



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Análisis y Propuesta de Mejora de Uso de Energía en Estación

Científica Ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado”

PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Otto Estuardo Montenegro Aquino

Guayaquil – Ecuador

Año: 2015

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento infinito para mis padres Otto y Gloria por el apoyo que me brindaron siempre. A mis hermanos Gloria y Álvaro, a mi tía Brenda por ser como mi segunda madre, a mi familia por siempre estar a mi lado.

A la ESPOL y FIMCP por la formación académica, a los profesores por brindarnos su experiencia, a mis compañeros y amigos.

Al Dr. Guillermo Soriano y al CERA por la oportunidad brindada.

Y sobre todo un agradecimiento a Dios.

DEDICATORIA

A Dios por guiar nuestras acciones.

A mis padres Otto y Gloria, mis hermanos
Gloria y Álvaro por los consejos y el
empuje.

A toda mi familia y amigos

TRIBUNAL DE SUSTENTACION

Dr. Freddy Jervis C.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Dr. Guillermo Soriano I.
DIRECTOR DE TFG

Ing. Francisco Andrade S.
VOCAL PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este Trabajo Final de Graduación, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Otto Estuardo Montenegro Aquino

RESUMEN

El presente trabajo presenta un análisis del consumo de energía de la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, adicionalmente se propone un sistema de energía renovable para dotar de energía a la mencionada Estación durante los meses del año en los que se encuentre ocupada.

En el presente proyecto, en la etapa de análisis energético se aplicó la norma ASHRAE 90.1 *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*; partiendo del empleo del software '*Meteonorm*' para la obtención de un archivo climático, mientras que las sugerencias para optimizar el consumo de energía las generó el software *Climate Consultant* para la zona climática en la que se encuentra la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado. El archivo climático se empleó en el análisis del consumo energético mediante el software *Quick Energy Simulation Tool* (eQuest) para lo cual se tomó en consideración parámetros como materiales de aislamiento tanto en paredes, piso y techo, tiempo de uso de la estación ya que no se la emplea el año completo, equipos presentes en las diferentes unidades como laboratorios, oficinas.

Luego la propuesta de mejora sugeridas por el software *Climate Consultant* fueron analizadas previo a su aplicación, cuya sugerencia principal fue el uso

de vestíbulos en las puertas de acceso para obtener un consumo óptimo de energía, es decir, se realizó nuevamente la simulación para determinar el consumo energético de la Estación ya con las mejoras propuestas por el software, siempre basándose en la norma ASHRAE 90.1.

Para la propuesta de aprovechamiento de energía renovable, previamente se obtuvo información por medio del software *Meteonorm* Copyright © 2012 Meteotest Genossenschaft tanto de la incidencia de la energía solar como de la presencia de vientos que podrían ser aprovechados para obtener energía eólica. Debido a que una de las propuestas de este proyecto consiste en el uso de energías renovables para reemplazar de los generadores a diésel que posee la Estación para abastecerse de energía eléctrica durante el tiempo en que esté en funcionamiento.

Se pudo determinar por medio de la idealización del modelo, que la potencia requerida para abastecer a la Estación Científica en la Antártida es de 61 KW, con un consumo energético pico mensual de 30000 Kwh aproximadamente. Al calcular el potencial eólico y compararlo con los parámetros de energía solar mostrados por el software *Meteonorm* Copyright © 2012 Meteotest Genossenschaft se pudo conocer que podría ser más viable el uso de un

sistema híbrido o únicamente accionado por energía eólica. Por medio del software *Homer* se dimensionó un sistema híbrido y posteriormente un sistema eólico, ambos respaldados por un generador a diésel; finalmente se determinó que el sistema más viable era el sistema eólico, debido a un menor costo además de reducir las emisiones a unos cuantos kg/año.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| RESUMEN..... | ii |
| ÍNDICE GENERAL | v |
| ABREVIATURAS..... | vii |
| SIMBOLOGÍA | viii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | ix |
| ÍNDICE DE TABLAS | xi |
| ÍNDICE DE PLANOS | xiv |
| INTRODUCCIÓN..... | 2 |
| CAPÍTULO 1..... | 4 |
| 1 GENERALIDADES | 4 |
| 1.1 Desempeño de la Estación Científica..... | 6 |
| 1.2 Descripción de Uso | 13 |
| CAPÍTULO 2..... | 15 |
| 2 SIMULACIÓN ENERGÉTICA | 15 |
| 2.1 Generalidades | 15 |
| 2.2 Modelo | 18 |
| 2.3 Resultados | 32 |

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 3..... | 37 |
| 3 DESCRIPCION DE RECURSOS RENOVABLES | 37 |
| 3.1 Energía solar disponible | 40 |
| 3.2 Energía eólica disponible | 47 |
| CAPÍTULO 4..... | 54 |
| 4 PROPUESTA DE MEJORA..... | 54 |
| 4.1 Propuesta de mejora en estación científica..... | 55 |
| 4.2 Propuesta de aprovechamiento de recursos renovables | 74 |
| 4.3 Presupuesto | 89 |
| 4.4 Cronograma | 94 |
| CAPÍTULO 5..... | 95 |
| 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 95 |
| 5.1 Conclusiones..... | 95 |
| 5.2 Recomendaciones..... | 97 |

APENDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

| | |
|---------------|--|
| ASHRAE | American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. |
| ECPVM | Estación Científica Pedro Vicente Maldonado |
| CERA | Centro de Energías Renovables y Alternativas |
| ESPOL | Escuela Superior Politécnica del Litoral |
| CDD | Grado Diario de Enfriamiento |
| HDD | Grado Diario de Calefacción |
| HVAC | Calefacción Ventilación y Aire Acondicionado |
| TMY | Año Meteorológico Típico |
| RH | Humedad relativa |
| FF | Velocidad del viento |
| SLP | Presión atmosférica a nivel del mar (mbar) |
| PV | Fotovoltaico |
| EPP | Equipo de Protección Personal |

SIMBOLOGÍA

| | |
|-----------------------|---|
| ft | Pies |
| ft² | Pies al cuadrado |
| ft³ | Pies al cubo |
| °F | Grados Fahrenheit |
| T_a | Temperatura del aire |
| T_d | Temperatura de punto de rocío |
| G_h | Irradiancia media de la radiación global horizontal |
| D_h | Irradiancia media de la radiación difusa horizontal |
| T | Temperatura media (°C) |
| T_M | Temperatura máxima (°C) |
| T_m | Temperatura mínima (°C) |
| H | Humedad relativa media (%) |
| V | Velocidad media del viento (Km/h) |
| V_M | Velocidad máxima sostenida del viento (Km/h) |
| V | Velocidad media del viento (m/s) |
| V_m | Velocidad máxima sostenida del viento (m/s) |
| Btu | British Thermal Unit (Unidad Térmica Británica) |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 Estación Científica Pedro Vicente Maldonado [2] | 5 |
| Figura 2.1 Organigrama Del Modelo Estación Científica | 19 |
| Figura 2.2 Carta Psicométrica Para Estación Científica, Generada Por Climate Consultant..... | 21 |
| Figura 2.3 Parámetros Climáticos Estación Científica Pedro Vicente Maldonado | 22 |
| Figura 2.4 Demanda Eléctrica (Kw) Ecpvm, Generado Por Equest Copyright ©1998-2006 James J. Hirsch..... | 34 |
| Figura 2.5 Consumo Eléctrico Estación Científica, Generado Por Equest Copyright ©1998-2006 James J. Hirsch | 36 |
| Figura 3.3 Gráfico De Radiación En Ecpvm, Generado Por Meteonorm Copyright © 2012 Meteotest Genossenschaft | 41 |
| Figura 3.5 Gráfico De Duración Solar, Generado Por Meteonorm Copyright © 2012 Meteotest Genossenschaft..... | 43 |
| Figura 3.6 Gráfico De Radiación Global Diaria En Ecpvm, Generado Por Meteonorm Copyright © 2012 Meteotest Genossenschaft | 44 |
| Figura 3.7 Gráfico De Temperatura Diaria En Ecpvm, Generado Por Meteonorm Copyright © 2012 Meteotest Genossenschaft | 45 |
| Figura 4.1 Línea Base De Demanda Eléctrica Ecpvm, Generado Por Equest Copyright ©1998-2006 James J. Hirsch, | 67 |
| Figura 4.2 Línea Base De Consumo Eléctrico Ecpvm, Generado Por Equest Copyright ©1998-2006 James J. Hirsch, | 68 |
| Figura 4.3 Variación En Valores De Consumo Eléctrico En Ecpvm | 70 |
| Figura 4.4 Variación En Valores De Consumo Eléctrico Ecpvm Por Uso De Vestibulos | 71 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.5 Variacion En Consumo Eléctrico Por Calefacción Ecpvm Por Uso De Vestibulos..... | 73 |
| Figura 4.6 Variacion En Demanda Eléctrica Por Calefacción En Ecpvm Por Uso De Vestibulos | 74 |
| Figura 4.7 Esquema Del Sistema Fotovoltaico, Generada Por Software Pvsyst Copyright © University Of Geneva | 78 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Zonas Climáticas Internacionales [3] | 6 |
| Tabla 2 Distribución Modulo Laboratorio, Generada Por Equest Copyright ©1998-2006 James J. Hirsch..... | 8 |
| Tabla 3 Distribución Modulo Vivienda, Generada Por Equest Copyright ©1998-2006 James J. Hirsch,..... | 10 |
| Tabla 4 Materiales Para Aislamiento De Paredes De Modulo Vivienda; Generada Por Equest Copyright ©1998-2006 James J. Hirsch[5]. | 24 |
| Tabla 5 Materiales Para Aislamiento De Piso De Modulo Vivienda, Generada Por Equest Copyright ©1998-2006 James J. Hirsch, [5]..... | 24 |
| Tabla 6 Materiales Para Aislamiento De Paredes De Modulo Laboratorio, Generada Por Equest Copyright ©1998-2006 James J. Hirsch[5]. | 25 |
| Tabla 7 Materiales Para Aislamiento De Piso De Modulo Laboratorio, Generada Por Equest Copyright ©1998-2006 James J. Hirsch[5]. | 26 |
| Tabla 8 Tipos De Carga En Módulos De Ecpvm | 28 |
| Tabla 9 Valores Infiltración En Modulo Vivienda..... | 31 |
| Tabla 10 Valores Infiltración En Modulo Laboratorio | 30 |
| Tabla 11 Demanda Eléctrica Ecpvm, Generada Por Equest Copyright ©1998 2006 James J. Hirsch, | 33 |
| Tabla 12 Consumo Eléctrico Ecpvm, Generada Por Equest Copyright ©1998 2006 James J. Hirsch | 35 |
| Tabla 13 Tabla De Datos, Generada Por Meteororm Copyright © 2012 Meteotest Genossenschaft | 46 |
| Tabla 14 Datos Meteorológicos Promedios Por Mes Para La Década 1994 2003 En Ecpvm [11]..... | 48 |
| Tabla 15 Determinación Del Potencial Eólico En La Ecpvm Según Desviacion Estandar Y Velocidad Media Del Viento | 52 |
| Tabla 16 Determinación Del Potencial Eólico En La Ecpvm Segun La Velocidad Media Del Viento Y El Tipo De Varianza | 53 |
| Tabla 17 Valores De Infiltración Modulo Vivienda De La Ecpvm | 64 |
| Tabla 18 Línea Base De Demanda Eléctrica De Ecpvm, Generada Por | |

| | |
|---|----|
| Equest Copyright ©1998-2006 James J. Hirsch, | 65 |
| Tabla 19 Línea Base De Consumo Eléctrico De Ecpvm, Generada Por Equest Copyright ©1998-2006 James J. Hirsch | 66 |
| Tabla 20 Variación De Consumo Y Demanda Energética Por Uso De Vestíbulo En La Ecpvm..... | 69 |
| Tabla 21 Variación En Consumo Y Demanda Energética Por Calefacción En ECPVM Por Uso De Vestibulos | 72 |
| Tabla 22 Energía Eolica Y Solar Fotovoltaica Disponible En Ecpvm..... | 76 |
| Tabla 23 Principales Componentes De Sistema Fotovoltaico Para ECPVM Generada Por Pvsyst Copyright © University Of Geneva | 79 |
| Tabla 24 Estructura Del Sistema Hibrido, Generada Por Homer Copyright ©2014, Homer Energy, Llc,..... | 81 |
| Tabla 25 Especificaciones Del Sistema Hibrido, Generada Por Homer Pro Copyright ©2014, Homer Energy, Llc, | 82 |
| Tabla 26 Especificaciones Generador De Respaldo Sistema Hibrido, Generada Por Homer Pro Copyright ©2014, Homer Energy, Llc, | 83 |
| Tabla 27 Estructura Del Sistema Eólico, Generada Por Homer | 84 |
| Tabla 28 Especificaciones Sistema Eólico, Generada Por Homer Pro Copyright ©2014, Homer Energy, Llc, | 84 |
| Tabla 29 Especificaciones Generador De Respaldo De Sistema Eolico, Generada Por Homer Pro Copyright ©2014, Homer Energy, Llc, | 85 |
| Tabla 30 Sistema De Baterías, Generada Por Homer Pro Copyright ©2014, Homer Energy, Llc, | 86 |
| Tabla 31 Conversor E Inversor, Generada Por Homer Pro Copyright ©2014, Homer Energy, Llc, | 86 |
| Tabla 32 Estructura Del Sistema A Diesel, Generada Por Homer Copyright ©2014, Homer Energy, Llc,..... | 87 |
| Tabla 33 Especificaciones Generador, Generada Por Homer Copyright ©2014, Homer Energy, Llc,..... | 88 |
| Tabla 34 Emisiones Al Ambiente Por Uso De Diesel En Generador Para ECPVM, Generada Por Homer Pro Copyright ©2014, Homer Energy, LLC,..... | 89 |

| | |
|--|----|
| Tabla 35 Sistemas De Energías Renovables Para Cubrir Demanda Electrica En ECPVM..... | 90 |
| Tabla 36 Costos Netos Del Sistema Eolico Para Ecpvm, Generada Por Homer Pro Copyright ©2014, Homer Energy, Llc, | 91 |
| Tabla 37 Costos Por Mano De Obra Y Para Instalacion Y Montaje De Sistema Eolico | 92 |
| Tabla 38 Costos Adicionales Por Instalación Y Montaje De Sistema Eolico | 93 |

