o eólico junto con la energía almacenada. La energía proveniente del banco de baterías es convertida en corriente alterna a cierto voltaje y frecuencia por un inversor y luego se alimentan los consumos. La recarga de baterías puede ser controlada o regulando la corriente del rectificador. El controlador de carga previene la sobrecarga del banco de baterías que puede darse cuando la fuente renovable (solar o eólica) excede la demanda y las baterías están completamente cargadas. El sistema puede ser operado en modo manual o automático, con la adición de un sistema de control apropiado que sense el voltaje de baterías y prenda/apague el generador diesel.

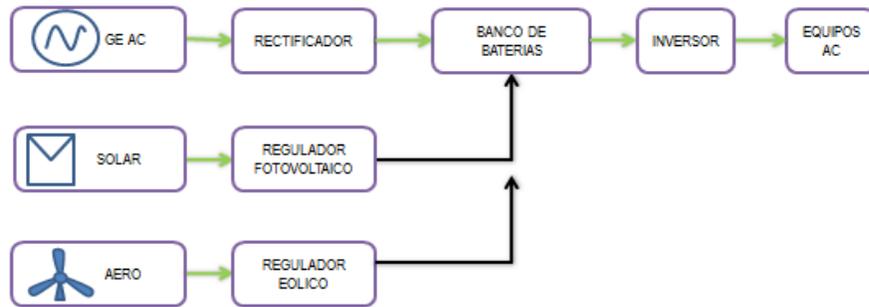


Figura 1. Diagrama de sistema híbrido en serie.

Las ventajas de esta configuración son que el generador diesel puede ser dimensionado para ser utilizado de manera óptima, mientras alimenta los consumos y recarga el banco de baterías, hasta que se alcanza un estado de carga (SOC) alrededor de 70-80%. No se requiere conmutación de alimentación entre las diferentes fuentes de energía simplificando así la interfaz de salida eléctrica. También la potencia suministrada a la carga no se interrumpe cuando se el generador diesel empieza a operar y el inversor puede generar una onda senoidal pura, cuadrada, modificada dependiendo de la aplicación.

Aunque los principios de diseño de los sistemas híbridos en serie son relativamente fáciles de aplicar. Islam (1999) indica entre sus desventajas: baja eficiencia debido a los configuración en serie de los elementos del sistema; la necesidad de un banco de baterías de capacidad mayor que la demanda máxima pico haciendo más costoso este componente para el sistema; y con fuentes renovables hay un control limitado del rectificador porque está basado en el nivel de carga de la batería más que la demanda del sitio.

Un sistema híbrido tipo serie se caracteriza por la baja eficiencia global del sistema ya que el generador diesel no puede suministrar energía directamente a la carga; el uso de un gran inversor y debido al perfil cíclico de recarga del gran banco de baterías se debe limitar la profundidad de la descarga; limitando la optimización del generador diesel y la fuentes de energía renovable. El banco de baterías es ciclado (cargado/descargado) frecuentemente, acortando su vida útil. Si el inversor falla se produce una pérdida completa de energía que alimenta el consumo, a menos que la carga se puede alimentar directamente por el generador diesel para casos de emergencia.

## 2.2. SISTEMA HIBRIDO CONMUTADO

Este sistema permite que la fuente de AC sea el generador diesel o el inversor pero no es posible el funcionamiento en paralelo de la fuente principal de generación (Islam, 1999). Ambos, el generador diesel y la fuente renovable pueden cargar el banco de baterías. El generador diesel alimenta los consumos durante el día y picos nocturnos mientras el banco de baterías es cargado por la fuente renovable y algún exceso proveniente del generador diesel. La energía es entregada a los consumos desde la batería a través del inversor durante periodos

nocturnos de baja demanda. A continuación se muestra un esquema típico de esta configuración.

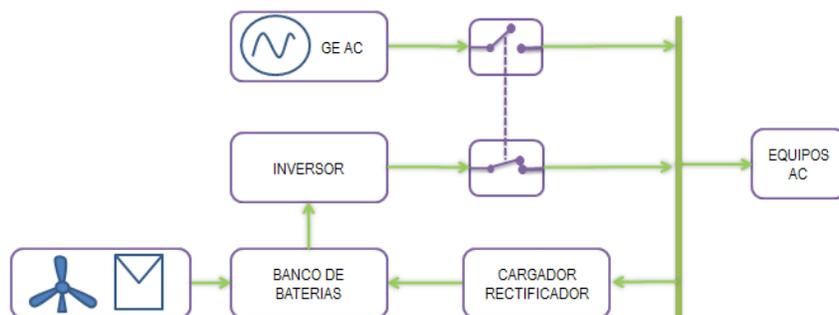


Figura 2. Configuración de un sistema híbrido conmutado

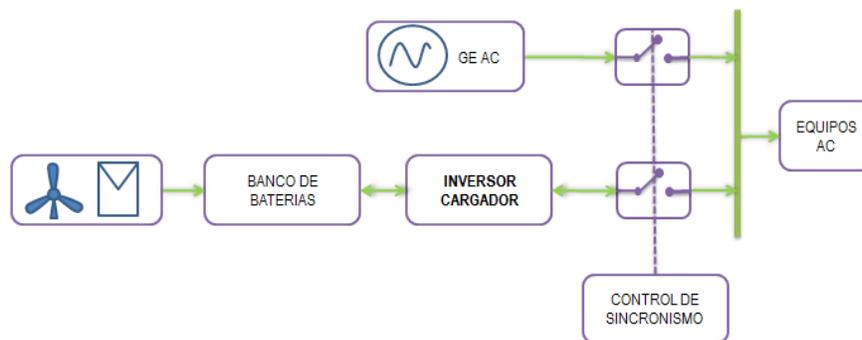
La principal ventaja de este tipo de sistema es su operación silenciosa en las noches y las mejoras adicionales en el consumo del diesel. Un sistema híbrido conmutado está también caracterizado por el hecho de que el generador diesel puede alimentar directamente la carga, por lo tanto, mejora la eficiencia del sistema y reduce el consumo de combustible. Así como el sistema tipo serie, el generador diesel se mantiene apagado durante periodos de baja demanda y el inversor puede generar una onda senoidal pura, cuadrada, modificada dependiendo de la aplicación. Los sistemas híbridos conmutados pueden ser operados en modo manual, sin embargo, el incremento de la complejidad del sistema hace indispensable incluir un control automático junto a un sistema de sensado del voltaje de baterías para prender/apagar el grupo automáticamente.

El generador diesel y el inversor son generalmente dimensionados para alimentar los picos de la demanda, estos equipos reducen su eficiencia en operación a carga parcial y no existe optimización en el control del generador diesel cuando la solución de la fuente conmutada está basada en un simple reloj horario. La alimentación de los consumos es interrumpida momentáneamente cuando se hace la transferencia de la fuente AC.

### 2.3. SISTEMA HIBRIDO PARALELO (Fuente/Inversor-Cargador Paralelo/Almacenamiento)

La configuración en paralelo, mostrada en la siguiente figura, permite que todas las fuentes de energía alimenten los consumos de forma independiente o separada a baja o mediana demanda, así como alimentar rápidamente los consumos desde una combinación de ellas sincronizando el inversor con la forma de onda de salida del generador diesel, un inversor bi-direccional puede recargar el banco de baterías cuando se tiene energía disponible desde el generador diesel, así es como actúa un conversor AC-DC (Rectificador). En este caso

las fuentes renovables y el generador diesel pueden alimentar directamente parte de la demanda. El generador diesel y el inversor pueden operar en paralelo.



Configuración de un sistema híbrido conmutado

Las ventajas de esta configuración sobre los demás tipos de sistemas son que; puede alimentar los consumos de manera más óptima, la eficiencia del generador diesel puede ser maximizada, el mantenimiento del generador diesel puede ser minimizada y se tiene una reducción de las capacidades del generador diesel, banco de baterías y fuentes renovables cuando se cubre los picos de demanda. De todas maneras el control automático es esencial para una operación confiable y así el sistema es menos accesible a un usuario del sistema sin entrenamiento. También el inversor tiene que ser de onda senoidal pura con la posibilidad de sincronizarse con la fuente AC secundaria.

Las ventajas indicadas en el párrafo anterior solamente pueden ser alcanzados si la operación interactiva de los componentes individuales del sistema son controlados por un sistema inteligente de control de la energía. Aunque actualmente se pueden encontrar sistemas híbridos paralelos que incluyen sistemas de control que varían en complejidad y sofisticación, estos no optimizan la operación del sistema completo. Es interesante notar que la mayoría de los sistemas de energía híbridos disponibles comercialmente incluyen funciones de control avanzado como parte del microcontrolador que es usado para sincronizar y controlar el inversor bi-direccional. Mientras esto quizá sea una solución rentable, esto fuerza al cliente a confiar en el proveedor del inversor para que diseñe el sistema completo, comprometiendo de este modo la modularidad de los componentes individuales del sistema. Aún más, esto sugiere que el control del sistema ha sido incluido como una función adicional, más que una unidad central de gestión del sistema completo de energía híbrido.

<sup>1</sup> El término “*optimizar*” es utilizado para describir el diseño y operación de sistema de energía híbrido paralelo que está basado en fuentes de energía renovable y diesel en el cual los costos del ciclo de vida resulta mínimo, mientras también considera condiciones restrictivas de operación. La optimización incluye el dimensionado y ciclado de baterías.

### 3. ESTRATEGIAS DE DESPACHO Y CONTROL DEL SISTEMA DE ENERGÍA

La estrategia de despacho de energía es el criterio que el controlador utiliza para decidir cuando el generador diesel de un sistema híbrido es encendido, a que factor de carga operará este último y cuando será apagado. En híbridos pequeños las estrategias de despacho son simples, el generador diesel se enciende automáticamente cuando el nivel de bajo voltaje configurado ha sido alcanzado y opera hasta que cierto voltaje de batería se haya alcanzado, el banco de baterías se cargue completamente o cuando se haya sobrepasado un mínimo de tiempo de operación pre-configurado de varias horas. Muchos controladores también tienen la opción de encender el generador diesel cuando la potencia total excede cierto nivel; a veces se deja esta función para que el usuario encienda manualmente el generador diesel cuando la condición anterior exista.

En la mayoría de los sistemas híbridos el generador diesel opera a su máximo factor de carga y la energía no requerida por la demanda es utilizada contribuye a la recarga de las baterías. El funcionamiento a carga parcial del generador diesel ocurre cuando la batería está logrando completar su carga y no puede aceptar la corriente máxima del generador diesel. En algunos sistemas, sin embargo, el generador diesel solamente se enciende si la demanda se incrementa razonablemente y entonces opera sobre la demanda lo cual provee la energía necesaria para evitar la descarga del banco de baterías (es decir, alimenta con la energía equivalente a la demanda menos la potencia disponible desde otros generadores).

En determinados sistemas híbridos, el banco de baterías es utilizado solamente como un 'buffer' de transientes en la demanda y por lo tanto no hay una estrategia real de despacho. El generador diesel opera todas las veces suministrando la energía promedio de la diferencia entre la demanda y la energía disponible proveniente de las fuentes renovables. En sistemas con múltiples generadores diesel donde el número de generadores diesel en línea está determinado por el nivel de sobre-demanda asociado con el promedio que se opone al máximo cuando hay un breve demanda de más energía, pequeño banco de baterías complete el déficit.

Las estrategias de despacho son a veces implementadas con puntos de operación que han sido seleccionados por reglas prácticas (Beyer et al, 2003). Mientras estos puntos de operación podrían funcionar, generalmente estos no logran alcanzar el menor costo de operación del sistema. Existen métodos que pueden ayudar a seleccionar estrategias óptimas y fijar puntos de operación pero es importante notar que la mayoría de los controladores de sistemas híbridos disponibles actualmente son lo suficientemente sofisticados como para implementar estrategias de despacho óptimas, el reto es la selección de la estrategia y no su implementación.

Una estrategia óptima de despacho es aquella que minimiza el costo del ciclo de vida del sistema de energía híbrido y las estrategias de despacho afectan el costo asociado con el uso

de combustible, el mantenimiento del generador diesel y el tiempo de vida de la batería pero la influencia de estas últimas dos es difícil de cuantificar. También se debería notar que el funcionamiento global del sistema depende de la estrategia de despacho.

### 3.1. MODOS DE OPERACION

Los modos de operación están relacionados con el control continuo y bidireccional de múltiples fuentes de energía en sistemas híbridos. Debido a la naturaleza de la demanda, lo fluctuante de la energía proveniente de un sistema solar fotovoltaico o una turbina de viento y la variación resultante del estado de carga (SOC) de la batería, el controlador del sistema de energía híbrido tiene que responder continuamente a las condiciones cambiantes. La siguiente figura muestra los diferentes modos de operación de un sistema híbrido fotovoltaico-diesel utilizando una estrategia de despacho típica (Ver Average Load Strategy, Baring-Gould, 1996)<sup>2</sup>. El siguiente ejemplo de un sistema híbrido paralelo ha sido escogido para ilustrar las tareas que son requeridas para dirigir el flujo de la energía del sistema, aún más para sugerir cual es la más eficiente estrategia de control. Un resumen de los métodos más comunes ha sido presentado por Barley(1996).

Modo I: La demanda base, la cual se presenta generalmente en las noches y durante las primeras horas de la mañana, es alimentada por la energía almacenada en las baterías. La energía solar no está disponible y el generador diesel no se enciende.

Modo II: La energía solar es complementada con la energía almacenada para así alimentar la demanda media. Para maximizar la eficiencia del sistema la parte fotovoltaica es enviada directamente a la carga a través del inversor, antes de pasar a través de la batería lo cual resultaría en pérdidas por conversión.

Modo III: Existe un excedente de energía disponible en el sistema fotovoltaico, el cual es almacenado en la batería. La demanda de nivel medio es alimentada directamente desde el sistema fotovoltaico.

Modo IV: El generador diesel es iniciado y opera a su capacidad nominal para alimentar la demanda nocturna. En este ejemplo, la contribución del generador fotovoltaico es pequeño comparado con la demanda de energía total durante este periodo. El exceso de energía disponible desde el generador diesel es utilizado para recargar las baterías.

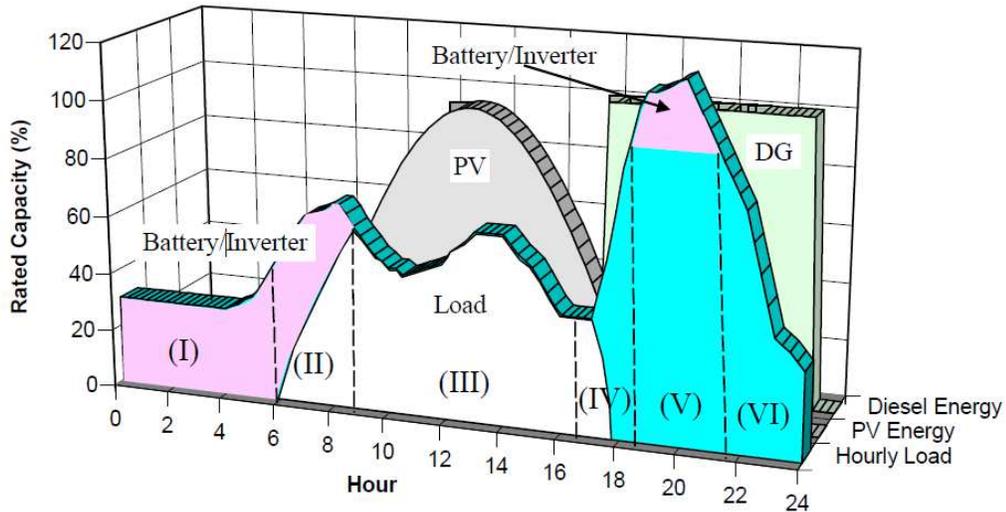
Modo V: La potencia del generador diesel es insuficiente para alimentar el pico de demanda. Potencia adicional es suministrada desde las baterías sincronizando la onda de salida del inversor AC con la onda de salida del generador diesel. Esta es la principal ventaja de los sistemas de energía híbridos paralelos sobre las topologías convencionales, donde los picos pueden ser cubiertos por múltiples fuentes operando en paralelo.

Modo VI: La potencia del generador diesel excede la demanda pico, pero este se mantiene operando hasta que las baterías son recargadas hasta un nivel de carga pre-definido. La capacidad de las baterías debería ser suficiente para alimentar la demanda base durante la noche sin necesidad que el generador diesel opere.

Los sistemas de energía híbridos paralelos eliminan la necesidad de operación del generador diesel con *reserva rotante*<sup>3</sup> adicional. El inversor bi-direccional es sincronizado con el generador diesel siempre que múltiples fuentes de energía son requeridas para cubrir los picos de demanda. En principio, la operación más eficiente es alcanzada si la energía generada es suministrada directamente a los consumos (demanda) desde todas las fuentes de energía, lo cual también reduce el ciclado del banco de baterías. No obstante, como la operación del generador diesel para cubrir demanda de iluminación es ineficiente por naturaleza (debido a los bajos factores de carga que requiere este tipo de consumos), es una práctica común operar el generador diesel a su capacidad nominal y recargar las baterías con el exceso de energía producida. La selección del algoritmo de control más eficiente depende del consumo de combustible, costo de mantenimiento y reemplazo de componentes, la configuración del sistema, condiciones ambientales, así como, constantes impuestas en la operación del sistema de energía. Además la investigación es necesaria para que se puedan desarrollar líneas de acción generales para la selección del método más apropiado de todas las estrategias de despacho posibles.

---

<sup>3</sup> La *reserva rotante* es la capacidad rotacional extra en línea que cubre incrementos de demanda repentinos.



Modos de operación del sistema de energía híbrido

Muchos investigadores han reconocido que la inclusión de pronóstico de la demanda y el recurso renovable en el proceso de control de los sistemas de energía híbridos permite la implementación de estrategias de despacho (Kleinkauf et al., 1995; Kaiser et al., 1996). El proceso de toma de decisiones es respaldado por la información actual y las futuras condiciones de operación, así como la información del funcionamiento del sistema previamente almacenada. El sistema de control está en condiciones de responder ante un cambio imprevisto de la demanda o disponibilidad del recurso renovable sin causar interrupciones en el suministro, por lo que estaría en capacidad de anular su propia estrategia de control cuando sea necesario. Una discusión detallada del pronóstico de la demanda y el recurso renovable ha sido presentado por Wichert y Lawrence (1997).

La inclusión de Inteligencia Artificial como parte de la manejo de los sistemas de energía permite la operación óptima de los sistemas de energía híbridos. Estudios recientes indican que la Lógica Difusa resulta más conveniente para estas aplicaciones debido a las incertidumbres introducidas a través de las variables del sistema tales como; pronóstico de la demanda, del recurso renovable o la predicción del estado de carga de la batería. Las normas que se acercan a describir los problemas de control adoptados por los Controladores de Lógica Difusa es conveniente para caracterizar una amplia variedad de sistemas híbridos. La aplicación de modernos métodos de control de sistemas de energía híbridos permite que el uso de las fuentes renovables sea optimizada, mientras que se reduce el el consumo de combustible del generador diesel.

## IV. IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTO

### 4.1. DISEÑO DEL SISTEMA

En el sitio se tenía como existente; un Generador Diesel, una planta de rectificadores de 6kW y un banco de baterías en 48VDC de 1000Ah@C100 cuya operación permite el uso eficiente – en cierta medida – del generador diesel. Es por ello que para la operación el combustible debe ser repuesto de forma periódica e implica un costo. Además del costo de mantenimiento periódico necesario del generador diesel. Para reducir este costo de Operación y Mantenimiento, se busca reducir el consumo de combustible y en el futuro el retiro del generador para ello se ha propuesto implementar un sistema eólico-solar que reemplazará al generador Diesel existente.

Así, por las condiciones propicias del entorno de instalación, se ha previsto implementar un aerogenerador de 6kW e incrementar el banco de baterías hasta los 2000Ah@C100, para lo cual se ha realizado una estimación previa de la producción de energía de acuerdo al registro de datos para la ubicación geográfica de la estación Vesique, ingresando datos relacionados con la geografía y el promedio de viento (4.74 m/s) se estima la producción de energía diaria a través de la distribución de Weibull. Para la demostración y cumplimiento de criterios de éxito se ha previsto un sistema de monitoreo y principalmente un sistema de control para la operación del sistema híbrido de energía.

### 4.2. NECESIDAD DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL DEL SISTEMA DE ENERGÍA

Como parte de este proyecto, un sistema de control centralizado ha sido desarrollado el cual permite alimentar los consumos desde cualquiera de las fuentes de energía (eólica, baterías o el generador diesel). Inicialmente se esperaba que la unidad de control esté basada en un algoritmo de optimización de la operación, el cual tomaría en cuenta la demanda de los equipos de telecomunicaciones y el pronóstico de viento mientras que considera constantes técnicas y ambientales. El resultado esperado de esta optimización es la reducción de los costos operativos del sistema lo cual será demostrado a través del sistema de adquisición de datos que se ha instalado. El sistema de control de energía tiene los siguientes objetivos relacionados con la operación:

- ✓ Maximizar la eficiencia del sistema
- ✓ Minimizar el uso de combustible del generador diesel
- ✓ Maximizar el uso de la fuente renovable
- ✓ Maximizar el tiempo de vida de los componentes
- ✓ Asegurar la confiabilidad de la operación del sistema

- ✓ Considerar restricciones operacionales, tales como consumos prioritarios, restricciones de operación nocturna del generador diesel o el mínimo estado de carga de la batería.

Inicialmente también se consideró introducir un control avanzado que tuviera incluidas las siguientes funciones:

- ✓ Pronóstico de recurso renovable
- ✓ Pronóstico de la demanda a corto y mediano plazo
- ✓ Versatilidad en el modelo de la batería para medir y predecir con precisión el estado de carga de la batería.
- ✓ Introducir constantes definidas por el usuario, por ejemplo, horas permitidas de operación del generador diesel, mínimo estado de carga, “aceptación de pérdida de suministro”, etc.
- ✓ Monitoreo avanzado de la batería
- ✓ Detección automática e indicación de condiciones de falla del sistema
- ✓ Gestión de consumos a través de un sistema de control automatizado e interacción en tiempo real con el usuario.

Sin embargo, la aplicación de este proyecto no requería de este nivel de complejidad de control ya que el sistema de energía soportaba una aplicación de acceso que no requería monitoreo y no contemplaba partidas para sistemas de control con estas funciones.

### **4.3. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS**

Para verificar el éxito del algoritmo de operación se instaló un sistema de adquisición de datos, el mismo que está formado por una serie de sensores junto un anemómetro que registra la magnitud y dirección del viento. Estos datos eran almacenados cada 10 minutos en una memoria externa. El equipo utilizado es un Campbell Scientist CR1000 junto a un multiplexor AM16/32 y una memoria flash. El siguiente esquema muestra la distribución de los sensores en el sistema de energía. El sistema de adquisición registra los valores de energía generada en el sistema.

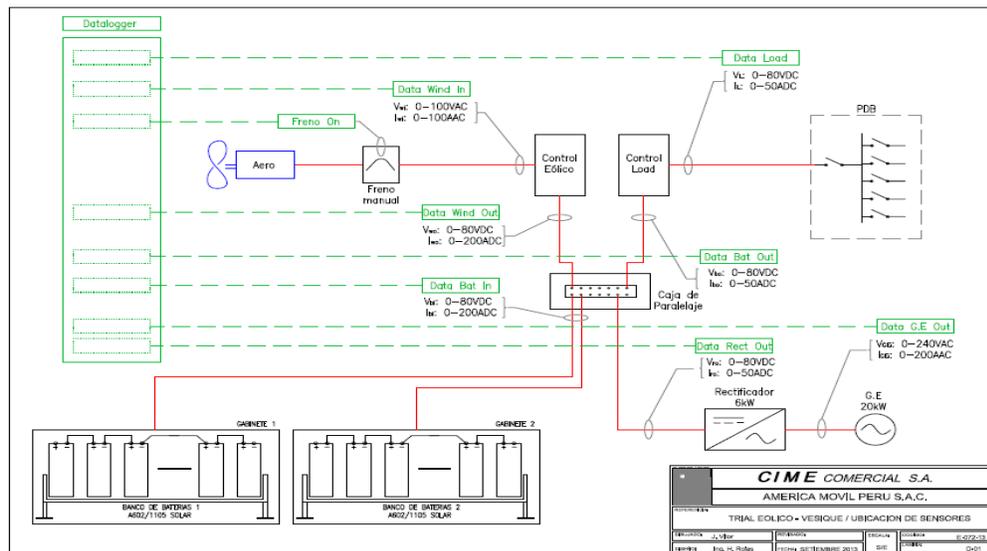


Figura 3. Distribución de sensores de adquisición de datos



Fotografía 1 y 2: Sensores de Corriente y Voltaje



Fotografía 3.- Multiplexor y distribución de Señales analógicas.



Fotografía 4.- Equipo CR1000 junto a tarjeta de memoria y tarjeta de integración a Ethernet.

De la estimación realizada se tiene previsto que el sistema eólico cubrirá la demanda de energía en los meses Mayo a Diciembre y deberá ser complementado con otra fuente durante los meses de Enero a Abril. Dentro de la recomendaciones alcanzadas indicamos que se debía aumentar la capacidad existente del banco de baterías, con este aumento se logrará brindar mayor autonomía para aprovechar convenientemente el recurso eólico.

## 5. SISTEMA DE CONTROL

### 5.1. ESTRATEGIA DE CONTROL

Una característica dentro de los sistemas de control es la estabilidad, se dice que un sistema está en estado estacionario cuando las salidas sigue a la entrada (tiene la misma forma). Un sistema es estable cuando estando en el estado estacionario cambia la entrada después de un tiempo finito el sistema vuelve a un estado estacionario.

El sistema de control debe regular la salida de generación de las fuentes de energía y controlar su inyección a la unidad de almacenamiento. Así debe controlar los niveles de conexión de las fuentes de energía y desconexión de los consumos para proteger el banco de baterías de sobre-descargas y optimizar el tiempo de reposición del banco de baterías. Como se muestra en la gráfica siguiente el sistema controla la conexión y desconexión para el nivel de carga (umbrales o tensiones de carga), el nivel inferior muestra los umbrales de conexión y reconexión de los consumos o demanda. Estos umbrales son fijados por el usuario y dependerán del tipo de aplicación en que opera el sistema de energía (Telecomunicación, Industria petrolera, hospitales, electrificación rural, etc).