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1: Estacion Cientifica Pedro Vicente Maldonado – Modulo Laboratorio

Plano 2 Estacion Cientifica Pedro Vicente Maldonado – Modulo Vivienda

Plano 3 Estacion Cientifica Pedro Vicente Maldonado – Modulo Vivienda

Plano 4 Estación Científica Pedro Vicente Maldonado – Modificaciones

Modulo Laboratorio

Plano 5 Estación Científica Pedro Vicente Maldonado – Modificaciones

Modulo Vivienda

Plano 6 Estación Científica Pedro Vicente Maldonado – Vestíbulo Modulo

Vivienda

INTRODUCCIÓN

En el mundo entero, ha aumentado la preocupación por la conservación del medio ambiente, de ahí surge como prioridad el empleo responsable de la energía así como las emisiones que se vierten a la atmósfera, tratando de disminuir al mínimo el impacto que puede tener la producción de energía eléctrica en lugares de que conllevan cierta dificultad para su acceso, como en nuestro caso la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado ubicada en la Antártida. En muchos casos, se ha empleado moto-generadores con la finalidad de convertir combustibles de origen fósil en energía eléctrica para satisfacer las necesidades que se presenten en este tipo de lugares.

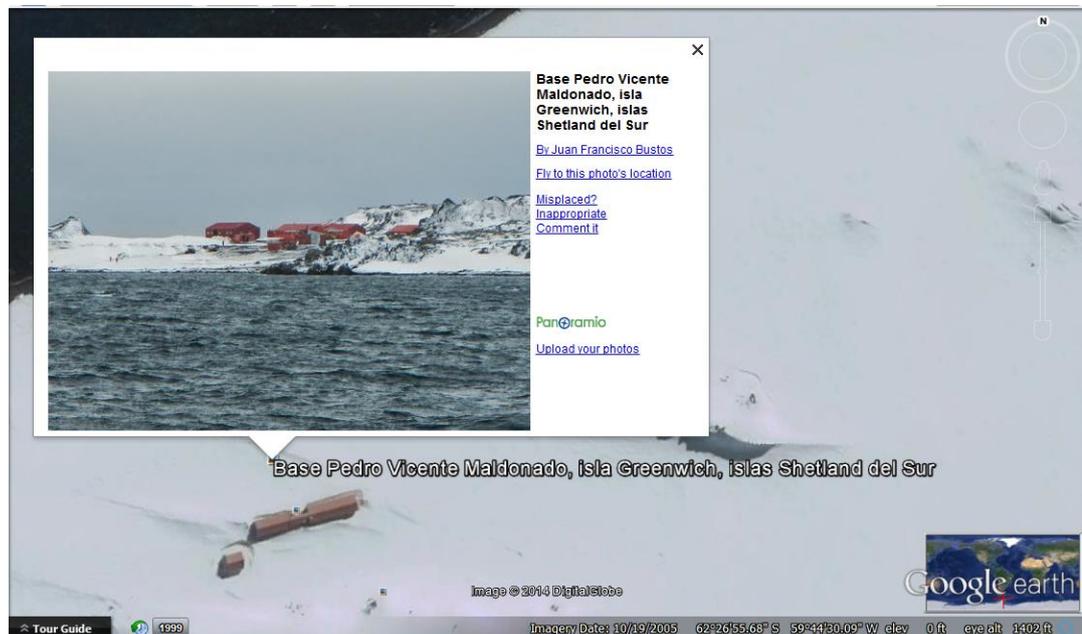
Como parte importante de la necesidad de cuidar el medio ambiente, surge el empleo de energías alternas; las mismas que emplean recursos naturales, que hasta cierto punto se pueden considerar inagotables para la generación de energía eléctrica; como ejemplos puede citar la energía eólica, solar térmica, solar fotovoltaica o biocombustibles. Dependiendo de la disponibilidad de alguno de estos recursos, se dispone a elaborar un método alternativo para la obtención de energía eléctrica, disminuyendo o suprimiendo el consumo de combustibles fósiles.

En el caso de este proyecto, se busca determinar el potencial necesario para cubrir la demanda de energía de la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado a fin de aprovechar los diferentes tipos de energía presentes en la Antártida para intentar suplir esta demanda mediante el uso de energías renovables, ya sea solar fotovoltaica o eólica.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

La Estación Científica del Ecuador Pedro Vicente Maldonado, ubicada en la península Antártica, específicamente en Punta Fort William de la Isla Greenwich, perteneciente a las Islas Shetland del Sur en la Antártida [1], en las coordenadas S62°26'57.12" W59°44'31.2" [2] como ilustra la figura 1.1. Por su ubicación las temperaturas en los alrededores de la Estación Científica oscilan entre -3°C (27°F) y 3°C (37°F) aproximadamente. Por lo que es necesario el uso de materiales aislantes que impidan el intercambio de temperatura del interior de los módulos con el medio ambiente exterior, con la finalidad de mantener condiciones de confort de acuerdo a lo dictado por la norma ASHRAE 90.1



**FIGURA 1.1: ESTACIÓN CIENTÍFICA PEDRO VICENTE
MALDONADO [2]**

Se debe considerar que la Estación Pedro Vicente Maldonado se encuentra en una zona climática con un clima bastante particular, que de acuerdo a la norma ASHRAE 90.1 se puede situarla en una zona climática tipo 7 según la tabla 1, con clima similar al de la región de Alaska de Estados Unidos de América

TABLA 1
ZONAS CLIMÁTICAS INTERNACIONALES [3]

| Numero de zona | Nombre | Criterio Térmico |
|----------------|---|--|
| 1 | Very hot-humidity (1A), Dry (1B) | 9000 < CDD50°F |
| 2 | Hot-Humidity (2A), Dry (2B) | 6300 < CDD50°F ≤ 9000 |
| 3A and 3B | Warm-humidity (3A), Dry (3B) | 4500 < CDD50°F ≤ 6300 |
| 3C | Warm-Marine | CDD50°F ≤ 4500 and HDD65°F ≤ 3600 |
| 4A and 4B | Mixed-Humidity (4A), Dry (4B) | CDD50°F ≤ 4500 and 3600 < HDD65°F ≤ 5400 |
| 4C | Warm-Marine | 3600 < HDD65°F ≤ 5400 |
| 5A, 5B and 5C | Cold-Humidity (5A), Dry (5B), Marine (5C) | 5400 < HDD65°F ≤ 7200 |
| 6A and 6B | Cold-Humidity (6A), Dry (6B) | 7200 < HDD65°F ≤ 9000 |
| 7 | Very Cold | 9000 < HDD65°F ≤ 12600 |
| 8 | Subartic | 12600 < HDD65°F |

1.1. Desempeño de la Estación Científica

La Estación Científica Pedro Vicente Maldonado tiene 613 m² (6590 ft²) [1] distribuidos en cuatro módulos adecuados para su funcionamiento temporal, dentro de los cuales se desempeñan gran parte de las actividades de investigación que se realizan durante la permanencia del equipo humano:

- I. Módulo 1: dedicado a la habitabilidad.
- II. Módulo 2: servicio de cocina, sala, comedor, radio y 4 camarotes adicionales.
- III. Módulo 3: área para generadores y un sector para tratamiento de agua dulce.

IV. Módulo 4: consta de un laboratorio completamente funcional para el análisis de diversos tipos de muestras, enfermería, lavandería, bodega, sala de reuniones y oficina del jefe científico.[1]

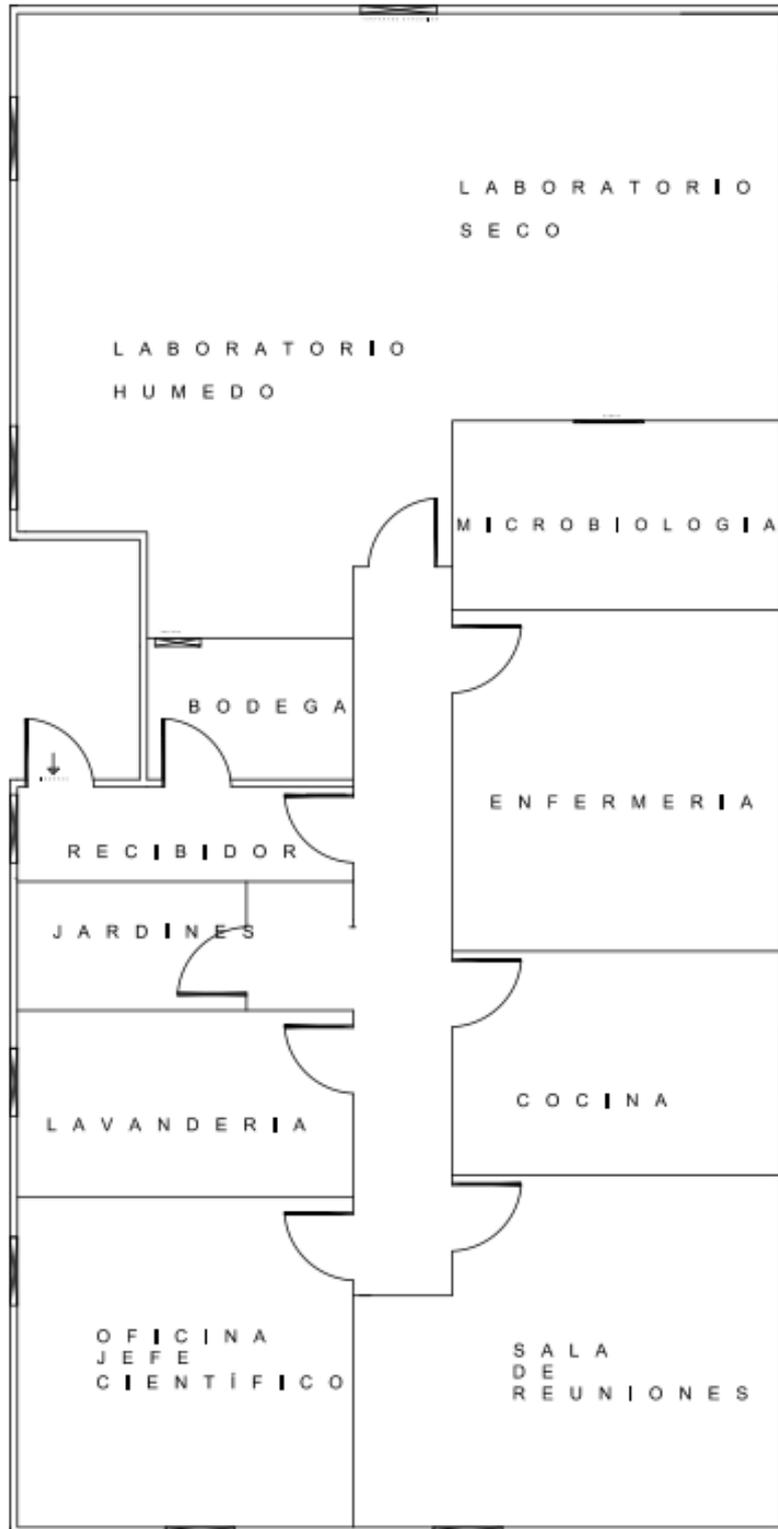
Para este proyecto, se tomará en cuenta dos áreas básicas correspondientes a los módulos en los que se desarrollan diferentes tipos de actividades.