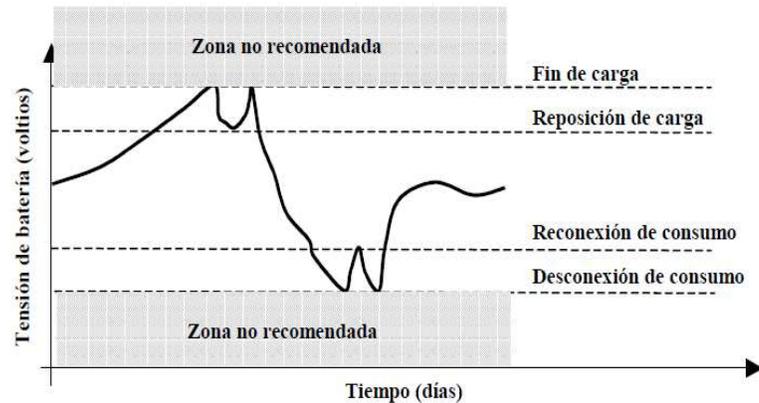


Figura 4. Distribución de sensores de adquisición de datos



Figura 5. Distribución de sensores de adquisición de datos

En la figura anterior se muestra la operación esperada del sistema de energía durante una semana, se han fijado valores para el ingreso del sistema diesel en 50% de SOC. Este sistema de control tiene los algoritmos distribuidos. Equipos de control para la línea de fuerza y equipos de control para líneas de comando que obtienen información de los equipos de potencia.

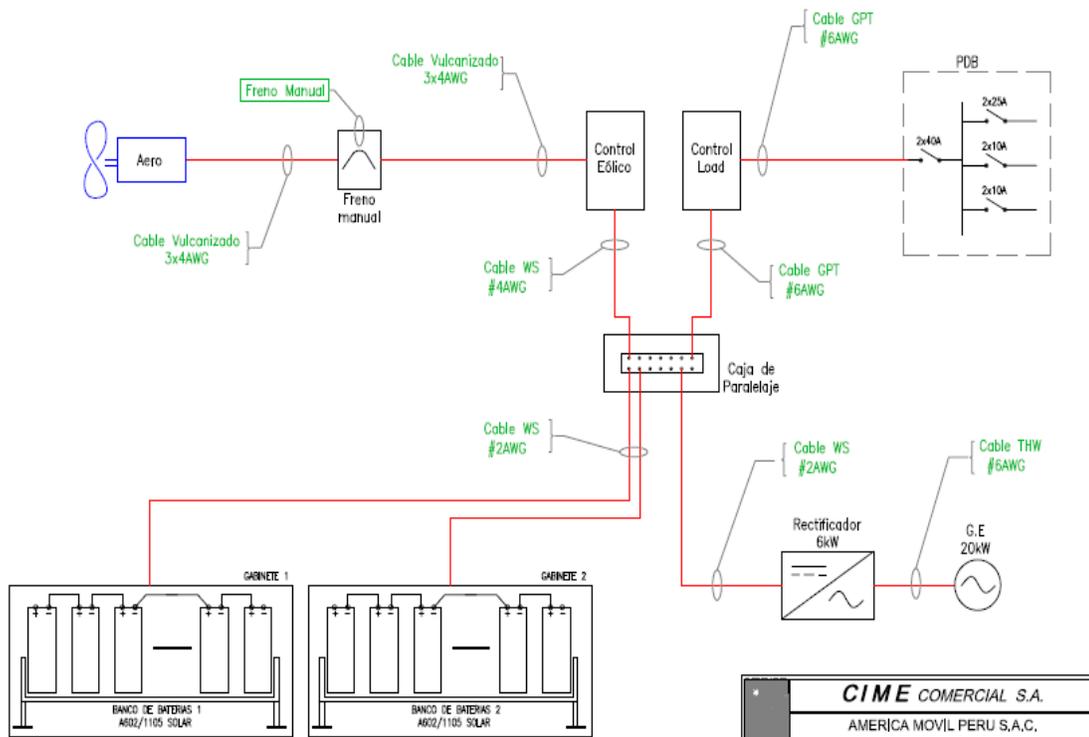
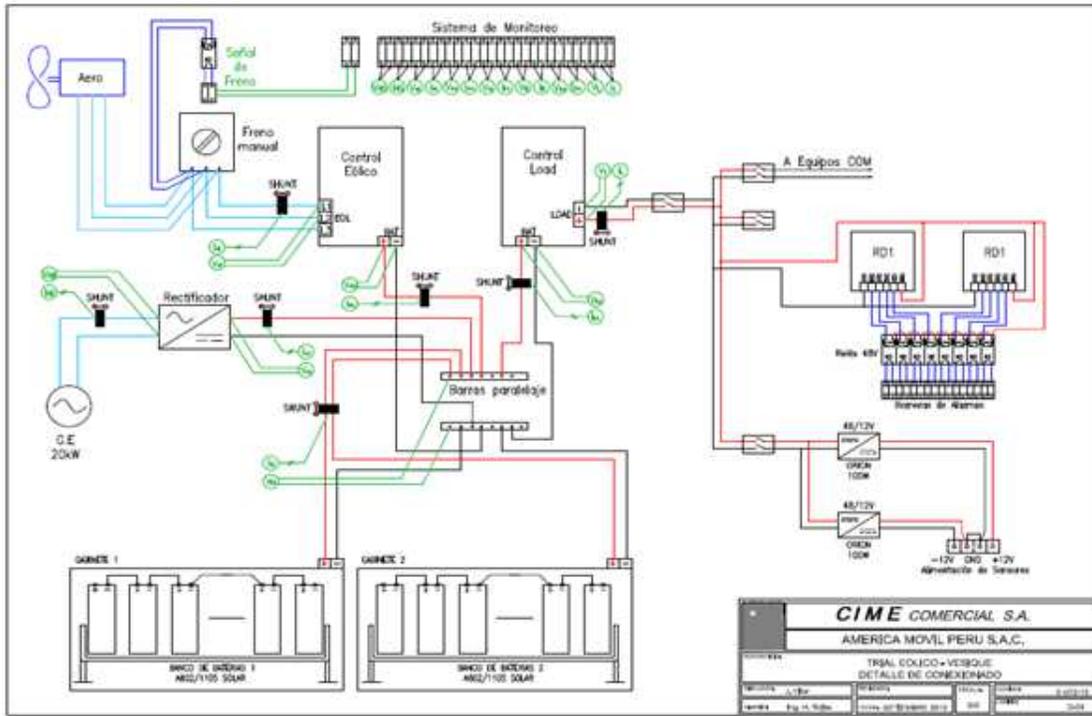
## 5.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DEL CONTROL

El sistema de control está conformado por el sistema que regula las fuentes de generación, equipos independientes regulan el ingreso de la fuente eólica, otro controlador regulan el arranque e ingreso del Grupo Diesel



Fotografía 5.- Sistema de control implementado.

En este sistema se ha incluido baterías para mejorar la eficiencia y permitir utilizar el generador a un factor de carga conveniente. La capacidad del grupo deberá permitir la recarga del grupo y la alimentación del consumo en paralelo. Sin embargo, debido al crecimiento de la demanda la operación del GE no hace conveniente su mantenimiento.



Dentro de las alternativas planteadas, la que mejor tiempo de retomo es la propuesta que adiciona baterías y generación eólica, con 1.8 años. Sin embargo, este sistema con una sola fuente de generación – variable e impredecible – no asegura continuidad ni periodicidad en la generación de energía. Por tanto sería necesario el respaldo con el Generador Diesel.

Para el análisis de inversión se han considerado recuperaciones de capital en bienes como son el rectificador y el Generador Diesel, el mismo que deberá retirarse luego del periodo de prueba. En este periodo de prueba se deberá tener alta disponibilidad (99.999%) del servicio de comunicaciones el mismo que no incluye los periodos de bajo recurso eólico donde se ha previsto operar, en el futuro, un generador portátil para recargar el banco de baterías.

## V. PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES

El presente informe contiene los resultados de la operación del Sistema de Energía Eólica en las instalaciones de la Estación Vésique en Huaraz entre el 28/12/13 y 15/07/2014.

Dentro de los parámetros evaluados se encuentran:

- ✓ Reporte de consumo de Combustible
- ✓ Características del viento de la zona.
- ✓ Distribución direccional del viento.
- ✓ Gráficos de periodicidad de viento.
- ✓ Gráficos de Comportamiento del sistema días 16 de mayo al 15 de Julio.

### REPORTE DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE

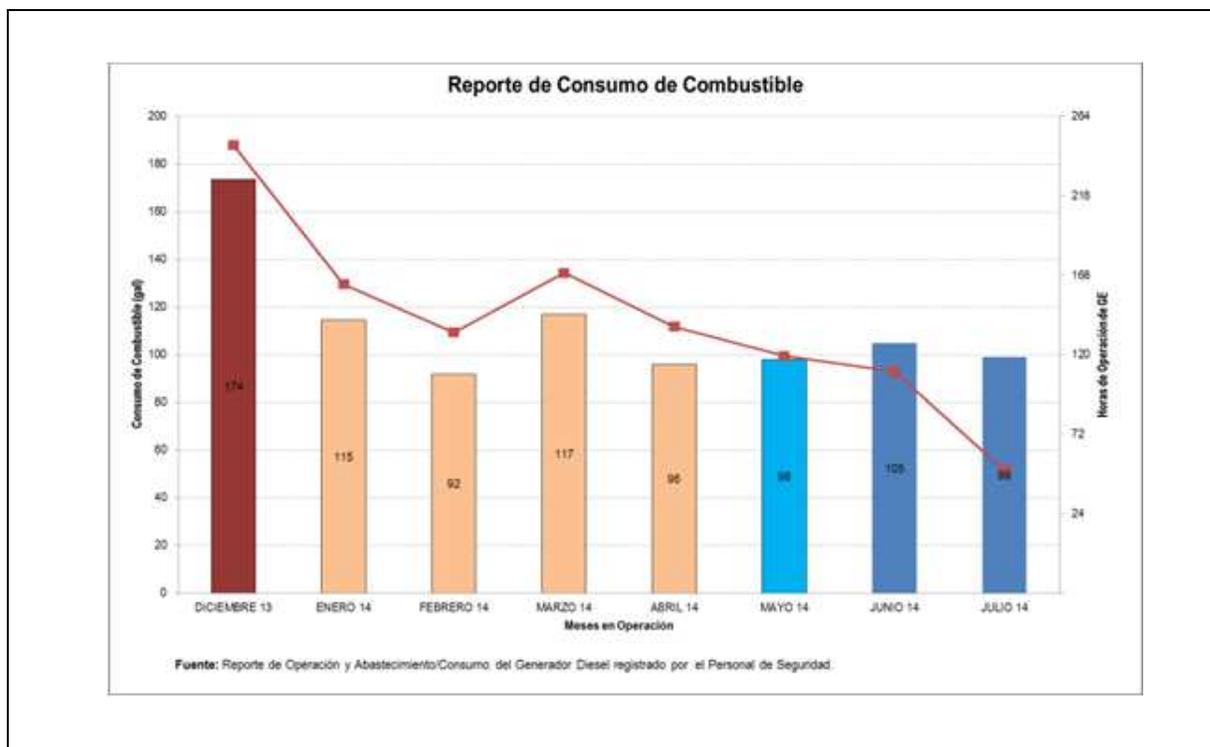


Tabla 1. Reporte de Combustible de Consumidor por el GE desde Diciembre del 2013 a Junio del 2014.

En Enero del 2014 ingreso en operación el aerogenerador eólico.

## A. DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDAD DE VIENTO

BIN	Velocidad de Viento (m/s)	Frecuencia datos 10 minutales
1	0 - 1	3796
2	1 - 2	4061
3	2 - 3	3051
4	3 - 4	2600
5	4 - 5	2552
6	5 - 6	2694
7	6 - 7	2698
8	7 - 8	2116
9	8 - 9	1093
10	9 - 10	458
11	10 - 11	273
12	11 - 12	144
13	12 - 13	102
14	13 - 14	36
15	14 - 15	10
16	15 - 16	4
17	16 - 17	1

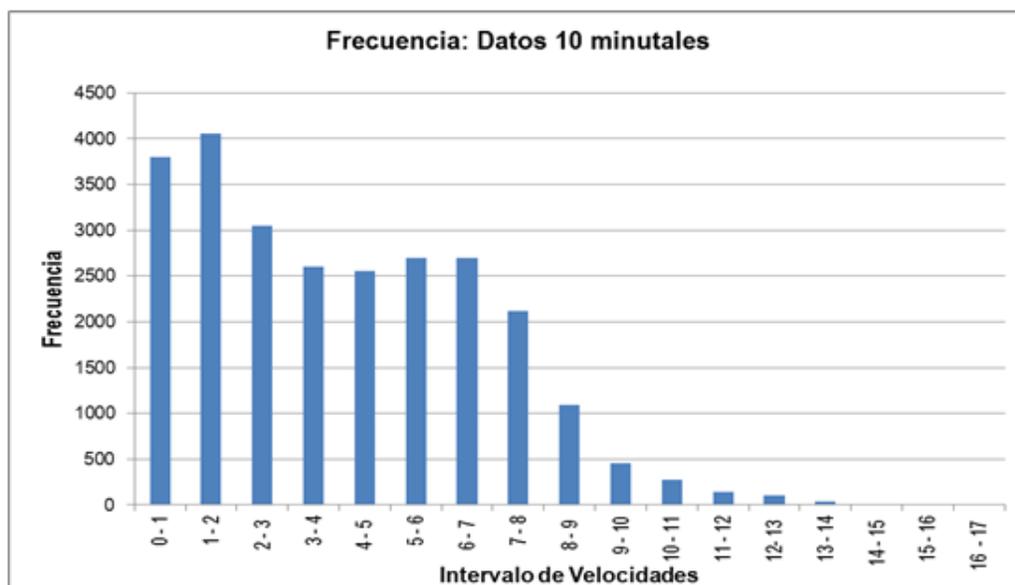


Gráfico 1. Distribución de Velocidades

## B. ROSA DE OCHO VENTOS

Dirección del Viento	Porcentaje	Frecuencia
N	1%	288
NE	2%	527
E	18%	4478
SE	29%	7378
S	35%	8939
SO	5%	1209
O	6%	1505
NO	4%	1106