El Módulo Laboratorio como muestra el plano 1, es un módulo con un área aproximada de 200 m² (2160 ft²), el mismo que consta con un área mayoritaria destinada a laboratorio (seco, húmedo y microbiología) dentro del que se realizan la mayor parte de las actividades de investigación, este módulo se encuentra dividido en diferentes áreas, las mismas que se detallarán a continuación en la tabla 2.

TABLA 2
DISTRIBUCIÓN MODULO LABORATORIO, GENERADA
POR EQUEST COPYRIGHT ©1998-2006 JAMES J.
HIRSCH

| Tipo de Área o Actividad | Porcentaje (%) | Área (ft²) |
|-------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Laboratorio | 40.0% | 864.52 |
| Sala reuniones | 12.0% | 259.36 |
| Corredor | 10.0% | 216.13 |
| Oficinas | 10.0% | 216.13 |
| Enfermería | 10.0% | 216.13 |
| Cocina | 6.5% | 140.48 |
| Lavandería | 5.5% | 118.87 |
| Bodega | 3.0% | 64.84 |
| Vivero | 3.0% | 64.84 |

PLANO 1: ESTACION CIENTIFICA PEDRO VICENTE MALDONADO – MODULO

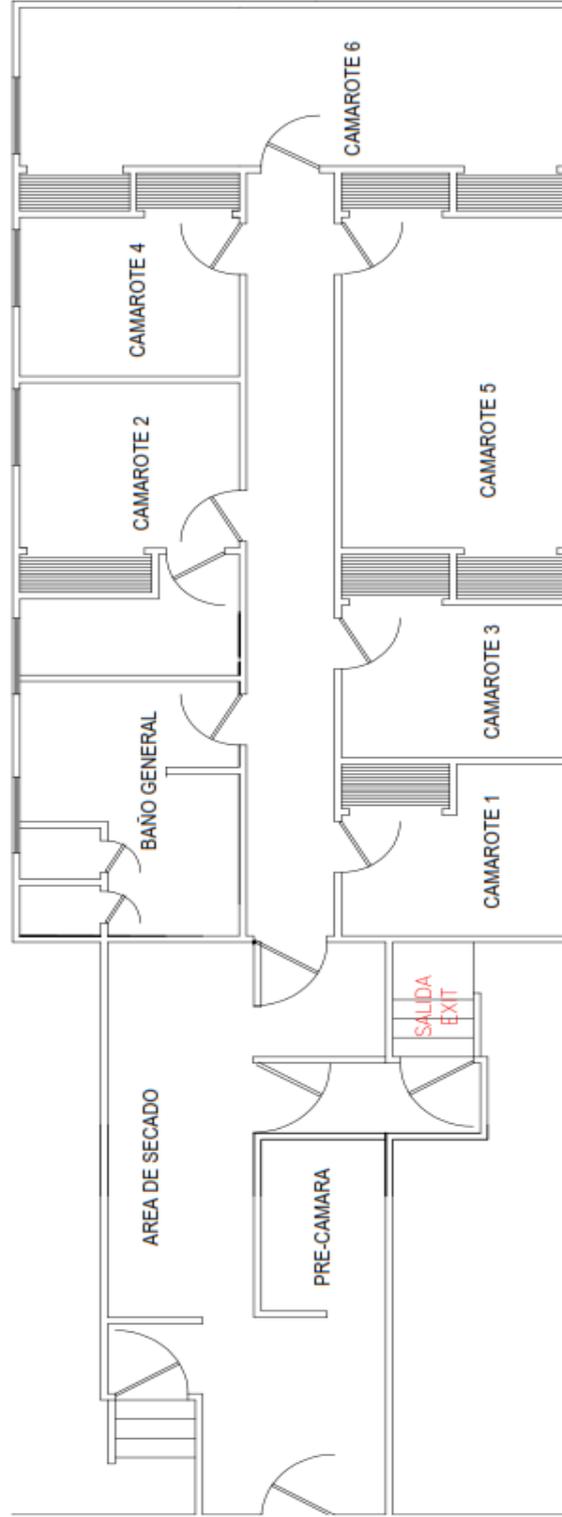


El segundo módulo, al que se llamará Módulo Vivienda, es un módulo con un área aproximada de 323 m² (3480 ft²), distribuidos en tres zonas, dos módulos mixtos, que poseen los camarotes, oficina, etc. Y un túnel que une los dos módulos, ver detalle en planos 2 y 3. Este conjunto de módulos está destinado principalmente a las habitaciones del personal que se encuentra en la Estación Científica durante la temporada en la que se encuentra habitada. Las diferentes zonas de este módulo se muestran en la tabla 3 con su respectiva área.

TABLA 3
DISTRIBUCIÓN MODULO VIVIENDA, GENERADA POR
EQUEST COPYRIGHT ©1998-2006 JAMES J. HIRSCH,

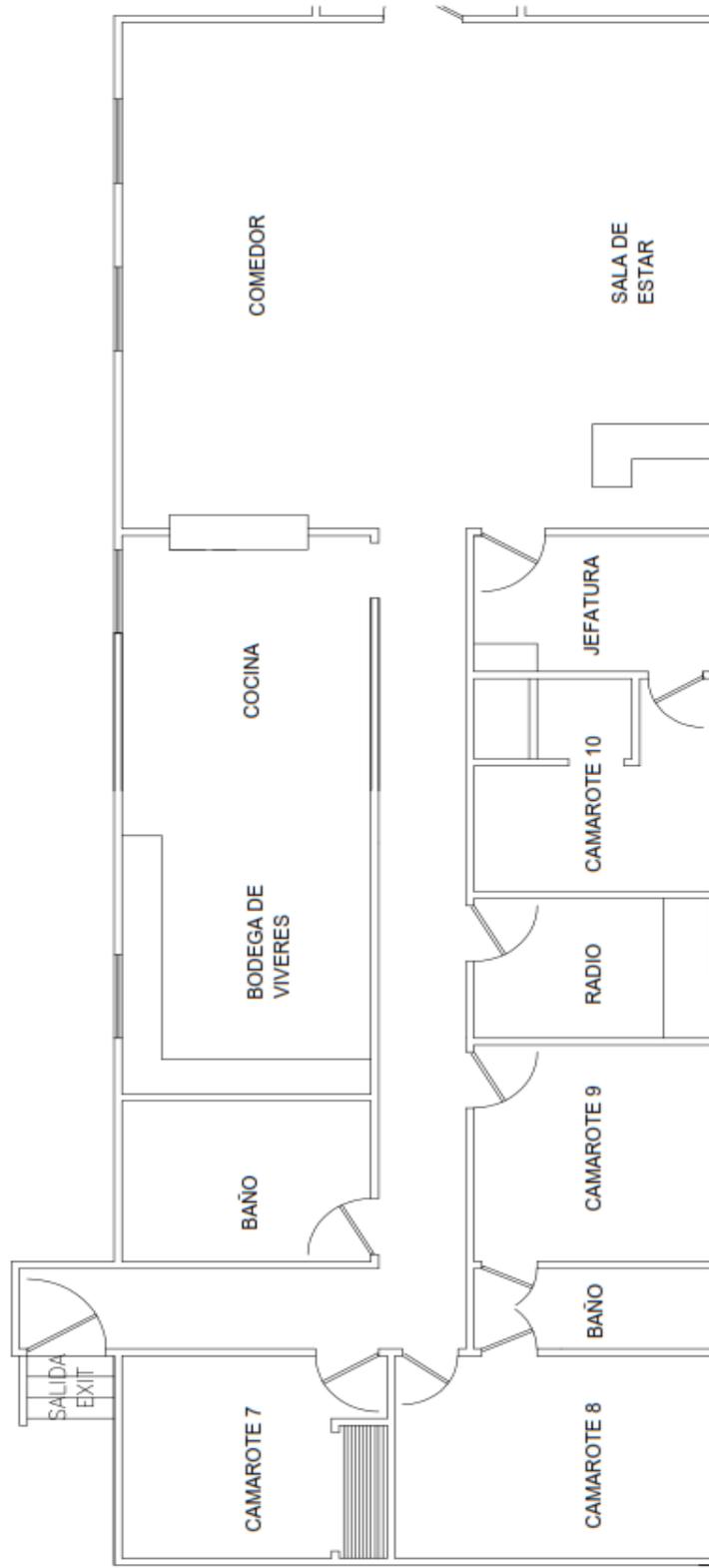
| Tipo de Área o Actividad | Porcentaje (%) | Área (ft²) |
|---------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Camarotes | 39.5 | 1377.2 |
| Corredor | 23.0 | 801.9 |
| Comedor | 17.8 | 620.6 |
| Cocina | 8.1 | 282.4 |
| Baños | 7.8 | 272.0 |
| Cuarto de equipos | 1.9 | 66.2 |
| Oficina | 1.9 | 66.2 |

PLANO 2 ESTACION CIENTIFICA PEDRO VICENTE MALDONADO – MODULO



PLANO 3 ESTACION CIENTIFICA PEDRO VICENTE MALDONADO – MODULO

VIVIENDA



1.2. Descripción de Uso

La Estación Científica Pedro Vicente Maldonado no se encuentra en funcionamiento a lo largo de todo el año, sus principales meses de ocupación son los primeros del año; es decir los meses de enero a mayo aproximadamente, por lo que el modelo se aplicará a estos meses en los que la Estación se encuentra en uso. Para el desarrollo de este proyecto se considerará dos temporadas para la Estación Científica; la primera correspondiente a los meses en la que la misma se encuentra ocupada, es decir los meses comprendidos entre enero y mayo. La otra temporada se considerará inhabitada por lo tanto ciertos equipos permanecen encendidos en suspensión para la toma de mediciones y muestras.

Para la temporada de ocupación de la misma, en lo referente al consumo de energía en general, se estableció horarios diferentes para cada uno de los módulos:

- El Módulo Laboratorio consta de dos horarios, un funcionamiento continuo durante el día, por lo tanto se considerará un funcionamiento durante aproximadamente 18 horas, estas horas de funcionamiento se considerarán valores como infiltración, consumo de equipos de oficina entre otros. Las 6 horas restantes para completar el día completo, se considera que el módulo se encuentra

en un estado de suspensión, es decir su gasto energético disminuye para evitar el consumo del combustible que se dispone. Además el laboratorio cuenta con equipos que hasta cierto punto son comunes en un laboratorio de investigación, los mismos que se resumen a continuación:

- i. Estufa
- ii. Mufla
- iii. Incubadora DBO
- iv. Balanza Analítica
- v. Centrifuga
- vi. Bomba de Vacío
- vii. Plato Calentador

Para este proyecto se considerará una carga adicional en el que se pondría un valor estimado promedio representando el consumo energético que requiere la Estación Científica por presencia de estos equipos de laboratorio anteriormente mencionados.

- En comparación, para el modulo vivienda se considerará que tiene un funcionamiento continuo, al menos en lo que respecta al sistema HVAC que permitirá mantener las condiciones de confort dentro del módulo vivienda, de igual manera se tomará en cuenta el uso de diferentes equipos misceláneos en las diferentes áreas así como los valores de infiltración para cada área.

CAPÍTULO 2

2. SIMULACIÓN ENERGÉTICA

2.1. Generalidades

La simulación energética se ha convertido en una fuerte herramienta al momento de optimizar el consumo de energía en una edificación previamente construida de modo que se pueda tener un desempeño más amigable para el medio ambiente.

Un modelo es una descripción del comportamiento de un sistema. Se compone de tres componentes [4]:

- I. Las variables de entrada que actúan en el sistema. por ejemplo, el clima.

- II. Estructura del sistema y propiedades, que proporcionan la descripción física necesaria del sistema; por ejemplo, masa térmica o propiedades mecánicas de los elementos.

- III. Salida, las variables que describen la reacción del sistema a las variables de entrada. El consumo de energía es a menudo una variable de respuesta. [5]

El diseño basado en el modelado del desempeño de las edificaciones se lo puede considerar de dos formas: un diseño base (baseline model), es decir antes de la construcción del edificio en sí, en el proceso de diseño donde se evalúan varias propuestas para seleccionar la más apropiada y por ende que resulte más eficiente a largo plazo; la segunda es para optimizar [5] edificaciones construidas con anterioridad en las que en la etapa del diseño no se tomó en cuenta el gasto energético, ni el tipo de uso que va a tener el edificio.