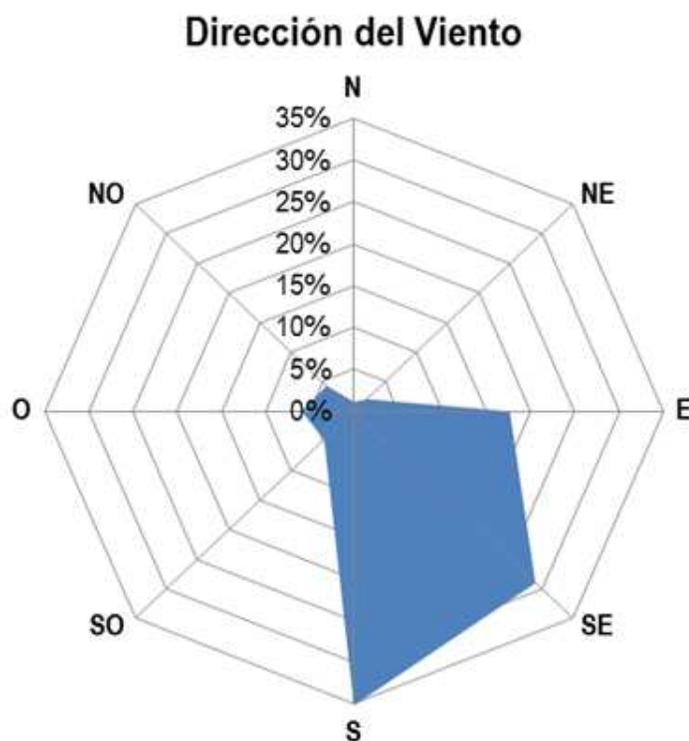


Gráfico 2. Rosa con frecuencia direccional del Viento.  
Dirección Predominante del Viento SE.

**PRODUCCION DE ENERGÍA ENTRE EL 17 DE MAYO AL 15 DE JULIO 2014**

<b>Día</b>	<b>Energía</b>	<b>Día</b>	<b>Energía</b>
'17/05/2014'	6.7 kWh	'16/06/2014'	1.2 kWh
'18/05/2014'	8.7 kWh	'17/06/2014'	0.1 kWh
'19/05/2014'	10.5 kWh	'18/06/2014'	2.6 kWh
'20/05/2014'	9.2 kWh	'19/06/2014'	4.1 kWh
'21/05/2014'	7.9 kWh	'20/06/2014'	2.4 kWh
'22/05/2014'	12.8 kWh	'21/06/2014'	6.6 kWh
'23/05/2014'	12.5 kWh	'22/06/2014'	7.9 kWh
'24/05/2014'	7.6 kWh	'23/06/2014'	7.8 kWh
'25/05/2014'	6.7 kWh	'24/06/2014'	5.2 kWh
'26/05/2014'	3.3 kWh	'25/06/2014'	5.1 kWh
'27/05/2014'	3.7 kWh	'26/06/2014'	21.7 kWh
'28/05/2014'	4.5 kWh	'27/06/2014'	18.7 kWh
'29/05/2014'	7.6 kWh	'28/06/2014'	0.2 kWh
'30/05/2014'	14.9 kWh	'29/06/2014'	6.7 kWh
'31/05/2014'	10.6 kWh	'30/06/2014'	10.8 kWh
'01/06/2014'	6.4 kWh	'01/07/2014'	6.5 kWh
'02/06/2014'	6.4 kWh	'02/07/2014'	0.3 kWh
'03/06/2014'	9.8 kWh	'03/07/2014'	4.0 kWh
'04/06/2014'	10.7 kWh	'04/07/2014'	16.7 kWh
'05/06/2014'	13.8 kWh	'05/07/2014'	11.2 kWh
'06/06/2014'	9.0 kWh	'06/07/2014'	7.7 kWh
'07/06/2014'	10.1 kWh	'07/07/2014'	3.1 kWh
'08/06/2014'	4.1 kWh	'08/07/2014'	7.1 kWh
'09/06/2014'	13.2 kWh	'09/07/2014'	8.5 kWh
'10/06/2014'	10.6 kWh	'10/07/2014'	8.2 kWh
'11/06/2014'	6.8 kWh	'11/07/2014'	7.5 kWh
'12/06/2014'	8.8 kWh	'12/07/2014'	3.9 kWh
'13/06/2014'	3.9 kWh	'13/07/2014'	8.1 kWh
'14/06/2014'	9.5 kWh	'14/07/2014'	2.7 kWh
'15/06/2014'	6.8 kWh	<b>PROMEDIO</b>	<b>7.7 kWh</b>

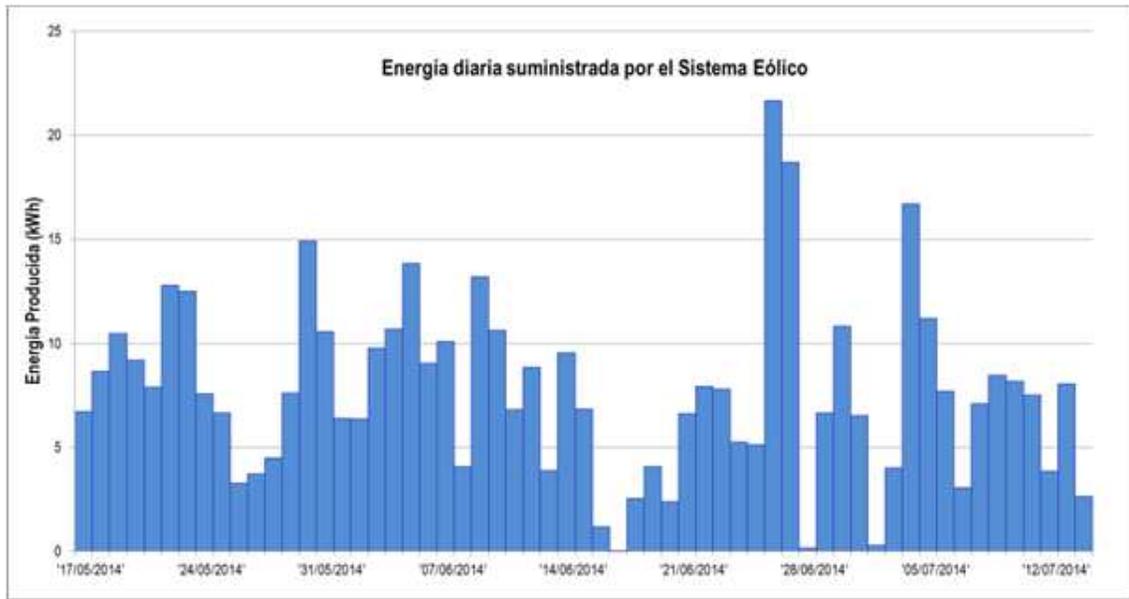


Gráfico 1. Producción Diaria de Energía

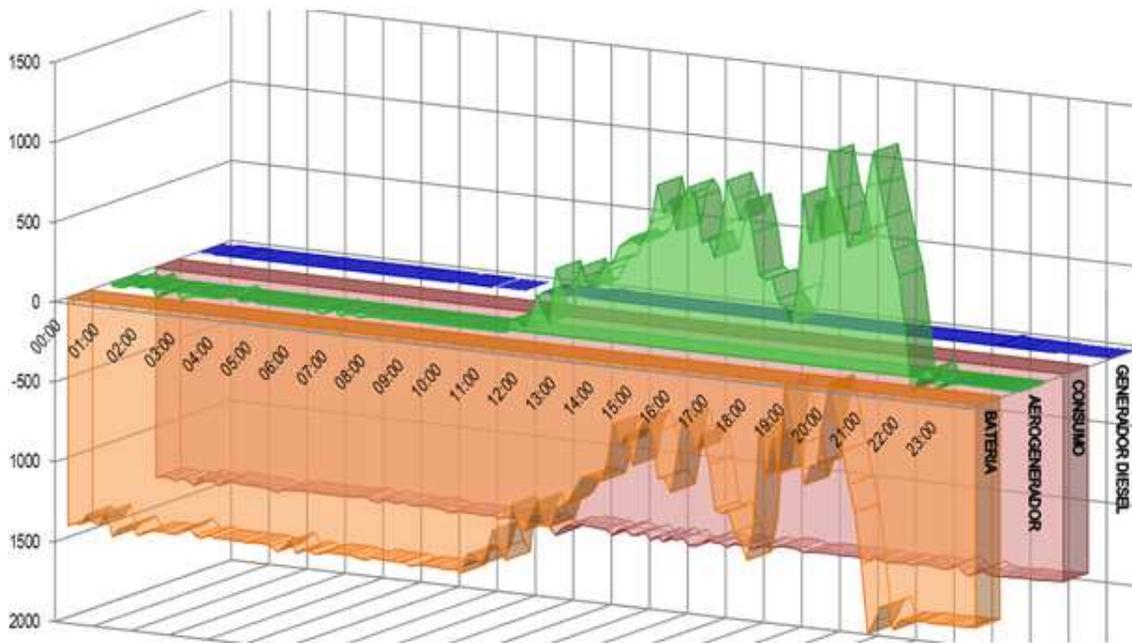


Gráfico 2. Potencias de salida (debajo del eje de abscisas) y entrada (sobre el eje de abscisas) para el día 17 de Mayo. Solo producción Eólica.

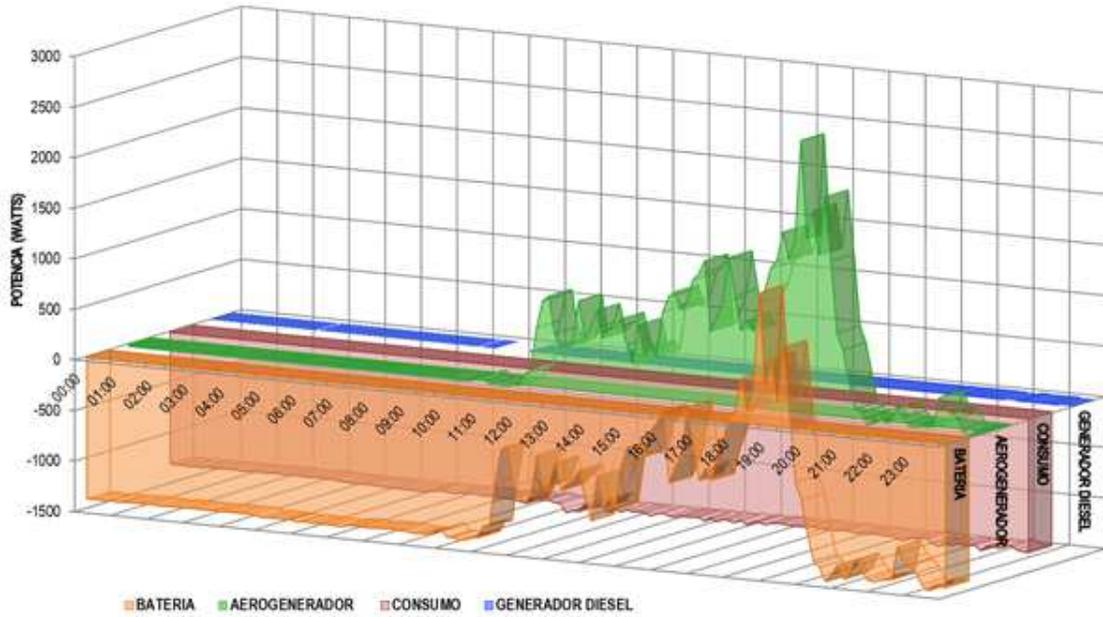


Gráfico 3. Potencias de salida (debajo del eje de abscisas) y entrada (sobre el eje de abscisas) para el día 18 de Mayo. Solo Producción eólica

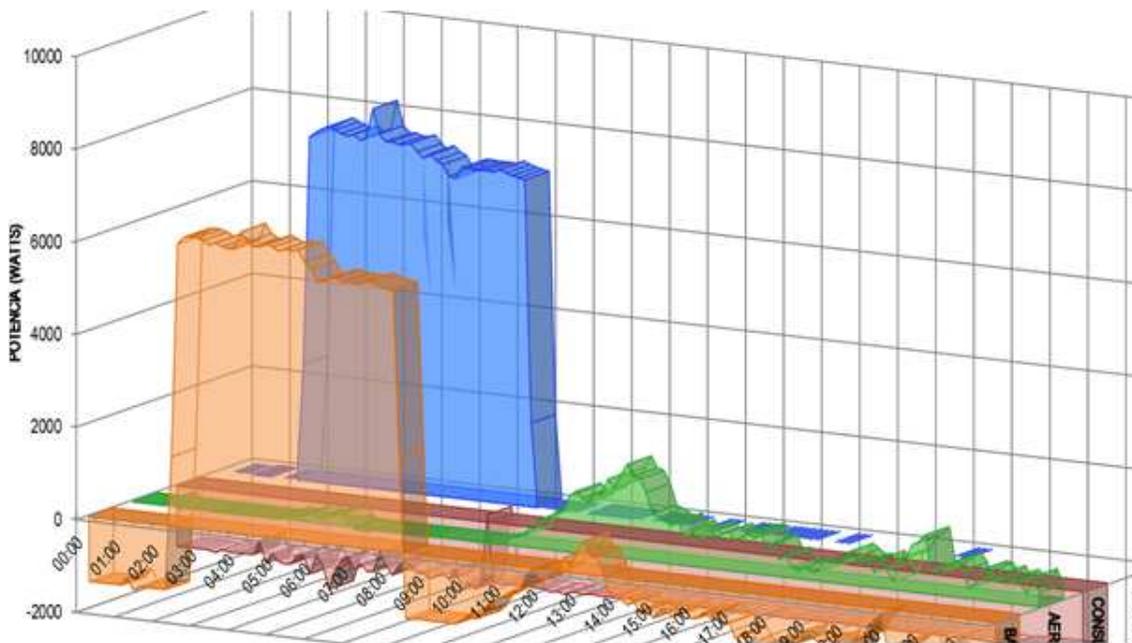


Gráfico 4. Potencias de salida (debajo del eje de abscisas) y entrada (sobre el eje de abscisas) para el día 19 de Mayo. Día de operación combinada

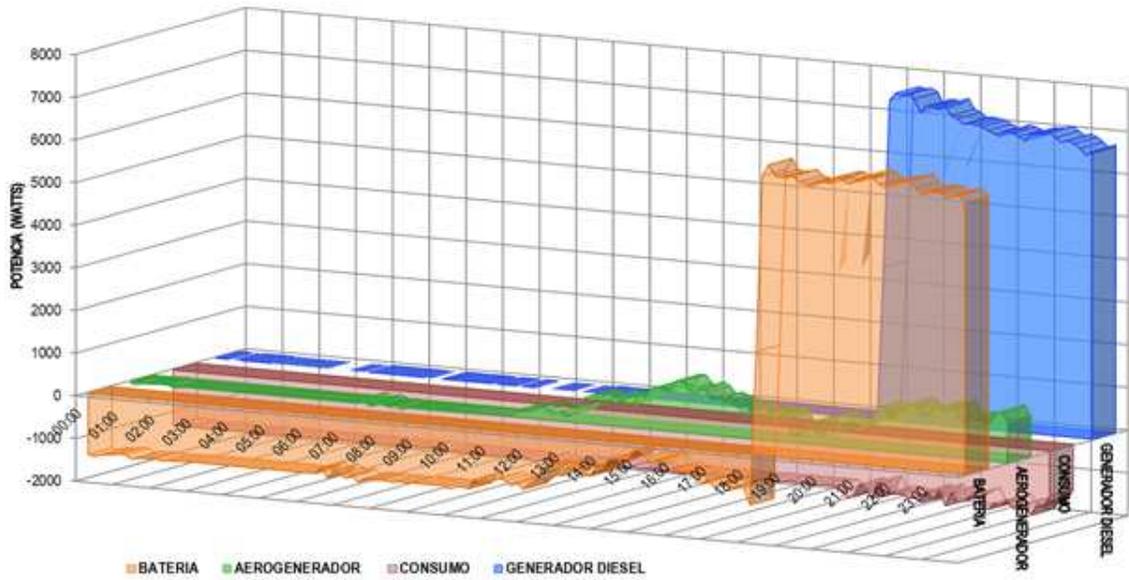


Gráfico 5. Potencias de salida (debajo del eje de abscisas) y entrada (sobre el eje de abscisas) para el día 20 de Mayo. Día de operación combinada.

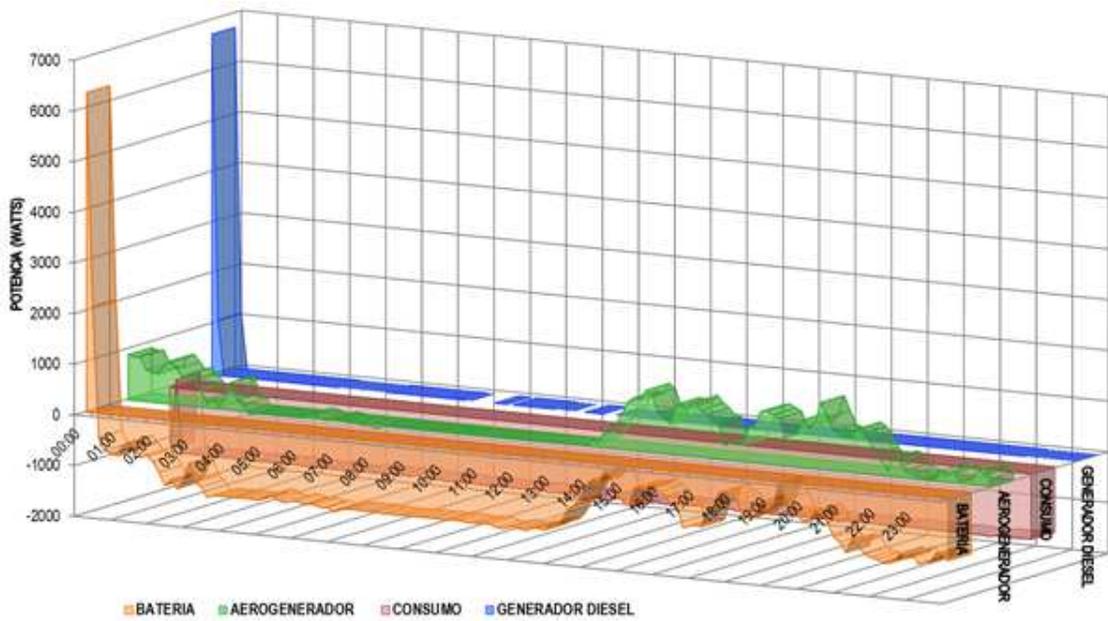


Gráfico 6. Potencias de salida (debajo del eje de abscisas) y entrada (sobre el eje de abscisas) para el día 21 de Mayo. Día de operación eólica.

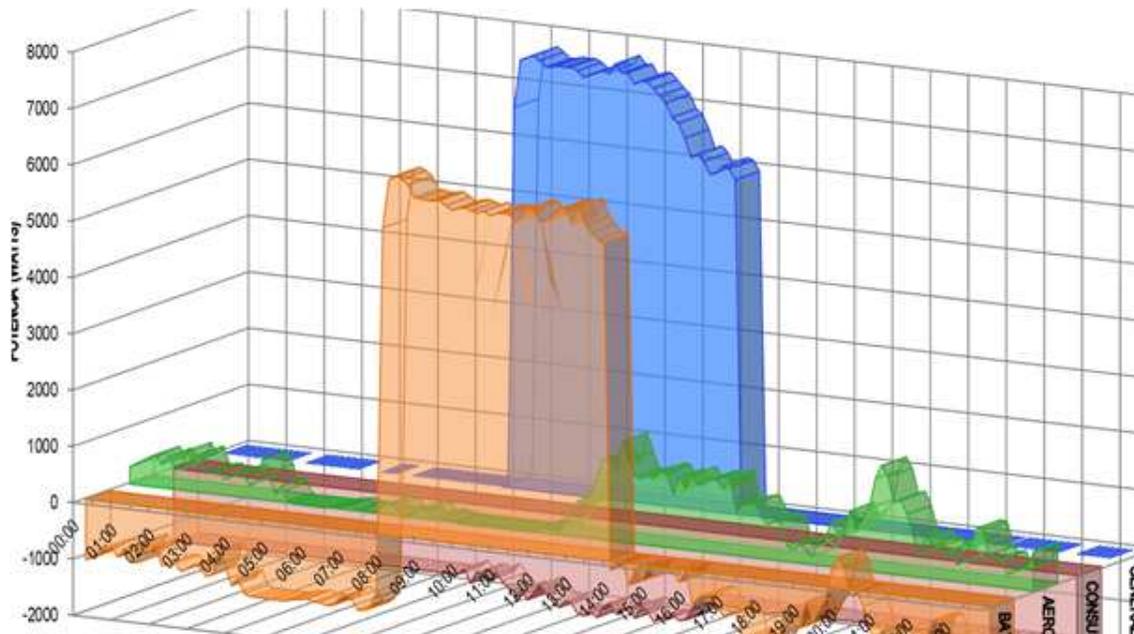


Gráfico 9. Potencias de salida (debajo del eje de abscisas) y entrada (sobre el eje de abscisas) para el día 22 de Mayo. Día de operación combinada.

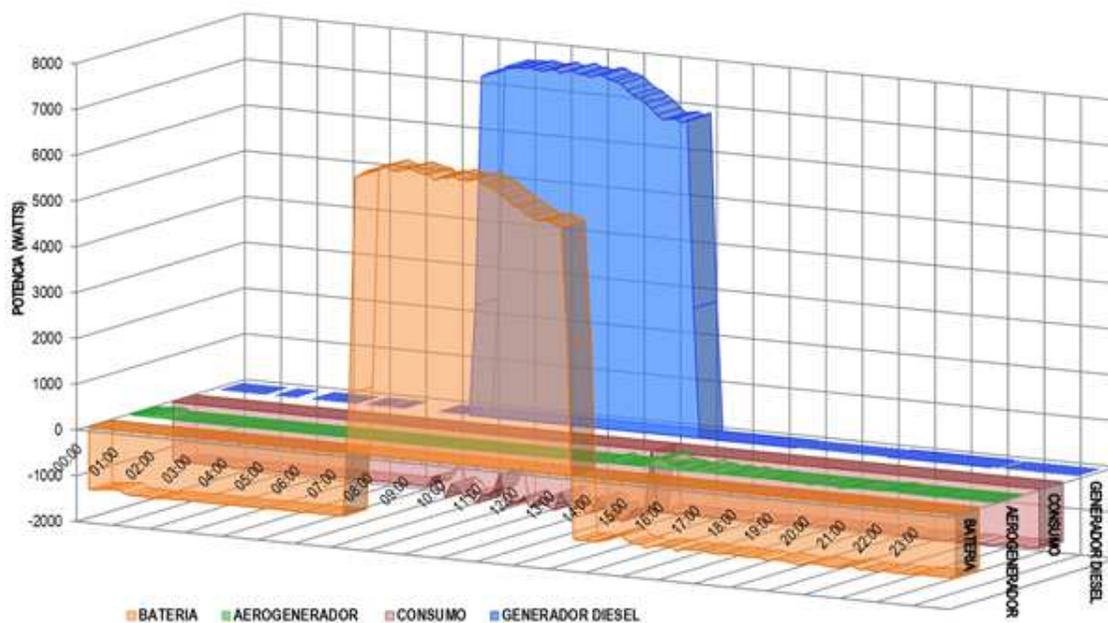


Gráfico 7. Potencias de salida (debajo del eje de abscisas) y entrada (sobre el eje de abscisas) para el día 17 de Junio. Día con bajo recurso eólico.

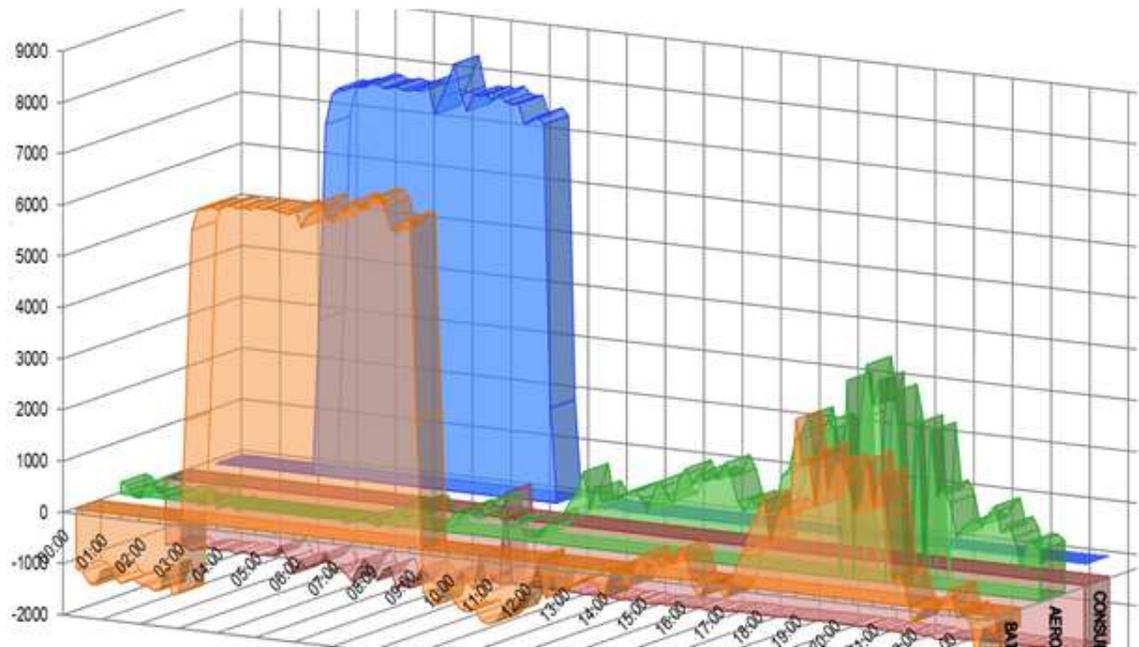


Gráfico 8. Potencias de salida (debajo del eje de abscisas) y entrada (sobre el eje de abscisas) para el día 26 de Junio. Día de mayor producción eólica.