La selección de un modelo apropiado para cada proyecto, debe ser de principal prioridad debido que debe adaptarse de manera que satisfaga todas las necesidades del proyecto. Se debe tener en cuenta las siguientes condiciones [6]:

- I. Precisión. La precisión en los datos tanto de entrada como de salida, nos permite tomar una decisión apropiada en casos de optimización y diseño [7].
- II. Sensibilidad. Debe ser sensible a los cambios por mínimos que sean.
- III. Versatilidad. Debe permitir el análisis de todas las opciones bajo consideración.
- IV. Velocidad y costo. El tiempo de entre los datos de entrada y salida influye en los costos finales del proyecto.
- V. La reproducibilidad. Se debe tener cuidado de no tener resultados diferentes bajo las mismas condiciones [8].
- VI. Facilidad de uso. Esto afecta tanto a la economía de los análisis (velocidad) y la reproducibilidad de los resultados.[5]

Al tomar en cuenta lo antes mencionado, se podría claramente notar que el presente trabajo es para optimizar el uso de energía en la Estación Científica, considerando que no se pueden realizar mayores cambios a su estructura física externa debido al clima exterior, hasta cierto punto hostil en el que se desenvuelven las actividades; sin embargo fue posible realizar simulaciones con leves modificaciones al interior de los módulos de la mencionada estación con el fin de obtener un uso más apropiado de la energía eléctrica disminuyendo fugas e

infiltraciones de flujo a bajas temperaturas hacia el interior de la misma; las modificaciones se muestran en la figura 2.3. El software a emplear para el inicio del análisis energético de la Estación Científica será eQuest Copyright ©1998-2006 James J. Hirsch, que es un software que reúne ciertas de las características sugeridas por el *2009 ASHRAE Handbook*, entre las que se puede mencionar, facilidad de uso, velocidad, sensibilidad y precisión.

2.2. Modelo

El modelo que seguirá la simulación considerará los siguientes puntos que forman parte de la información referente a la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado la misma que permitirá conocer el consumo energético que presenta la misma durante los meses de operación.



FIGURA 2.1: ORGANIGRAMA DEL MODELO ESTACIÓN CIENTÍFICA

Los datos climáticos y ubicación de la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, proporcionan condiciones de frontera para los componentes que serán combinados en la simulación. De manera ideal se considera que los datos deben ser observados exactamente en el sitio del proyecto, considerando todas las condiciones locales. Estos casos idealizados prácticamente nunca se concretan [9].

En el caso de este proyecto, los datos se obtuvieron mediante el uso del software Meteonorm Copyright © 2012 Meteotest Genossenschaft, que proporciona el formato TMY, que es el formato apropiado para

poder inicial el análisis en el software eQuest Copyright ©1998-2006
James J. Hirsch.

Dentro de las características principales de un archivo de información climática, se puede citar las siguientes:

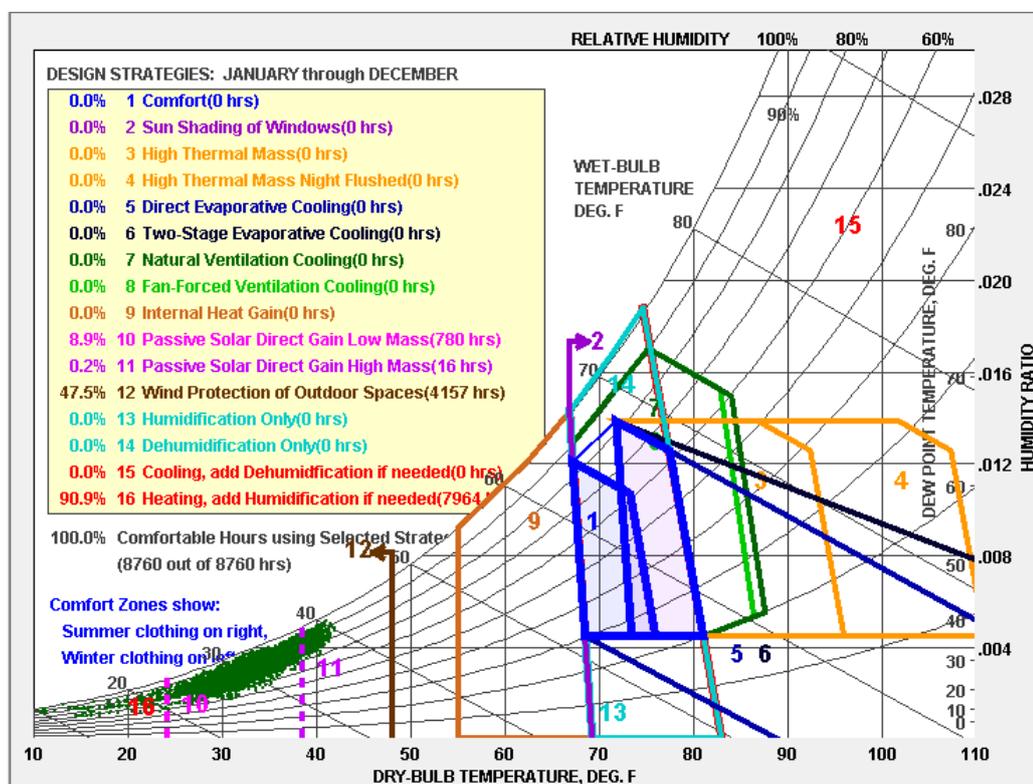
- Temperatura. Tanto la temperatura de bulbo seco como el punto de rocío varían de forma relativamente lenta, con solo limitar el ruido. Variaciones de hora a hora son raramente mayores a unos cuantos grados.
- Radiación Solar. Grandes y rápidos cambios ocurren en cuestión de minutos.
- Viento. La velocidad del viento varía por un factor de dos o más en escalas de tiempo de unos pocos minutos.[9]

Estos datos son un punto de referencia, tal vez el más importante, para tener una clara idea de las condiciones climáticas a las que son sometidos los módulos pertenecientes a la Estación Científica, y en general a las condiciones de viento e radiación solar, que son datos de importancia para lo que será la propuesta que busca establecer este proyecto y se realizará más adelante.

La figura 2.2 muestra la carta psicométrica, donde se muestra la zona de confort de acuerdo a las condiciones presentes.

En la Figura 2.3, se tiene los datos climáticos generados por el software Climate Consultant, que de manera ilustrativa sirven para mostrar las condiciones presentes en la Estación científica.

FIGURA 2.2 CARTA PSICOMÉTRICA PARA ESTACIÓN CIENTÍFICA, GENERADA POR CLIMATE CONSULTANT



El aislamiento térmico en edificios es un factor importante para lograr confort térmico para sus ocupantes. El aislamiento reduce la pérdida o ganancia de calor y puede reducir la demanda energética de calefacción y enfriamiento según sea el caso. En un sentido estricto el aislamiento se refiere a los materiales empleados para disminuir la pérdida de calor, como por ejemplo: celulosa, lana de vidrio, lana de roca, poliestireno, espuma de uretano, vermiculita, perlita, fibra de madera, fibra de planta, planta de paja, fibras de origen animal, cemento, y la tierra o el suelo, pero también puede implicar una variedad de diseños y técnicas para abordar los principales modos de transmisión de calor - materiales de conducción, radiación y convección [10].

Para la sección de estructura externa del edificio se tomará en cuenta los datos mencionados en las tablas 4, 5, 6, 7 donde se mencionan los materiales que han sido empleados para el aislamiento de la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, lo cual será importante para mantener una temperatura de confort en el interior y que por la norma ASHRAE 90.1 debe estar en el rango comprendido entre 70°F y 75°F [3]

Asimismo se consideró el número de puertas y ventanas y su respectiva orientación. Como material de las puertas se seleccionó acero, mientras que para las ventanas se eligió vidrio de dos caras con marco de aluminio.

TABLA 4
MATERIALES PARA AISLAMIENTO DE PAREDES DE
MODULO VIVIENDA, GENERADA POR EQUEST
COPYRIGHT ©1998-2006 JAMES J. HIRSCH, [5]

| Material | Espesor (ft) | Conductividad (Btu/h-ft-°F) | Densidad (lb/ft ³) | Calef. (Btu/ft-°F) |
|--|--------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------|
| Acero | 0.005 | 26 | 480 | 0.100 |
| Poliuretano | 0.083 | 0.0133 | 1.50 | 0.380 |
| Plywood | 0.021 | 0.0667 | 34 | 0.290 |
| RESISTENCIA TOTAL : 7.427 h-ft²-°F/Btu | | | | |

TABLA 5
MATERIALES PARA AISLAMIENTO DE PISO DE
MODULO VIVIENDA, GENERADA POR EQUEST
COPYRIGHT ©1998-2006 JAMES J. HIRSCH, [5]

| Material | Resistencia (h-ft ² -°F/Btu) | Espesor (ft) | Conduct. (Btu/h-ft-°F) | Densidad (lb/ft ³) | Calef. (Btu/ft-°F) |
|--|---|--------------|------------------------|--------------------------------|--------------------|
| Acero | | 0.016 | 26 | 480 | 0.100 |
| Capa de aire | 0.870 | | | | |
| Plywood | | 0.021 | 0.0667 | 34 | 0.290 |
| Asbesto | | 0.394 | 0.3450 | 120 | 0.200 |
| RESISTENCIA TOTAL : 3.416 h-ft²-°F/Btu | | | | | |

En los módulos correspondientes a la vivienda los materiales dispuestos para las paredes exteriores se presentan empezando desde el que se encuentra en la parte exterior hasta en que se encuentra en la parte interior del módulo; también se encuentra el espesor expresado en pies (ft) y finalmente el valor de la resistencia que se obtiene con la mencionada disposición de materiales para este módulo.

TABLA 6
MATERIALES PARA AISLAMIENTO DE PAREDES DE
MODULO LABORATORIO, GENERADA POR EQUEST
COPYRIGHT ©1998-2006 JAMES J. HIRSCH, [5]

| Material | Espesor (ft) | Conduct. (Btu/h-ft-°F) | Densidad (lb/ft³) | Calef. (Btu/ft-°F) |
|---|---------------------|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| Acero | 0.005 | 26 | 480 | 0.100 |
| Poliuretano | 0.167 | 0.0133 | 1.50 | 0.380 |
| Asbesto | 0.010 | 0.3450 | 120 | 0.200 |
| RESISTENCIA TOTAL : 13.414 h-ft²-°F/Btu | | | | |

TABLA 7

MATERIALES PARA AISLAMIENTO DE PISO DE

MODULO LABORATORIO, GENERADA POR EQUEST

COPYRIGHT ©1998-2006 JAMES J. HIRSCH, [5]

| Material | Resistencia (h-ft ² -°F/Btu) | Espesor (ft) | Conduct. (Btu/h-ft-°F) | Densidad (lb/ft ³) | Calef. (Btu/ft-°F) |
|--|--|-----------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| Acero | | 0.010 | 26 | 480 | 0.100 |
| Capa de aire | 0.870 | | | | |
| Plywood | | 0.021 | 0.0667 | 34 | 0.290 |
| Asbesto | | 0.394 | 0.3450 | 120 | 0.200 |
| Alfombra | 2.080 | | | | |
| RESISTENCIA TOTAL : 3.416 h-ft²-°F/Btu | | | | | |

A diferencia del módulo vivienda el modulo laboratorio cuenta en sus paredes con una capa de un material llamado plycem, que es un elemento prefabricado conocido como fibrocemento [11], del mismo tipo del asbestos que se encuentra en el software eQuest Copyright ©1998-2006 James J. Hirsch, que se empleó para este proyecto, por lo que se consideró que la capa que estaba en el interior correspondía a una capa de asbesto de 3 mm de espesor que llevada a pies dio un valor de 0.01 ft.

Este módulo, también presenta una diferencia respecto al piso interior de los otros módulos, ya que en el módulo laboratorio se tiene una capa adicional de alfombra (carpet) de 3mm de espesor, la misma que ayuda a aumentar el valor de la resistencia (R-VALUE).

Las ganancias de calor internas producidas por las personas, luces, motores, aparatos y equipos pueden contribuir a la mayoría de la carga de enfriamiento en un edificio moderno. Como los entornos externos de los edificios han mejorado en respuesta a los códigos de energía más estrictos, las cargas internas han aumentado debido a factores como el aumento de uso de las computadoras y la aparición de espacios más densamente ocupados.

En los espacios de alta densidad, como auditorios, las ganancias de calor sensible y latente comprenden una gran parte de la carga total. Incluso en el caso de ocupación a corto plazo, el calor sensible extra y humedad introducida por la gente pueden ser significativas.

Debido a que la iluminación es a menudo un importante componente de carga de espacio, se requiere una estimación precisa de la ganancia de calor. El cálculo de este componente de carga no es sencilla; la velocidad de enfriamiento de carga de la iluminación en un momento dado puede ser bastante diferente de la de calor equivalente de energía suministrada [5]

Para la sección de cargas internas se dividió cada módulo en secciones, las mismas permitirán tener un resultado más preciso a cerca del

consumo energético que tiene la estación en los diferentes módulos que posee de acuerdo al tipo de actividad que se realiza en las diferentes áreas de cada uno de los ellos. Es importante indicar al software el tipo de actividad que se realiza en cada una de las diferentes áreas, debido que el software posee una base de datos para cada área con diferentes actividades. La tabla 8 muestra las consideraciones tomadas en cuenta en la idealización del modelo para ambos módulos de la Estación Científica.

TABLA 8
TIPOS DE CARGA EN MÓDULOS DE ECPVM

| Tipo de carga | Módulo Vivienda | Módulo Laboratorio |
|-----------------------|-----------------|--------------------|
| Alumbrado Interior | Si | Si |
| Alumbrado para Tareas | Si | Si |
| Equipos de Oficina | Si | - |
| Equipo de Cocina | Si | Si |
| Equipos Misceláneos | Si | Si |
| Refrigeración | - | - |
| Procesos | - | - |
| Motores | - | - |
| Compresores de Aire | - | - |

Además para el módulo Laboratorio fue necesario realizar una consideración adicional en cuanto a su consumo energético, por la presencia de los diferentes equipos con los que cuenta el laboratorio y que no se encuentran considerados en el consumo estándar que establece el software. El listado de los equipos presentes en el laboratorio fue presentado anteriormente en el Capítulo 1; debido a la

presencia de estos equipos, se debe añadir una carga extra en la sección de cargas misceláneas para cubrir esta demanda energética.

Sistemas de distribución de aire de las diferentes áreas (sistemas HVAC) están destinadas a proporcionar el bienestar térmico y ventilación para los ocupantes y los procesos [5]. Para el sistema HVAC se considera un sistema un sistema con resistencias eléctricas para mantener una temperatura de confort entre 70° y 75° Fahrenheit. El sistema alimentará a los tres módulos considerados durante su funcionamiento. Para el sistema de calentamiento de agua, se considera un consumo promedio de agua de 15 galones por persona por día en un sistema que funciona a base de electricidad.

Otro dato a considera es la infiltración, que representa a la fuga de aire hacia el interior no controlada a través de grietas y hendiduras en cualquier elemento de construcción y alrededor de las ventanas y las puertas de un edificio causado por las diferencias de presión a través de estos elementos, debido a factores como el viento, en el interior y las diferencias de temperatura exterior (efecto chimenea), y el desequilibrio entre los sistemas de suministro de aire y de escape [3]. Para el valor de la infiltración se toma en cuenta la ASHRAE Standard Energy-Efficient Design of Low-Rise Residential Building, en el que

recomiendan en climas fríos un valor de infiltración de 2 ACH [12] (cambios de aire por hora) considerando este valor por ser característico de condiciones climáticas similares a las presentes en la Estación Científica, los resultados se muestran en la tabla 9 y tabla 10 donde se observa el área de cada una de las zonas climáticas así como su respectiva infiltración.

TABLA 9

VALORES INFILTRACIÓN EN MODULO LABORATORIO

| SECTOR | TIPO | AREA (ft ²) | INFILTRACION (cfm/ft ²) |
|-----------|-------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| G.W1.1 | LABORATORIO | 745.6 | 0.2733 |
| G.NNW10.1 | MICROBIOLOGIA | 118.4 | 0.2733 |
| G.C11.1 | CORREDOR | 160.1 | 0.2733 |
| G.SSE2.1 | BODEGA | 56.1 | 0.2733 |
| G.SSW3.1 | CORREDOR | 65.1 | 0.2733 |
| G.NNW9.1 | ENFERMERIA | 213.9 | 0.2733 |
| G.SSE4.1 | JARDINES (VIVERO) | 57.1 | 0.2733 |
| G.SSE5.1 | LAVANDERIA | 119.9 | 0.2733 |
| G.ESE6.1 | OFICINA | 216.1 | 0.2733 |
| G.NNE7.1 | SALA DE REUNIONES | 268.8 | 0.2733 |
| G.NNW8.1 | COCINA | 140.2 | 0.2733 |

TABLA 10
VALORES INFILTRACIÓN EN MODULO VIVIENDA

| SECTOR | TIPO | AREA (ft2) | INFILTRACION (cfm/ft2) |
|---------|-------------------|------------|------------------------|
| G.WNW1 | CAMAROTE 9 | 115.24 | 0.2733 |
| G.SSW2 | CAMAROTE 8 | 133.47 | 0.2733 |
| G.SS3 | BAÑO | 42.33 | 0.2733 |
| G.SS4 | CAMAROTE 7 | 111.18 | 0.2733 |
| G.SS5 | CUARTO DE EQUIPOS | 67.32 | 0.2733 |
| G.SS6 | CAMAROTE 10 | 109.14 | 0.2733 |
| G.SS7 | OFICINA | 65.79 | 0.2733 |
| G.ENE8 | COMEDOR Y SALA | 621.15 | 0.2733 |
| G.NNW9 | COCINA | 283.8 | 0.2733 |
| G.NNW10 | BAÑOS | 84.93 | 0.2733 |
| G.NNW11 | CORREDOR | 234.56 | 0.2733 |
| G.NW12 | TUNEL | 280.98 | 0.2733 |
| G.SSE13 | PRE CAMARA | 57.81 | 0.2733 |
| G.SSE14 | CORREDOR | 45.47 | 0.2733 |
| G.SSW15 | CAMAROTE 1 | 96.2 | 0.2733 |
| G.SSE16 | CAMAROTE 3 | 98.78 | 0.2733 |
| G.SSE17 | CAMAROTE 5 | 207.57 | 0.2733 |
| G.ENE18 | CAMAROTE 6 | 250.1 | 0.2733 |
| G.NNW19 | CAMAROTE 4 | 95.68 | 0.2733 |
| G.NNW20 | CAMAROTE 2 | 159.39 | 0.2733 |
| G.NW21 | BAÑOS | 141.96 | 0.2733 |
| G.C22 | CORREDOR | 183.77 | 0.2733 |

2.3. Resultados

Los resultados de la simulación se muestran en dos secciones, la primera donde se tiene la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, obteniendo un consumo eléctrico que se considerará como punto de partida para la propuesta de uso de energía renovable para la estación científica.

En este primer caso, la simulación muestra el valor de la demanda eléctrica que la estación requiere para su funcionamiento, recordando que se consideraron los 5 primeros meses del año para este modelo.

En la tabla 11 se muestra los valores para la demanda eléctrica de la estación científica, resaltando el valor pico mensual en mayo con un valor de 82.99 KW

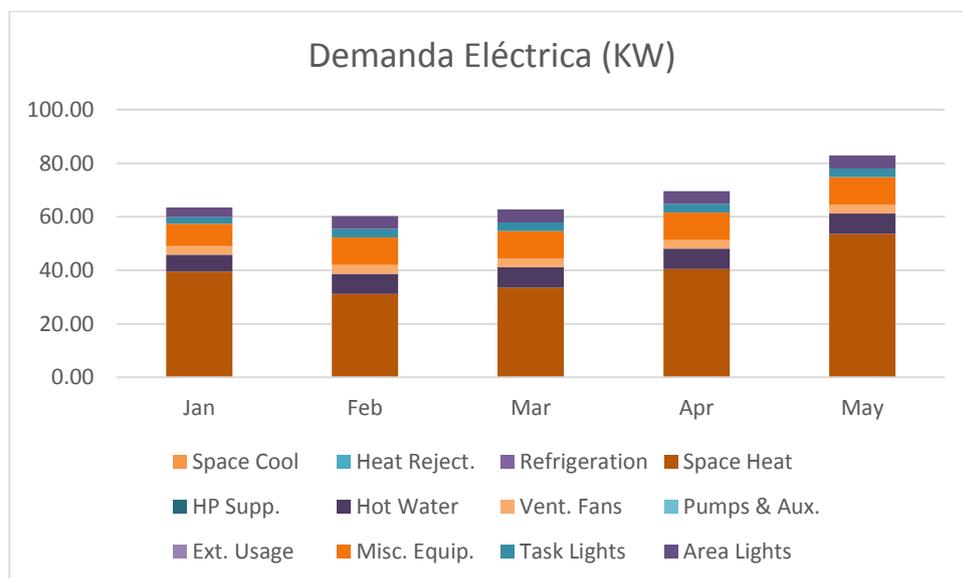
TABLA 11

DEMANDA ELÉCTRICA ECPVM, GENERADA POR

EQUEST COPYRIGHT ©1998-2006 JAMES J. HIRSCH,

| DEMANDA ELECTRICA (KW) | Ene | Feb | Mar | Abr | May |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| ENFRIAMIENTO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CALOR RECHAZADO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| REFRIGERACION | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CALEFACCION | 39.55 | 31.16 | 33.57 | 40.48 | 53.59 |
| HP SUPORTE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| AGUA CALIENTE | 6.32 | 7.58 | 7.58 | 7.58 | 7.61 |
| VENTILADORES | 3.23 | 3.23 | 3.23 | 3.23 | 3.23 |
| BOMBAS | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| USOS EXTRAS | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| EQUIPOS MISCELANEOS | 8.33 | 10.26 | 10.26 | 10.26 | 10.40 |
| LUCES PARA TAREAS | 2.42 | 3.25 | 3.25 | 3.25 | 3.27 |
| ILUMINACION | 3.59 | 4.83 | 4.83 | 4.83 | 4.90 |
| TOTAL | 63.45 | 60.30 | 62.72 | 69.62 | 82.99 |

La figura 2.4 muestra de forma gráfica los valores de la tabla 2.9. se observa que el valor máximo durante estos meses corresponde a mayo y el parámetro que más demanda exige es el de calefacción (Space Heat)



**FIGURA 2.4: DEMANDA ELÉCTRICA (KW) ECPVM,
GENERADO POR EQUEST COPYRIGHT ©1998-2006 JAMES J.
HIRSCH**

Según la tabla 12, De igual manera, el mes de mayo es el que presenta mayor valor de consumo eléctrico (KW-h) es el mes de mayo, lo cual corresponde al mes de mayor demanda eléctrica de acuerdo a la tabla 2.9.

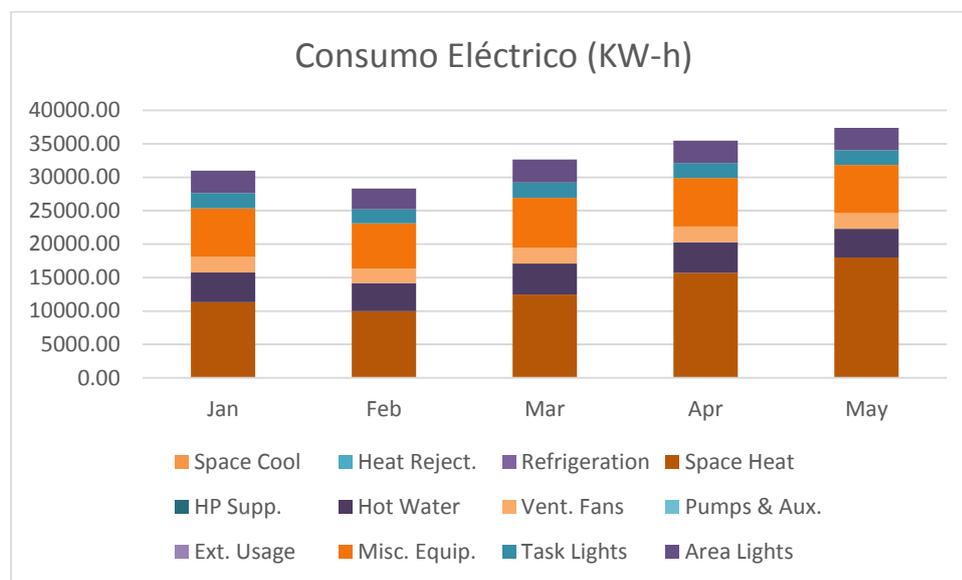
TABLA 12

CONSUMO ELÉCTRICO ECPVM, GENERADA POR

EQUEST COPYRIGHT ©1998-2006 JAMES J. HIRSCH

| CONSUMO ELECTRICO (KWh) | Ene | Feb | Mar | Abr | May |
|------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| ENFRIAMIENTO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CALOR RECHAZADO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| REFRIGERACION | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CALEFACCION | 11313.20 | 9966.10 | 12442.40 | 15695.20 | 18016.10 |
| HP SUPORTE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| AGUA CALIENTE | 4462.60 | 4219.00 | 4634.60 | 4605.40 | 4258.70 |
| VENTILADORES | 2347.80 | 2168.50 | 2400.90 | 2323.40 | 2349.00 |
| BOMBAS | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| USOS EXTRAS | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| EQUIPOS MISCELANEOS | 7249.00 | 6751.90 | 7456.10 | 7248.00 | 7201.60 |
| LUCES PARA TAREAS | 2244.60 | 2089.10 | 2301.40 | 2243.80 | 2222.50 |
| ILUMINACION | 3356.30 | 3121.90 | 3438.80 | 3352.80 | 3323.30 |
| TOTAL | 30973.60 | 28316.40 | 32674.20 | 35468.50 | 37371.20 |

Al igual que en la figura 2.4, en la figura 2.5 se muestra el consumo energético para la estación científica, donde, como ya se mencionó el mayor consumo se da por calefacción (space heat) lo cual se espera variar con el uso de los vestíbulos según se presentará más adelante.