## VI. CONCLUSIONES

1. Los datos recolectados y de operación corresponden del 15/05/2014 al 14/07/14. Del gráfico de distribución se tiene una dirección preferente en NS. La velocidad promedio encontrada es de 4.03 m/s
2. El grupo existente opera al 50% de su capacidad. Limitada a 8kW por los rectificadores. El sistema eólico cubre el 20% de consumo diario de la estación.
3. En el escenario actual de operación el tiempo de retorno de la inversión es menor a 3.5 años. El cálculo se muestra en el anexo N° 1.
4. Finalmente, analizando los resultados de operación del generador y los retornos de la inversión se puede concluir que es conveniente la integración de fuentes renovables en sistemas aislados analizando previamente el potencial o recurso renovable que se tiene disponible.

## VII. REFERENCIAS

1. Shaahid-Elhaidy, Technical and economic assessment of grid-independent hybrid photovoltaic–diesel–battery power systems for commercial loads in desert environments, Center for Engineering Research, Research Institute, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Arabia Saudi. 2007.
2. Wichert, B 1997 “PV-diesel hybrid energy systems for remote area power generation- A review of current practice and future developments”, Renewable and Sustainable energy Reviews, Vol. 1, No. 3, 1997, pp. 209-228.
3. Islam, S.M., 1999. Improving Operational Cost in a Hybrid System by Optimal Sizing and Control Design, A Short Course On: PV/Diesel/ Hybrid Systems, Australian Cooperative Research Centre For Renewable Energy, Curtin University of technology, Australia
4. Baring-Gould, E. I. (1996). Hybrid 2 -The hybrid system simulation model (V.1.0). National Renewable Energy Laboratory, Colorado, U.S.A.
5. J. Mur, Curso de Energía Eólica, Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Zaragoza, 2008
6. Recommended Practice for the Siting of Wind Energy Conversion Systems. (1993). AWEA Standard: AWEA 8.2-1993. Washington, DC: American Wind Energy Association.
7. Revista Tecnológica ESPOL, Vol. 20, N. 1, **123-130**, (Octubre, 2007), ISSN : 0257-1749
8. Baring-Gould, E. I. (1996). Hybrid 2 -The hybrid system simulation model (V.1.0). National Renewable Energy Laboratory, Colorado, U.S.A.

# **ANEXOS**

**ANEXO N°1:**

**ANALISIS DE LA INVERSION**

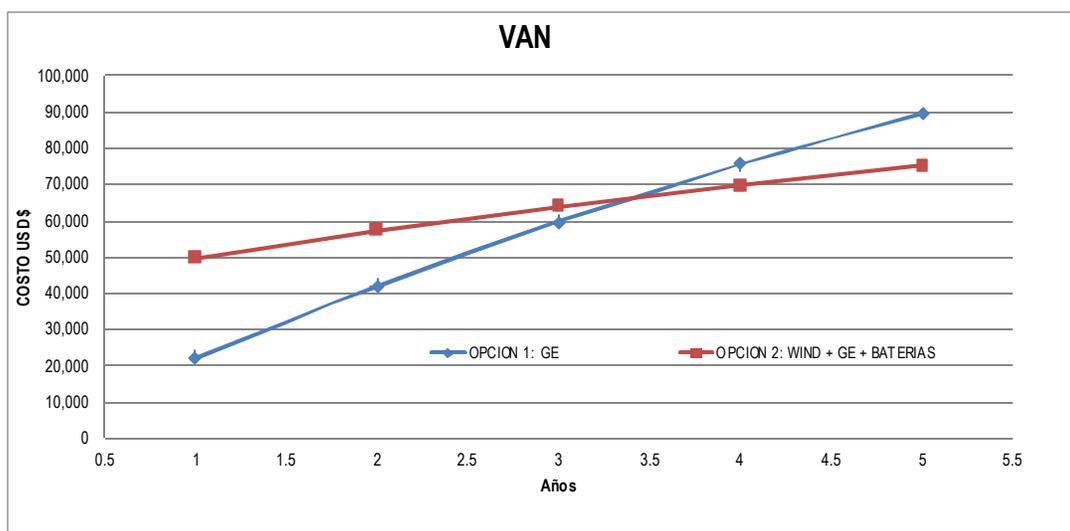
VAN al 5° año (US\$)

Site	OPCION 1: GE	OPCION 2: WIND + GE + BATERIAS	TEA
VESIQUE	89,629	75,294	12%

OPCION 1: GE	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Capex	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Manenimieho	900	900	900	900	900
Resuestos	2,100	2100	2100	2100	2100
Opex	19,200	19,200	19,200	19,200	19,200
<b>Total Gastos</b>	<b>22,200</b>	<b>22,200</b>	<b>22,200</b>	<b>22,200</b>	<b>22,200</b>
Descontado	22,200	19,821	17,698	15,802	14,109
Acumulado	22,200	42,021	59,719	75,521	89,629
<b>VAN 5 año</b>	<b>89,629</b>				

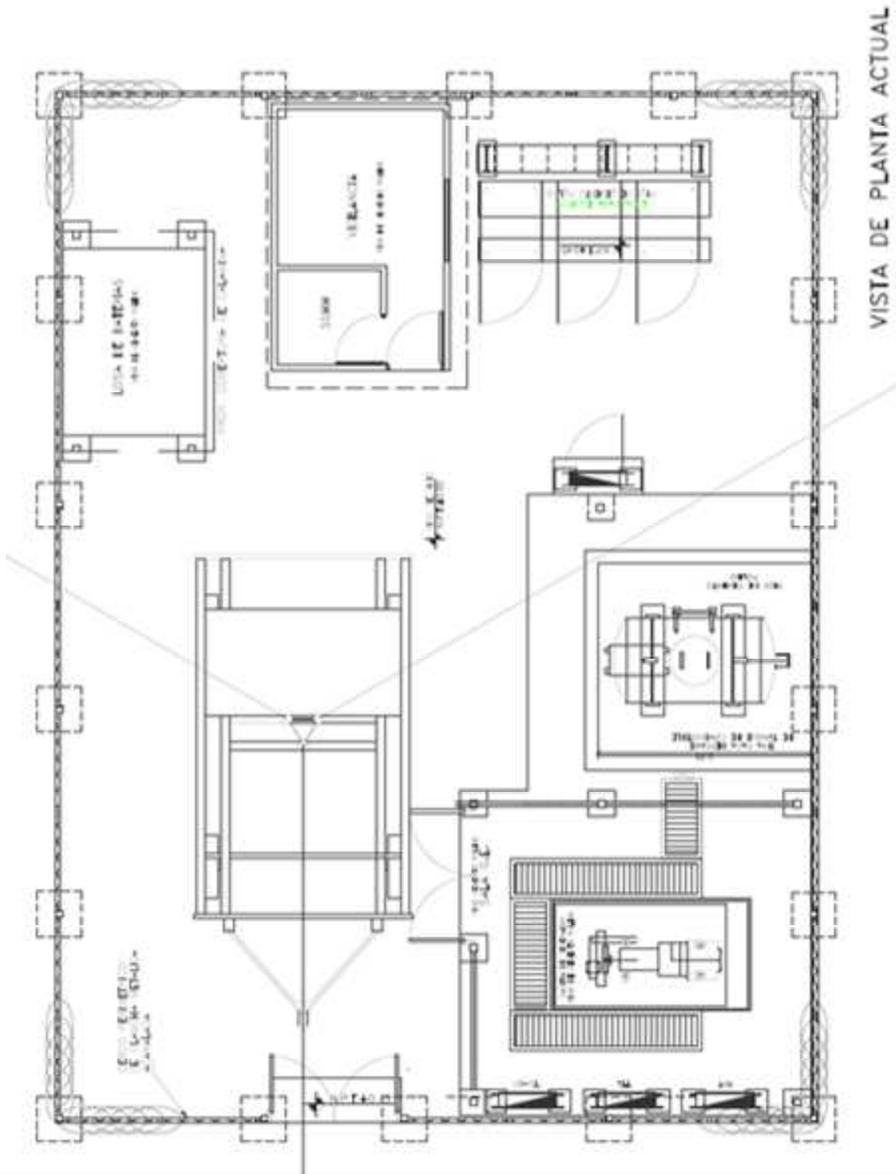
OPCION 2: WIND + GE + BATERIAS	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Capex	41,380	0	0	0	0
Sistema Eólico	24,780				
Banco de Baterías Adicional	16,000				
Rectificador	600				
Opex	8,400	8,400	8,400	8,400	8,400
<b>Total Gastos</b>	<b>49,780</b>	<b>8,400</b>	<b>8,400</b>	<b>8,400</b>	<b>8,400</b>
Descontado	49,780	7,500	6,696	5,979	5,338
Acumulado	49,780	57,280	63,976	69,955	75,294
<b>VAN 5 año</b>	<b>75,294</b>				

RESUMEN	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
OPCION 1: GE	22,200	42,021	59,719	75,521	89,629
OPCION 2: WIND + GE + BATERIAS	49,780	57,280	63,976	69,955	75,294