**FIGURA 2.5: CONSUMO ELÉCTRICO ESTACIÓN CIENTÍFICA,
GENERADO POR EQUEST COPYRIGHT ©1998-2006 JAMES J.**

HIRSCH

CAPÍTULO 3

3. DESCRIPCION DE RECURSOS RENOVABLES

A nivel mundial, existen diferentes tipos de energía que podrían ser aprovechadas para diferentes actividades, así se tiene energía eólica, energía solar térmica, energía solar fotovoltaica, entre otras, en este caso particular se podría aprovechar para la generación de energía eléctrica a partir de celdas fotovoltaicas, o si los recursos lo permiten aprovechar la energía del viento (energía eólica), a fin de reemplazar de la mejor forma posible los motores generadores que ya posee la estación, dejando de lado el uso de combustibles fósiles tanto como sea posible.

Se podría mencionar que la energía eólica es aquella energía mecánica o eléctrica que puede ser obtenida a partir del aprovechamiento de las corrientes de viento que se producen por el movimiento de las masas de aire debido al

calentamiento diferencial del aire provocado por la radiación mediante aerogeneradores, muy similares a los molinos de viento que se empleaban para obtener energía mecánica a partir del viento [13].

Se debe considerar varios factores que podrían influenciar en el potencial eólico disponible para un sistema de conversión de energía eólica:

- i. Velocidad/dirección del viento.
- ii. Temperatura Ambiental.
- iii. Presión Atmosférica [14].

Dentro de las principales ventajas de la energía eólica, se puede citar que el viento es una fuente abundante de energía; es simple y no requiere de mayor mantenimiento, excepto de una revisión de baterías en caso de poseerlas; su impacto ambiental es mínimo, debido que al no emplear combustibles fósiles no contribuye en nada al efecto invernadero y por consiguiente al calentamiento global, por lo tanto que evita la emisión de dióxido de carbono (CO_2), dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_x) [13].

Dentro de las desventajas se puede mencionar principalmente la disponibilidad de viento en situaciones geográficas aisladas, como en el caso la Antártida, donde aún está por determinarse si las condiciones serán favorables o no. Además cuando se emplea este sistema en localidades aisladas el sistema debe constar de baterías de almacenamiento en caso de

que en ciertos días se presenten condiciones climáticas adversas y no sea posible la generación de energía eléctrica a partir de energía eólica [13].

En lo concerniente a energía solar, existen dos opciones para emplear la energía que llega del sol, una es la energía solar térmica y otra la energía solar fotovoltaica, en este caso se referirá a la segunda. La misma es la energía eléctrica que se puede obtener directamente de la radiación que llega a la Tierra, mediante el uso de paneles solares fotovoltaicos.

Dentro de las ventajas de la energía solar fotovoltaica se puede mencionar que al igual que la energía eólica, la energía solar fotovoltaica también es amigable con el medio ambiente; requiere poco mantenimiento además de ser sencillo; también es importante mencionar que los sistemas fotovoltaicos tienen un promedio de vida bastante considerable situándose alrededor de los 25 a 30 años en cuanto a lo que sistemas solares fotovoltaicos se refiere [13].

Dentro de las desventajas se tiene como principal inconveniente la disponibilidad de este tipo de energía renovable, que por la situación geográfica, sin embargo los paneles solares fotovoltaicos aprovechan la radiación que llega a ellos, por lo que con una correcta ubicación y orientación es posible aprovechar este recurso natural independientemente de si tiene interferencia como nubes o sombras [13]; además es importante mencionar

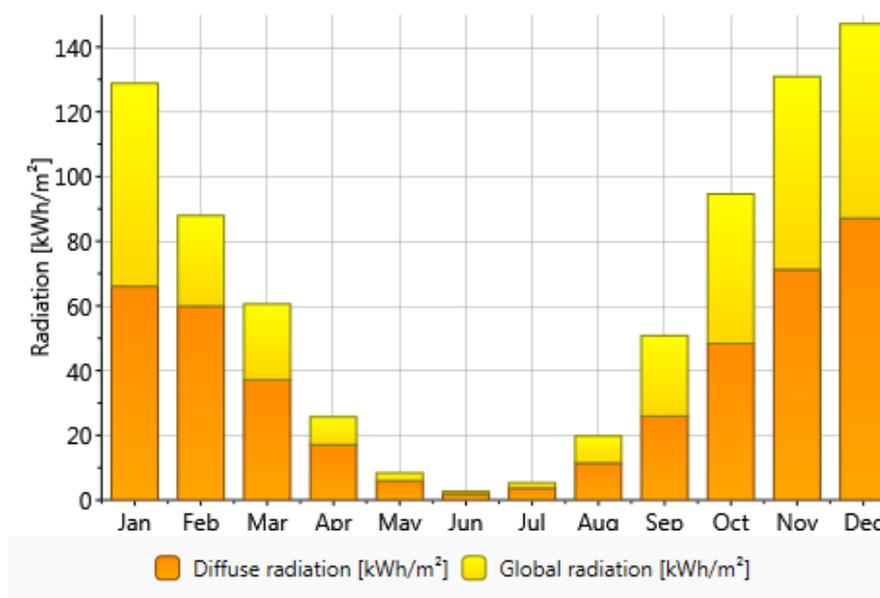
que los sistemas solares fotovoltaicos son más eficientes a bajas temperaturas. Otra importante desventaja es la cantidad de energía eléctrica que se pueda obtener esto viene dado por la eficiencia de las celdas fotovoltaicas y que puede limitar la aplicación de la misma para suplir las necesidades de la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado.

3.1. Energía solar disponible

Con ayuda del software Meteonorm Copyright © 2012 Meteotest Genossenschaft, se obtuvo los datos de incidencia solar en la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, siendo de nuestro principal interés el valor de la radiación solar debido a que este parámetro es el de vital importancia por ser el que requieren los paneles solares fotovoltaicos; además se encuentran valores de temperatura, que como se mencionó ayudará con la eficiencia del sistema fotovoltaico.

La figura 3.3 muestra la radiación difusa en color naranja, mientras en color amarillo la radiación global o total, así por ejemplo en el mes de enero la radiación difusa esta alrededor de 65 KW-h/m² mientras que la radiación global está cerca de 130 KW-h/m²; sin embargo se observa

que a medida que avanzan los meses la radiación disminuye, llegando a ser en el mes de marzo aproximadamente la mitad que en el mes de enero y en mayo un valor por debajo de los 10 KW-h/m².



**FIGURA 3.3: GRÁFICO DE RADIACIÓN EN ECPVM,
GENERADO POR METEONORM COPYRIGHT © 2012
METEOTEST GENOSSENSCHAFT**

La temperatura durante los meses en los que se considera que la estación estaría habitada, está muy cercanas a 0°C e incluso por debajo de 0°C como lo muestra la figura 3.4 teniendo en el mes de mayo la menor temperatura para esta temporada, teniendo como media una temperatura muy cercana a -4°C.

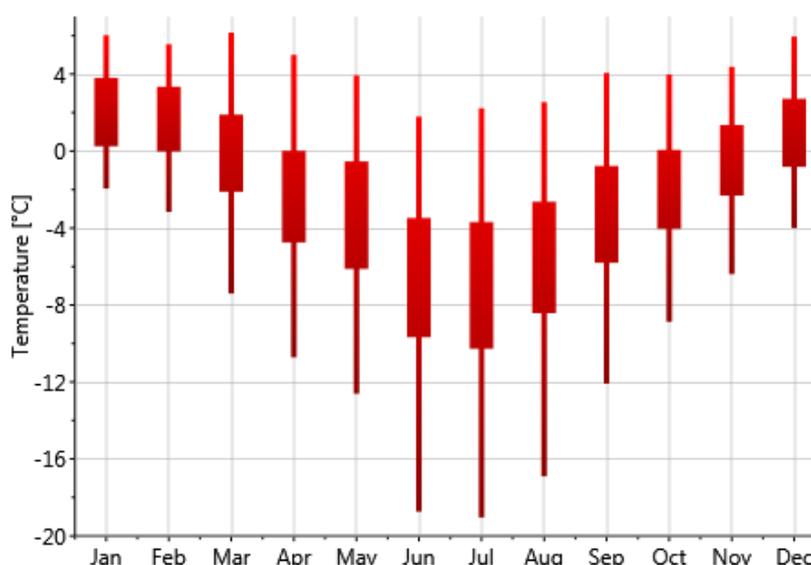


FIGURA 3.4

GRÁFICO DE TEMPERATURA EN ECPVM, GENERADO POR

METEONORM COPYRIGHT © 2012 METEOTEST

GENOSSENSCHAFT

Un dato importante para un estimación de la energía solar disponible en las coordenadas en las que se encuentra la estación científica son las horas de sol con las que se cuenta mes a mes, teniendo un buen promedio en el mes de enero con 18 horas pero disminuyendo mes a

mes llegando a mayo con un promedio estimado de 6 horas, según lo muestra la figura 3.5.

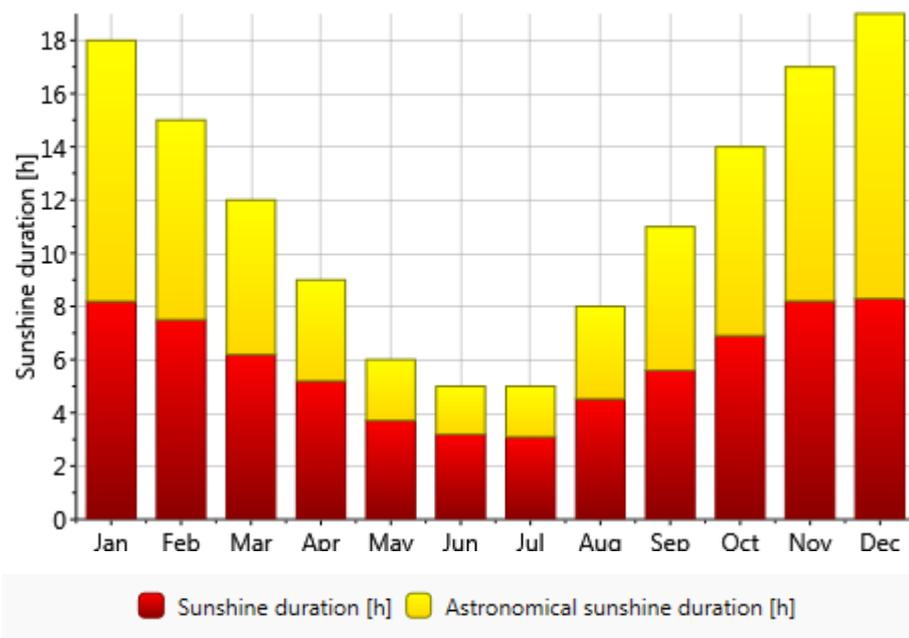


FIGURA 3.5: GRÁFICO DE DURACIÓN SOLAR, GENERADO

POR METEONORM COPYRIGHT © 2012 METEOTEST

GENOSSENSCHAFT

En la figura 3.3 se muestra el promedio de la radiación global o total diaria; la figura 3.6 al contrario muestra los valores diarios de la radiación global, donde se observa que la radiación va disminuyendo a medida que avanzan los meses como se había mencionado anteriormente.

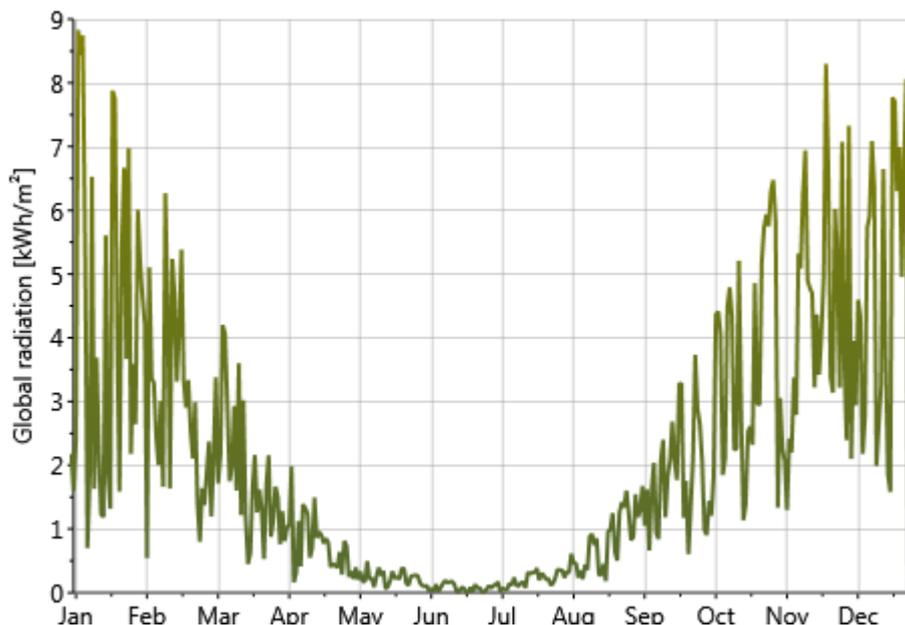


FIGURA 3.6: GRÁFICO DE RADIACIÓN GLOBAL DIARIA EN ECPVM, GENERADO POR METEONORM COPYRIGHT © 2012 METEOTEST GENOSSENSCHAFT

De igual manera en la figura 3.4 se observa el promedio de la temperatura en la estación científica, la figura 3.7 muestra los valores diarios de la temperatura pero en su rango máximo y mínimo, donde se observa una variación de la temperatura con días fríos en el mes de marzo y disminuyendo más en el mes de mayo, como se había mencionado anteriormente.

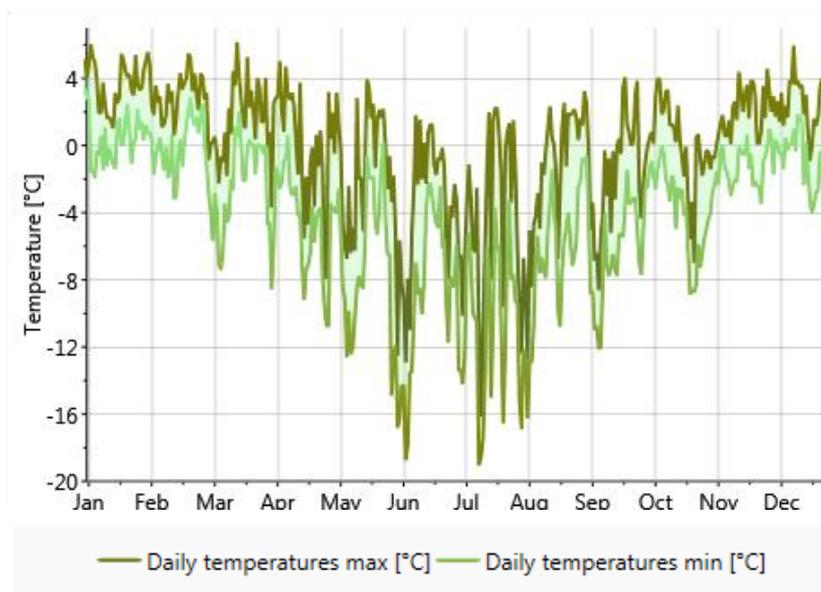


FIGURA 3.7: GRÁFICO DE TEMPERATURA DIARIA EN ECPVM, GENERADO POR METEONORM COPYRIGHT © 2012 METEOTEST GENOSSENSCHAFT

La tabla 13 muestra los valores promedios para los diferentes meses, sin embargo los meses de interés para este proyecto son los meses de enero a mayo, se observa como datos principales los valores de radiación difusa (D_h) radiación total (G_h) y la velocidad de viento (FF), valores que serán considerados posteriormente para el dimensionamiento de los diferentes sistemas de energía renovables a proponer.

TABLA 13

TABLA DE DATOS, GENERADA POR METEONORM
COPYRIGHT © 2012 METEOTEST GENOSSENSCHAFT

| | D_h Kwh/m ² | G_h Kwh/m ² | B_n Kwh/m ² | T_a °C | T_d °C | FF m/s |
|-------------------|--|--|--|----------------------------|----------------------------|------------------|
| Enero | 66 | 129 | 123 | 2.2 | -0.3 | 6.6 |
| Febrero | 60 | 88 | 59 | 1.8 | -0.4 | 7.5 |
| Marzo | 37 | 61 | 63 | -0.1 | -1.9 | 7.8 |
| Abril | 17 | 26 | 37 | -2.4 | -3.9 | 7.8 |
| Mayo | 6 | 8 | 22 | -3.7 | -5.1 | 8.1 |
| Junio | 2 | 3 | 11 | -7 | -8.1 | 8.5 |
| Julio | 4 | 5 | 17 | -7.2 | -8.3 | 8 |
| Agosto | 11 | 20 | 40 | -5.7 | -7.1 | 9.3 |
| Septiembre | 26 | 51 | 76 | -3.4 | -5.4 | 8.8 |
| Octubre | 48 | 95 | 107 | -1.9 | -4.2 | 9.6 |
| Noviembre | 71 | 131 | 119 | -0.3 | -3 | 7.4 |
| Diciembre | 87 | 147 | 116 | 1.2 | -1.8 | 7.7 |
| Anual | 436 | 764 | 789 | -2.2 | -4.1 | 8.1 |

Incertidumbre de valores anuales:

$G_h = 8\%$, $B_n = 16\%$, $T_a = 0.8\text{ °C}$

Tendencia de G_h / década = -10.4%

Variabilidad de G_h / año = 4.8%

3.2. Energía eólica disponible

Como se mencionó anteriormente, los principales datos en cuanto a lo referente a energía eólica son la velocidad del viento, temperatura ambiental y presión atmosférica.

En este caso existen series de tiempo de la década de 1994 a 2003, dichos datos se emplearán para determinar las diferentes condiciones eólicas que rodean a la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado y que permitirá conocer la cantidad de energía disponible con la finalidad de implementar el uso de energías renovables para cubrir la demanda energética de la Estación Científica. Siendo estos datos proporcionados por el INAE [1]

Para definir las condiciones del viento en las inmediaciones de la Estación Científica, se utiliza la Función Estadística de Distribución de Weibull [15], debido a que esta Función permite ilustrar de mejor forma el comportamiento del viento y permite determinar el potencial eólico que servirá para comparar con la energía solar disponible.

En la tabla 14 se encuentran los datos meteorológicos correspondientes a los valores de promedio para la década de 1994 a 2003, los mismos

que de ser necesario serán empleados en el cálculo del potencial eólico para las coordenadas en las que se ubica la estación científica.

TABLA 14
DATOS METEOROLÓGICOS PROMEDIOS POR MES
PARA LA DÉCADA 1994-2003 EN ECPVM [11]

| MES | T | T _M | T _m | SLP | H | V | VM | v | vm |
|-------------------|------|----------------|----------------|-------|------|------|------|-----|------|
| ENERO | 2.0 | 3.9 | 0.7 | 988.6 | 89.6 | 15.7 | 28.1 | 4.4 | 7.8 |
| FEBRERO | 2.0 | 3.9 | 0.7 | 990.0 | 88.6 | 17.0 | 29.8 | 4.7 | 8.3 |
| MARZO | 0.8 | 2.7 | -0.7 | 992.1 | 88.9 | 19.1 | 34.0 | 5.3 | 9.4 |
| ABRIL | -0.4 | 1.3 | -2.4 | 991.4 | 90.2 | 21.9 | 36.7 | 6.1 | 10.2 |
| MAYO | -1.6 | 0.0 | -4.3 | 995.0 | 89.8 | 21.3 | 36.1 | 5.9 | 10.0 |
| JUNIO | -4.7 | -2.2 | -7.3 | 995.5 | 89.3 | 24.6 | 41.5 | 6.8 | 11.5 |
| JULIO | -6.3 | -3.3 | -9.3 | 991.9 | 90.8 | 24.7 | 42.2 | 6.9 | 11.7 |
| AGOSTO | -5.3 | -2.5 | -8.4 | 989.8 | 89.9 | 24.8 | 40.9 | 6.9 | 11.4 |
| SEPTIEMBRE | -4.8 | -2.1 | -7.5 | 993.0 | 91.0 | 22.5 | 39.7 | 6.3 | 11.0 |
| OCTUBRE | -2.7 | -0.6 | -4.1 | 987.7 | 90.7 | 24.3 | 39.5 | 6.8 | 11.0 |
| NOVIEMBRE | -0.8 | 1.0 | -2.3 | 987.4 | 89.6 | 18.9 | 32.4 | 5.2 | 9.0 |
| DICIEMBRE | 0.6 | 2.4 | -0.8 | 988.6 | 90.0 | 17.5 | 30.3 | 4.9 | 8.4 |

Con estos datos es posible obtener el potencial eólico para la Estación científica Pedro Vicente Maldonado, a partir de la conversión de energía eólica a energía eléctrica considerando un 100% de eficiencia. Como se mencionó anteriormente para conocer el valor exacto de energía aprovechable, se debe considerar la eficiencia de fábrica de los aerogeneradores.

Para el cálculo del potencial eólico que se puede obtener para la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, se empleará la Función de Densidad de Probabilidad de Weibull con dos parámetros (caso particular de la Distribución Gamma Generalizada), ya que ha sido demostrado que el comportamiento del viento se puede predecir mediante esta función de distribución ; la función viene dada por la expresión [16]:

$$\rho(V) = \frac{K}{A} \left(\frac{V}{A}\right)^{K-1} e^{-\left(\frac{V}{A}\right)^K}, \quad (1)$$

Donde:

- $\rho(V)$ Representa la función de distribución de Weibull
- V Es la velocidad del viento (m/s)
- K Es un factor de forma adimensional
- A Es un factor de escala (m/s)

Estos dos factores (K y A) determinan la función de Weibull y con ello es posible determinar con buena aproximación los valores de potencial eólico (W/m^2) y energía ($KW-h/m^2$).

Los valores de los factores K y A se obtienen empleando las siguientes expresiones:

Para determinar el factor K se parte de la expresión

$$\frac{\sigma}{\bar{v}} = \left[\frac{\Gamma\left(1+\frac{2}{K}\right)}{\Gamma^2\left(1+\frac{1}{K}\right)} - 1 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Luego la se iguala a cero obteniendo:

$$0 = \frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{K}\right)}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{K}\right)} - 1 - \frac{\sigma^2}{\bar{v}} \quad (3)$$

Donde:

σ Representa la Desviación Estándar de la velocidad promedio.

v : Representa la velocidad promedio

Sin embargo, los valores para el factor k se encuentran tabulados en atlas eólicos, donde se encuentran dos tablas que podrían ser de utilidad para la obtención del valor del factor k. La primera considera una relación entre el valor de la desviación estándar y la velocidad media del viento; el segundo valor considera una relación entre la velocidad promedio del viento y el valor tipo de varianza alta, media o baja [17].

Para el factor adimensional A se emplea la expresión:

$$\frac{\bar{v}}{A} = \Gamma\left(1 + \frac{1}{K}\right) \quad (4)$$

Donde:

\bar{v} : velocidad promedio

K: factor de forma

Conociendo los valores de los factores K y A se puede obtener el potencial eólico mediante la expresión:

$$\frac{Pd}{A'} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \bar{V}^3 \quad (5)$$

Siendo:

$$\rho(\text{aire}) = 1,225 \cdot \left(\frac{288,15}{T}\right) \cdot \left(\frac{p}{1013,25}\right) \quad (6)$$

$$\bar{V}^3 = A^3 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{3}{K}\right) \quad (7)$$

Donde:

- Pd Es el Potencial eólico en W/m².
- A' Es el área equivalente a 1m².
- \bar{V}^3 : Es el promedio del cubo de las velocidades.
- A³ Es un factor de escala en m/s
- K Es el factor de forma
- ρ Es la densidad del aire en las condiciones presentes.
- T Es el promedio de las temperaturas en grados Kelvin.
- p es el promedio de las presiones en mbar.

La velocidad que se consideró para realizar los cálculos del potencial eólico, son los datos de velocidad generados por el software Meteonorm, ver tabla 13. Hay dos formas de estimar el valor del potencial eólico, en la tabla 15 se presentan los valores del potencial eólico obtenidos con los diferentes promedios de la velocidad de viento

estimada; en este caso el valor del factor K es estimado mediante la relación entre la desviación estándar y la velocidad media del viento.