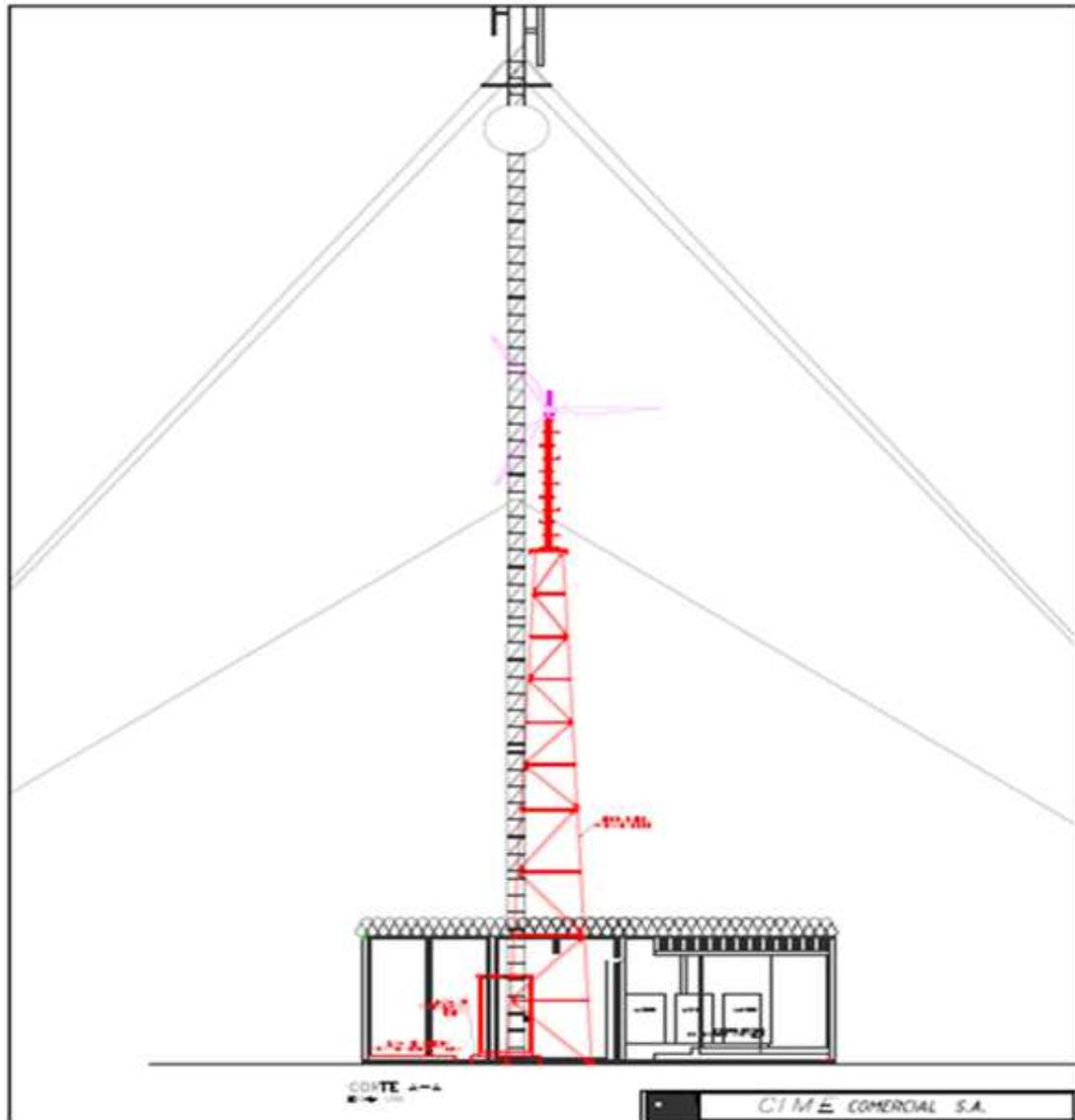
ANEXO N°2

PLANO DE LO EXISTENTE AL INICIO DEL PROYECTO



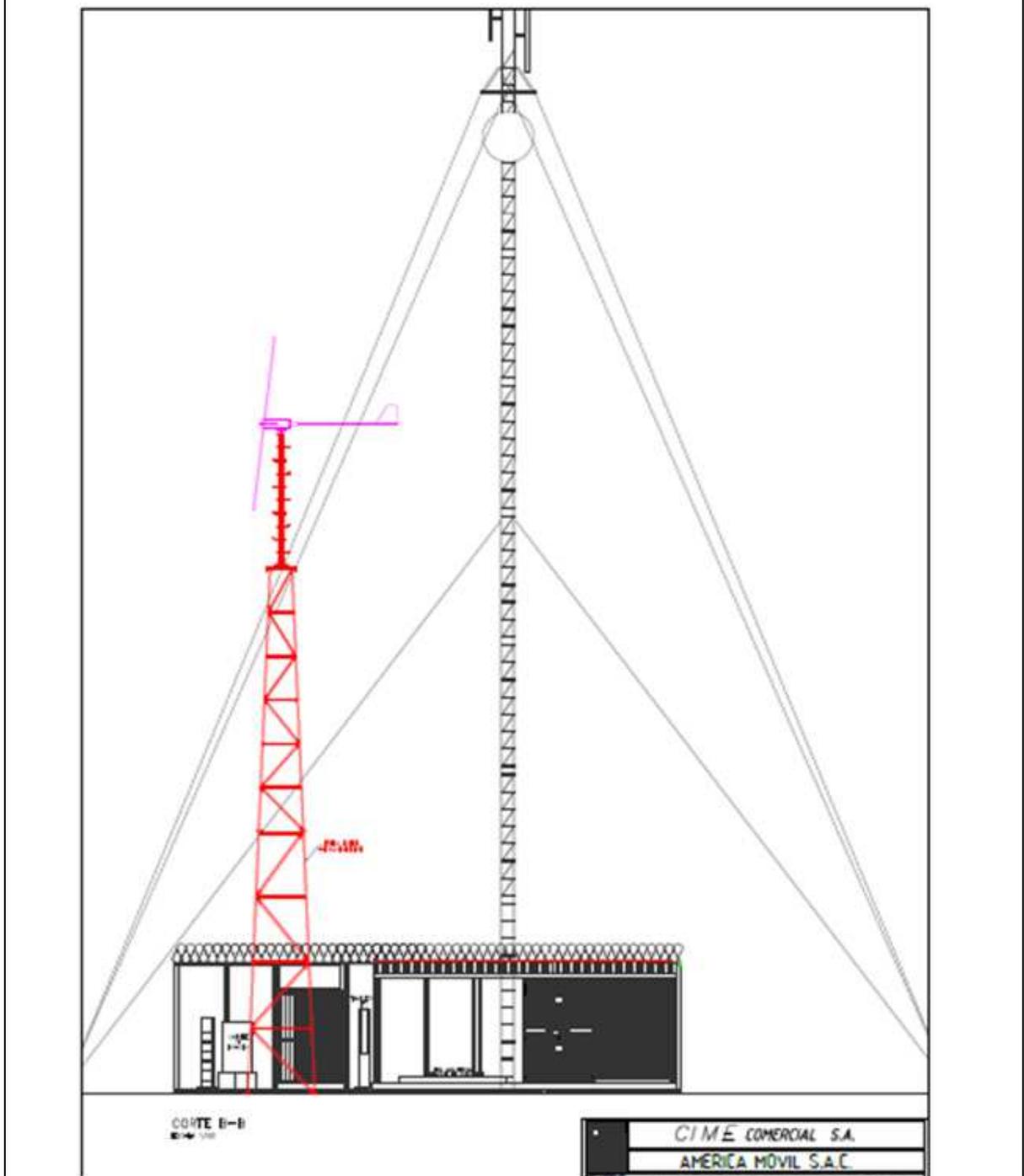


ANEXO N°4  
VISTA DE CORTE BB

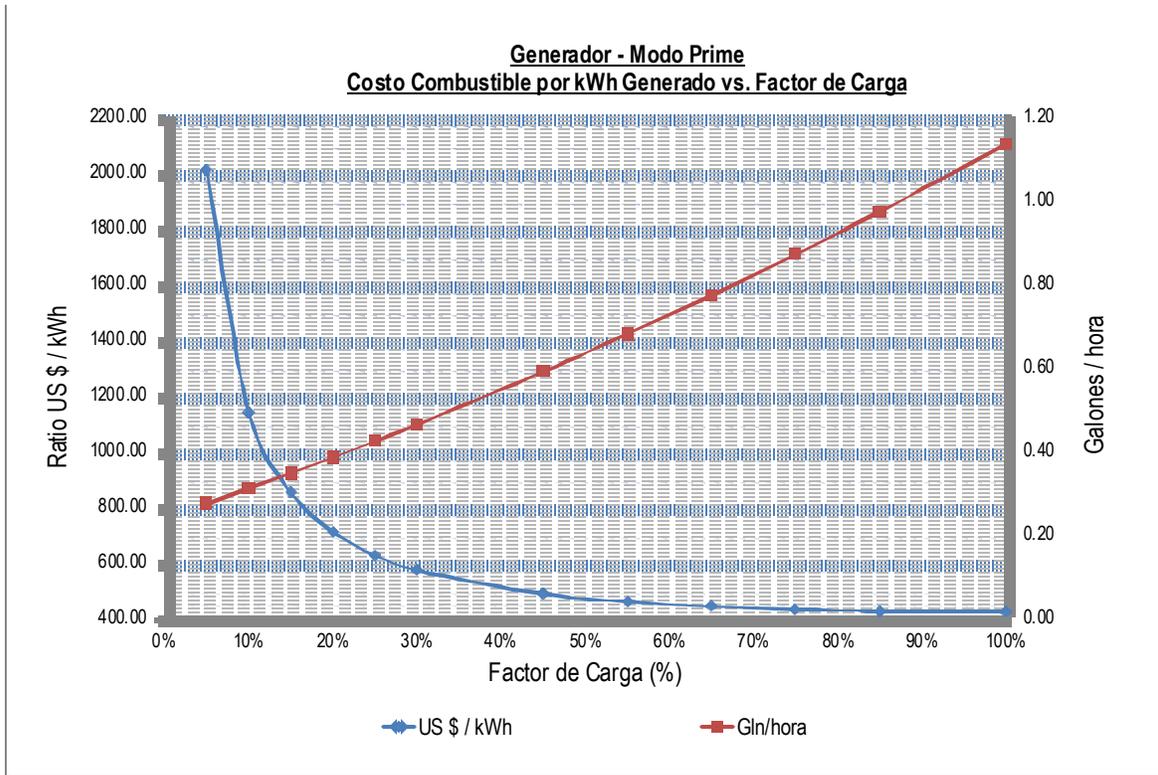


ANEXO N°5

FIGURA 4 VISTA DE CORTE AA



**ANEXO 6 - DATOS DE VIENTO Y CALCULO DEL  
POTENCIAL EÓLICO DISPONIBLE**



De este gráfico podemos apreciar la variación del consumo del equipo (línea roja) en función del factor de carga. El consumo de combustible del generador disminuye con el factor de carga de forma no lineal, teniendo un mínimo fijo de 0.27 Gln/hora para cargas menores del 10% de la potencia nominal.

En este mismo gráfico podemos ver como varía el ratio de costo combustible (línea azul) en función del factor de carga. Este valor es la razón entre la cantidad energía que consume un equipo a según el factor de carga durante 24 horas y el costo del combustible consumido.

## ANEXO 7 - DATOS DE VIENTO Y CALCULO DEL POTENCIAL EÓLICO DISPONIBLE

Monthly Averaged Wind Speed At 10 m Above The Surface Of The Earth For Terrain Similar To Airports (m/s)

Lat -11.41 Lon -77.33	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
10-year Average	3.40	3.29	3.21	3.44	3.97	4.72	4.60	4.57	4.38	3.89	3.73	3.63	3.91

*It is recommended that users of these wind data review the SSE Methodology. The user may wish to correct for biases as well as local effects within the selected grid region.*

*All height measurements are from the soil, water, or ice/snow surface instead of "effective" surface, which is usually taken to be near the tops of vegetated canopies.*

[Parameter Definition](#)      [Units Conversion Chart](#)

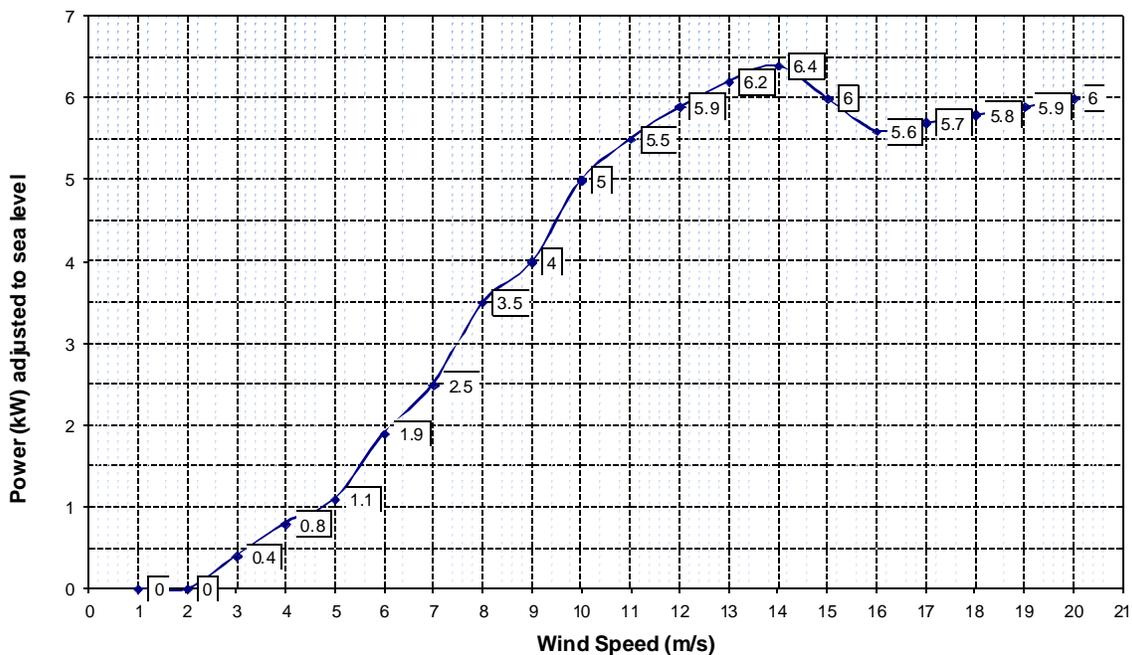
Monthly Averaged Wind Speed For Several Vegetation And Surface Types (m/s)  
Height 10 meters

Lat -11.41 Lon -77.33	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
35-m broadleaf-evergreen trees (70% coverage)	1.86	1.80	1.76	1.88	2.17	2.59	2.57	2.50	2.40	2.13	2.04	1.98	2.14
20-m broadleaf-deciduous trees (75% coverage)	2.30	2.19	2.10	2.21	2.47	2.80	2.70	2.71	2.73	2.50	2.44	2.41	2.46
20-m broadleaf and needleleaf trees (75% coverage)	1.75	1.80	1.87	2.07	2.47	2.99	2.97	2.76	2.56	2.17	2.01	1.89	2.28
17-m needleleaf-evergreen trees (75% coverage)	1.99	2.05	2.10	2.32	2.64	3.00	3.02	2.94	2.82	2.46	2.32	2.19	2.50
14-m needleleaf-deciduous trees (50% coverage)	2.05	2.05	2.06	2.28	2.64	3.19	3.17	2.89	2.60	2.24	2.14	2.12	2.46
Savanna 18-m broadleaf trees (30%) & groundcover	2.05	1.99	1.93	2.07	2.39	2.85	2.83	2.76	2.65	2.35	2.25	2.19	2.36
0.5-m perennial groundcover (100%)	2.57	2.49	2.42	2.60	3.00	3.57	3.55	3.45	3.32	2.94	2.82	2.74	2.96
0.5-m broadleaf shrubs (variable %) & groundcover	2.57	2.49	2.42	2.60	3.00	3.57	3.55	3.45	3.32	2.94	2.82	2.74	2.96
0.5-m broadleaf shrubs (10%) with bare soil	2.57	2.49	2.42	2.60	3.00	3.57	3.55	3.45	3.32	2.94	2.82	2.74	2.96
Tundra 0.5-m trees/shrubs (variable %) & groundcover	2.57	2.49	2.42	2.60	3.00	3.57	3.55	3.45	3.32	2.94	2.82	2.74	2.96
Rough bare soil	2.79	2.70	2.63	2.82	3.25	3.87	3.85	3.74	3.60	3.19	3.05	2.97	3.21
Crop: 20-m broadleaf-deciduous trees (10%) & wheat	2.53	2.37	2.58	2.28	2.64	3.14	3.12	3.04	2.92	2.67	2.64	2.65	2.72
Rough glacial snow/ice	2.26	2.26	2.31	2.56	2.95	3.51	3.49	3.40	3.16	2.67	2.52	2.41	2.79
Smooth sea ice	2.97	3.02	3.09	3.47	4.01	4.77	4.74	4.40	4.02	3.35	3.21	3.12	3.68
Open water	3.38	3.27	3.19	3.42	3.95	4.69	4.67	4.54	4.36	3.87	3.71	3.60	3.89
"Airport": flat rough grass	3.12	3.02	2.94	3.15	3.64	4.33	4.31	4.19	4.02	3.57	3.42	3.33	3.59

[Parameter Definition](#)

## ANEXO 8 - CURVA DE POTENCIA DEL AEROGENERADOR BORNAYAJUSTADO A NIVEL DEL

**Bornay 6000-48 Power Curve (Sea Level)**



**ANEXO 9 - HOJA DE CÁLCULO DEL  
AEROGENERADOR**

**WindCad Turbine Performance Model**

**Bornay 6000, Carga de Baterías - Sistema Aislado**

Prepared For: **HUGO ROJAS ESPINOZA**  
 Site Location: **VESIQUE - Referencial**  
 Data Source: **NASA - EOS**  
 Date: **16/11/2012**

**6kW**

<b>Inputs:</b>
Velocidad Promedio (m/s) = 4.74
Weibull K = 2.00
Altitud del Sitio (m) = 0
Coef. De Rugosidad = 0.11
Altura anemometro (m) = 10.0
Altura de la Torre(m) = 15.0
Factor de Turbulencia= -10.0%

<b>Results:</b>
Veloc. Prom. Viento en Eje (m/s) = 4.96
Factor Densidad Aire = 0%
Potencia Prom. Producida (kW) = 1.64
<b>Energía Diaria Producida (kWh) = 39.4</b>
Energía Anual Producida(kWh) = 14,378
Energía Mensual Prod. = 1,198
Porcentaje Tiempo Operación = 81.9%

**Weibull Performance Calculations**

Velocidad Viento - Bin (m/s)	Potencia (kW)	Probabilidad Viento (f)	Neto kW @ V
1	0.00	6.24%	0.000
2	0.00	11.34%	0.000
3	0.44	14.47%	0.064
4	0.88	15.40%	0.136
5	1.21	14.40%	0.174
6	2.09	12.12%	0.253
7	2.75	9.30%	0.256
8	3.85	6.55%	0.252
9	4.40	4.26%	0.187
10	5.50	2.56%	0.141
11	6.05	1.43%	0.087
12	6.49	0.74%	0.048
13	6.82	0.36%	0.025
14	7.04	0.16%	0.011
15	6.60	0.07%	0.005
16	6.16	0.03%	0.002
17	6.27	0.01%	0.001
18	6.38	0.00%	0.000
19	6.49	0.00%	0.000
20	6.60	0.00%	0.000
<b>Totals:</b>		<b>99.46%</b>	<b>1.641</b>

**Cálculos Weibull :**  
 La Probabilidad de la velocidad del viento es calculada como una curva de Weibull definida por la velocidad media del viento y un factor de forma, K. Para facilitar la integración a nivel de intervalo, el rango de la velocidad del viento se divide en "intervalos" de 1 m/ s de ancho de columna (1). Para cada intervalo de velocidad del viento, la potencia instantánea del aerogenerador (W, Columna 2)) se multiplica por la probabilidad de Weibull velocidad del viento (f, columna 3). Este producto cruz (Net W, columna 4) es la contribución a la producción media de potencia de la turbina aportados por la velocidad del viento en ese intervalo. La suma de estas contribuciones es la potencia media de salida de la turbina, de manera continua, 24 horas, base. Los mejores resultados se obtienen con velocidades medias anuales o mensuales de viento. El uso de velocidades medias diarias o por horas, no se recomienda.

## ANEXO 10 - HOJA TECNICA DEL AEROGENERADOR

### Características técnicas

Número de hélices	3
Diámetro	4 mts
Material	Fibra de vidrio/carbono
Dirección de rotación	En sentido contrario a las agujas del reloj
Sistema de control	1. Regulador electrónico 2. Pasivo por inclinación

### Características eléctricas

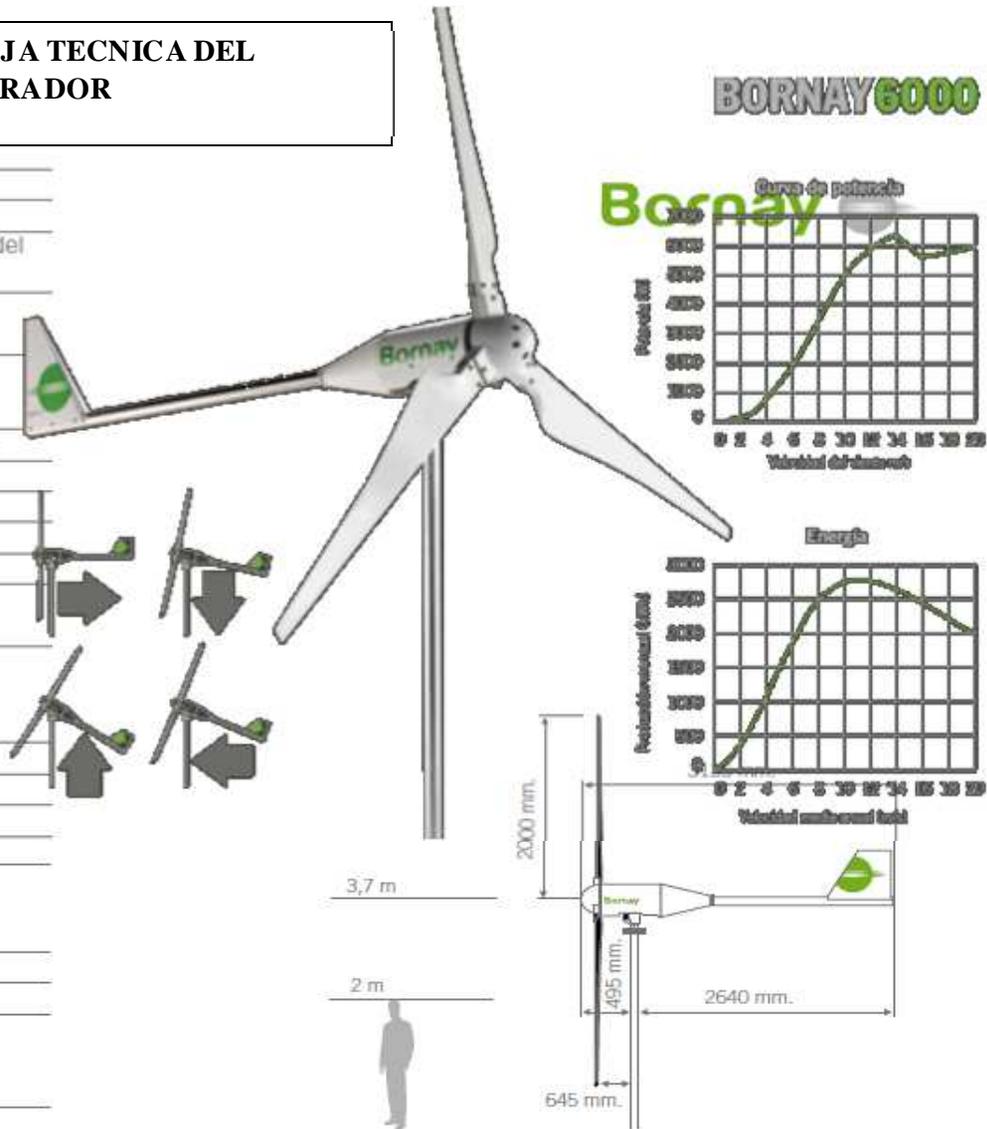
Alternador	Trifásico de imanes permanentes
Imanes	Neodimio
Potencia nominal	6000 w
Voltaje	48, 120 v
RPM	@ 600
Regulador	48 v 150 Amp 120v. Conexión red

### Velocidad del viento

Para arranque	3,5 m/s
Para potencia nominal	12 m/s
Para frenado automático	14 m/s
Máxima velocidad del viento	60 m/s

### Características físicas

Peso aerogenerador	107 kg
Peso regulador	18 kg
Embalaje	120 x 80 x 80 cm - 149 kg
Dimensiones - peso	260 x 40 x 15 cm - 22 kg
Total	0,91 m <sup>3</sup> - 171 Kgr
Garantía	3 años



## ANEXO 11 - HOJA DE DIMENSIONADO HIBRIDO

HOJA DE CALCULO ESTACION VESIQUE - CONTROL MPPT											
<b>SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO TELECOMUNICACIONES</b>						<b>2 días Autonom.</b>					
Localidad : <b>CHIMBOTE (PER5A- 54)</b>						Sur 09°12'44.3" Oeste 78°29'00.2"					
Voltaje del Sistema :		48 Voltios		27.1		Amps x 24		Hrs			
Consumo total =		31,200.00 Wh/día		1,300.00		Watts					
Consumo FV =		31,200 Wh/día		27.08		Amps					
<b>SISTEMA SOLAR:</b>			100 %		Cargas:		Watts		hrs/día	Wh / día	
<b>Cargas</b>		<b>Consumo (w)</b>		<b>Hrs/día</b>		CONSUMOS		1300.00		24.00	31200.00
Consumos		1300.00		24.00							
Cons.Prom		650.00 Wh/DIA									
Corr.de carga		27.08 Amp.									
Horas de sol promedio		0.00									
						TOTAL Ah/día				31200.00	
						CorrProm				2,600.000	
<b>SISTEMA SELECCIONADO:</b>						Watts Totales: <b>1300.00 W</b>					
<b>PANELES</b>						<b>BATERIAS</b>					
Angulo de inclinación		15 NORTE				<b>Autonomía especificada (días)</b> <span style="float: right;">2</span>					
Cantidad de paneles						<b>para el consumo total</b>					
Serie		3				<b>Capacidad mínima (AH) @ +25°C</b> <span style="float: right;">1625</span>					
Paralelo		5				Baterías seleccionadas <b>EXIDE</b>					
<b>Total</b>		<b>15</b>				Modelo <b>GEL SOLAR</b> <span style="float: right;">908</span>					
Corriente a potencia máx.		7.44				Volts <span style="float: right;">2</span>					
<b>SW 215 Wp</b>		215				Ah <span style="float: right;">908</span>					
Potencia total		3225				<b>Auton.result.</b> <b>días</b> <span style="float: right;">2.2</span>					
Corriente lado solar		37.2				Cantidad de baterías					
<b>AEROGENERADOR</b>						Serie 24 u					
Potencia Watts		6000				Paralelo 2 strings					
						<b>Total 48</b>					
PERFORMANCE DEL SISTEMA											
Mes	Factor por Inclinación	Radiación Solar (kWh/m <sup>2</sup> )	Radiación Solar Correc. (kWh/m <sup>2</sup> )	Prod. FV (Wh/día) 72.9%	Velocidad Viento (m/s)	Prod. Wind (Wh/día) 92.0%	Consumido (Wh/día)	Fcobertura			
ENERO	0.923	5.06	4.67	10,980.18	4.00	30,667	31,200	133.5%			
FEBRERO	0.963	4.33	4.17	9,803.28	3.96	30,360	31,200	128.7%			
MARZO	0.993	5.17	5.13	12,069.72	3.88	29,747	31,200	134.0%			
ABRIL	1.045	4.94	5.16	12,136.70	4.26	32,660	31,200	143.6%			
MAYO	1.048	4.75	4.98	11,703.40	4.78	36,647	31,200	155.0%			
JUNIO	1.123	4.00	4.49	10,560.80	5.75	52,900	31,200	203.4%			
JULIO	1.113	4.33	4.82	11,330.27	5.63	51,796	31,200	202.3%			
AGOSTO	1.068	4.50	4.81	11,299.03	5.54	50,968	31,200	199.6%			
SEPTIEMBRE	1.015	4.97	5.04	11,859.86	5.44	50,048	31,200	198.4%			
OCTUBRE	0.963	5.72	5.51	12,950.29	4.74	43,608	31,200	181.3%			
NOVIEMBRE	0.923	5.83	5.38	12,651.08	4.58	42,136	31,200	175.6%			
DICIEMBRE	0.913	5.83	5.32	12,514.01	4.30	39,560	31,200	166.9%			
<b>PROMEDIO</b>			<b>4.96</b>	<b>11,654.89</b>	<b>4.74</b>	<b>40,924.67</b>					

**ANEXO 12 - PRESUPUESTO DEL PROYECTO**

<b>PRESUPUESTO</b>				
<b>(Suministro e Instalación del Trial Eólico)</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UND</b>	<b>Qty</b>	<b>Precio Parcial</b>
<b>A</b>	<b>Equipamiento</b>			
A1	Aerogenerador Bomay 6kW@48VDC	Set	1	\$ 12,500.00
A2	Regulador Eólico 150Amp@48VDC	Set	1	\$ 4,800.00
A3	Tarjeta Relay Driver c/relés- Alamas Aero	Set	1	\$ 200.00
A4	Controlador de descarga TS-60	Set	1	\$ 300.00
A5	Tarjeta Relay Driver c/relés- Alamas Control	Set	1	\$ 200.00
<b>B</b>	<b>Torre</b>			
B1	Torre triangular auto-soportada de 12 mts, incluye mástil de 3mts, pernería de montaje, escalerilla p/acceso al aero y trabajos preventivos.	Set	1	\$ 4,750.00
<b>C</b>	<b>Materiales y Accesorios</b>			
C1	Panel de distribución (ITMS - Batt)	Set	1	\$ 280.00
C2	Mini-shelter p/controlares y llaves	Set	1	\$ 1,950.00
C3	Accesorios de instalación(Cables, tubos PVC, etc)	Set	1	\$ 400.00
C4	Caja de Paralelado de Baterías	Set	1	\$ 380.00
<b>D</b>	<b>Mano de Obra, Transporte e Instalación</b>			
C4	Montaje de Torre, incluye cimentación.	Gbl	1	\$ 3,750.00
C5	Instalación Minishelter	Gbl	1	\$ 320.00
C6	Acarreo, T ransporte de materiales y Equipos	Gbl	1	\$ 800.00
			<b>Sub-total US \$</b>	<b>\$ 30,630.00</b>
			<b>IGV(18%) US \$</b>	<b>\$ 5,513.40</b>
			<b>Total US \$</b>	<b>\$ 36,143.40</b>