TABLA 15
DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO EN LA
ECPVM SEGÚN DESVIACION ESTANDAR Y VELOCIDAD
MEDIA DEL VIENTO

| MES | v | S | Factor K | Factor A | T | SLP | v ³ | ρ | Pd |
|------------|-----|------|----------|----------|------|-------|----------------|-----|-------|
| ENERO | 6.6 | 0.91 | 6.0 | 4.7 | 2.0 | 988.6 | 92.4 | 1.3 | 199.7 |
| FEBRERO | 7.5 | 1.00 | 5.4 | 5.1 | 2.0 | 990.0 | 118.8 | 1.3 | 299.7 |
| MARZO | 7.8 | 1.00 | 6.2 | 5.7 | 0.8 | 992.1 | 164.0 | 1.3 | 330.3 |
| ABRIL | 7.8 | 0.80 | 10.0 | 6.4 | -0.4 | 991.4 | 235.3 | 1.3 | 313.1 |
| MAYO | 8.1 | 1.07 | 6.0 | 6.4 | -1.6 | 995.0 | 228.9 | 1.3 | 376.4 |
| JUNIO | 8.5 | 1.32 | 4.5 | 7.5 | -4.7 | 995.5 | 378.1 | 1.3 | 471.2 |
| JULIO | 8.0 | 1.29 | 4.7 | 7.5 | -6.3 | 991.9 | 380.3 | 1.3 | 388.9 |
| AGOSTO | 9.3 | 0.97 | 8.6 | 7.3 | -5.3 | 989.8 | 343.6 | 1.3 | 546.8 |
| SEPTIEMBRE | 8.8 | 0.91 | 9.0 | 6.6 | -4.8 | 993.0 | 257.8 | 1.3 | 461.9 |
| OCTUBRE | 9.6 | 1.09 | 6.7 | 7.2 | -2.7 | 987.7 | 335.9 | 1.3 | 613.1 |
| NOVIEMBRE | 7.4 | 1.00 | 6.0 | 5.7 | -0.8 | 987.4 | 160.4 | 1.3 | 284.0 |
| DICIEMBRE | 7.7 | 1.12 | 4.4 | 5.3 | 0.6 | 988.6 | 136.7 | 1.3 | 343.5 |

En la Tabla 16, el factor K se obtiene mediante el empleo de la relación entre la velocidad media del viento y el tipo de varianza, sea esta alta, media o baja.

De esta forma se obtiene unos valores de k alrededor de 2; lo que como resultado da valores mayores de potencial eólico (Pd). Por ejemplo en la tabla 3.3 para el mes de enero se obtiene un valor de 199 W/m² mientras que para el mismo mes en la tabla 3.4 se obtiene un valor de 314 W/m²

TABLA 16

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO EN LA

ECPVM SEGUN LA VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO Y

EL TIPO DE VARIANZA

| MES | v | S^2 | $Factor_k$ | $Factor_A$ | T | SLP | v^3 | ρ | Pd |
|-------------------|-----|-------|------------|------------|------|-------|-------|--------|--------|
| ENERO | 6.6 | 0.7 | 2.2 | 4.9 | 2.0 | 988.6 | 145.5 | 1.3 | 314.3 |
| FEBRERO | 7.5 | 1.0 | 2.0 | 5.3 | 2.0 | 990.0 | 196.2 | 1.3 | 495.2 |
| MARZO | 7.8 | 1.0 | 2.2 | 6.0 | 0.8 | 992.1 | 263.9 | 1.3 | 531.4 |
| ABRIL | 7.8 | 0.4 | 2.6 | 6.9 | -0.4 | 991.4 | 347.3 | 1.3 | 462.1 |
| MAYO | 8.1 | 1.3 | 1.8 | 6.6 | -1.6 | 995.0 | 450.0 | 1.3 | 740.0 |
| JUNIO | 8.5 | 3.0 | 1.9 | 7.7 | -4.7 | 995.5 | 641.1 | 1.3 | 799.0 |
| JULIO | 8.0 | 2.8 | 1.9 | 7.7 | -6.3 | 991.9 | 645.7 | 1.3 | 660.3 |
| AGOSTO | 9.3 | 0.9 | 2.8 | 7.7 | -5.3 | 989.8 | 480.0 | 1.3 | 763.8 |
| SEPTIEMBRE | 8.8 | 0.7 | 2.6 | 7.0 | -4.8 | 993.0 | 372.2 | 1.3 | 667.0 |
| OCTUBRE | 9.6 | 1.4 | 1.9 | 7.6 | -2.7 | 987.7 | 621.0 | 1.3 | 1133.4 |
| NOVIEMBRE | 7.4 | 1.0 | 2.1 | 5.9 | -0.8 | 987.4 | 258.7 | 1.3 | 458.2 |
| DICIEMBRE | 7.7 | 1.6 | 1.6 | 5.4 | 0.6 | 988.6 | 278.8 | 1.3 | 700.7 |

CAPÍTULO 4

4. PROPUESTA DE MEJORA

La propuesta de mejora para la estación se clasificará en dos partes, una busca disminuir una parte del gasto energético para la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado implementando vestíbulos para evitar el intercambio excesivo de aire con el medio exterior.

La segunda, busca aprovechar uno de los recursos naturales que brinda la situación geográfica de la mencionada Estación Científica para obtener energía eléctrica a partir de este recurso, ya sea energía eólica o energía solar fotovoltaica. Primero se debe establecer cuál de los dos brinda mayores oportunidades de aprovechamiento con los cálculos realizados en el Capítulo 3 de este Proyecto.

4.1. Propuesta de mejora en estación científica

Esta sección corresponde a la mejora física de la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, lo cual se logra, principalmente, con la implementación de vestíbulos en las puertas de acceso a la mencionada estación.

Cabe mencionar que no en todas las puertas de acceso fue necesario colocar nuevos vestíbulos puesto que en unas ya estaba implementado esta sugerencia.

Como punto de partida se consideró los cambios sugeridos por el software Climate Consultant entre los cuales se mencionan:

- Casas tradicionales en climas fríos tienen plano de planta ajustado con fuente de calor, ventanas orientadas al sur, y techos inclinados para protección contra el viento.
- Utilizar las entradas del vestíbulo (bolsas de aire) para minimizar la infiltración y eliminar corrientes de aire, en ciudades de viento frío.
- Si se usa sótano debe estar por lo menos 18 pulgadas por debajo del hielo y aislado del exterior (con espuma) o en el interior (de fibra de vidrio en paredes forradas)
- Casas tradicionales en climas nublados fríos utilizan sellos herméticos de poca masa, de construcción bien aislada para proporcionar una rápida acumulación de calor en la mañana.

- Áreas de garaje o de almacenamiento situados en el lado del edificio de frente al viento más frío para ayudar al aislamiento.
- Hornos de alta eficiencia (al menos Energy Star) resulta rentable.
- Sellar cuidadosamente edificio para minimizar la infiltración y eliminar corrientes de aire, especialmente en los sitios de viento.
- Disminuir la temperatura de confort en interiores en la noche para reducir el consumo de energía para calefacción.
- Mantener el edificio pequeño (del tamaño adecuado) porque las zonas áreas excesivas desperdician energía en calentamiento y enfriamiento.
- Aislamiento extra (súper aislamiento) podría resultar rentable, y aumentará el confort de los ocupantes al mantener temperaturas interiores más uniformes.
- Techos inclinados, ventilado al exterior con buen aislamiento por debajo del techo, trabajan bien en climas fríos (arroja la lluvia o la nieve, evitar la acumulación de hielo)
- Espacios al aire libre soleados con protección contra el viento pueden extender salas de estar en climas fríos.
- Usar edificio compacto con plano de planta cuadrada y múltiples historias para minimizar la pérdida de calor en el entorno del edificio (minimizar relación entre superficie y volumen)

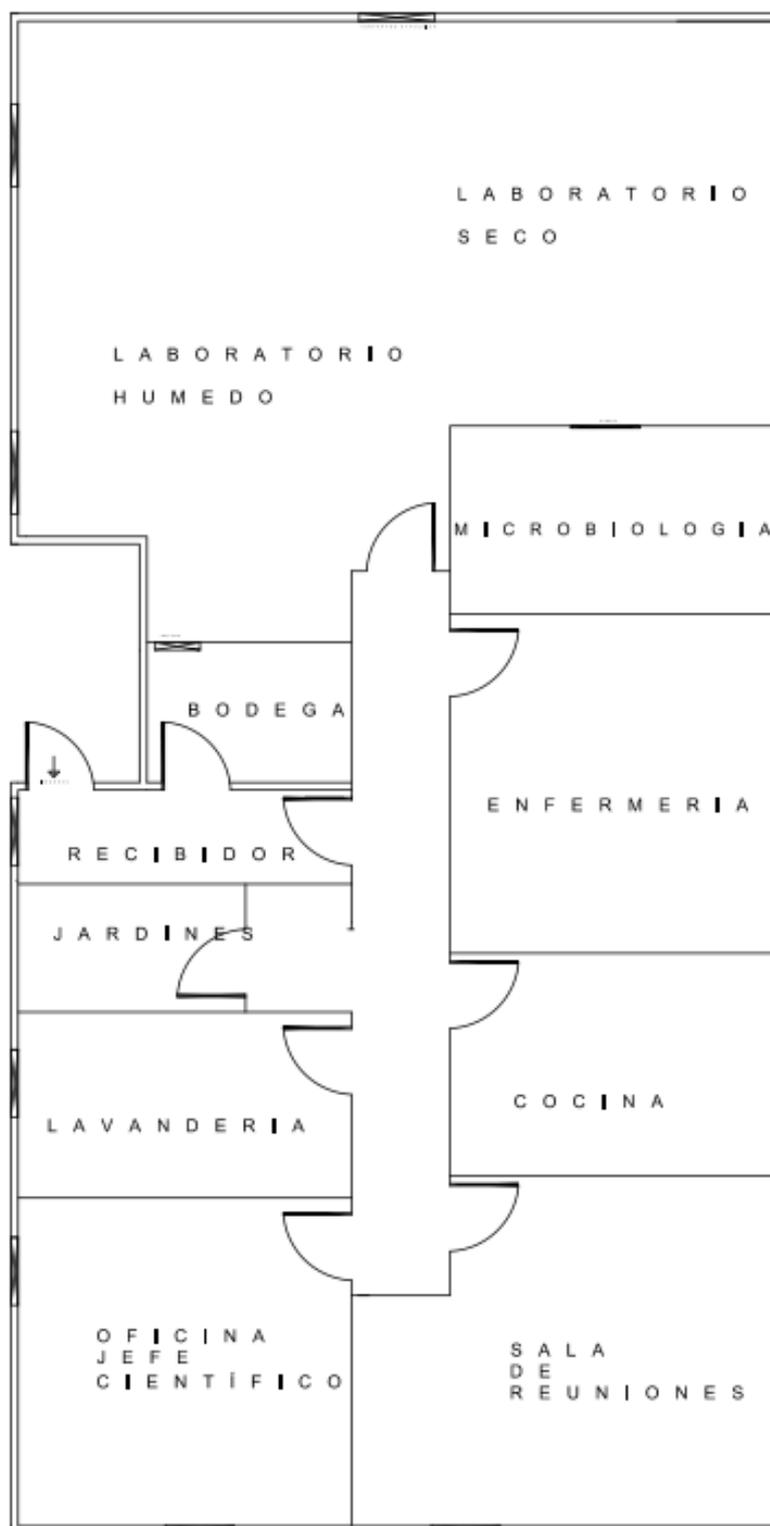
- Escudos para viento exteriores y plantaciones pueden proteger las entradas de los vientos fríos de invierno
- Persianas aislantes o cortinas pesadas ayudarán a reducir las pérdidas de calor de invierno de la noche
- Ventanales de alto rendimiento en todas las orientaciones debería resultar rentable (tipo low-e, marcos aislados) en verano soleados cálidos e inviernos nublados oscuros.
- Tejas o pizarra (incluso en el piso de madera de baja masa) o una chimenea de piedra puede ayudar a almacenar energía de iluminación diurna y las cargas de refrigeración.
- pequeños tragaluz bien aislados (menos del 3% en el área baja en climas despejados, 5% en climas nublados) reducen las cargas de la energía de iluminación durante el día.
- Organizar plano, de forma que el sol de invierno penetre en los espacios de uso diurno, con funciones específicas, que coincidan con las orientaciones solares.
- Árboles no deben plantarse frente a los vientos solares pasivos, sino que más allá de los 45 grados de cada esquina.

Para este trabajo solo se considerarán unos cuantos tópicos de esta lista de sugerencias, porque la mayoría de las mismas han sido consideradas en el diseño inicial, es decir ya se están empleando en la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado.

Uno de los principales ítems es la implementación de vestíbulos en las puertas de acceso a la estación, como ya se mencionó anteriormente, lo cual se muestra en los planos 4, 5 y 6, donde se muestra las modificaciones que se realizaron en caso de ser necesarias con la finalidad de disminuir la infiltración, es decir el intercambio de aire con el medio exterior que se encuentra a bajas temperaturas mientras que en el interior de la Estación Científica se encuentra a una temperatura de confort.

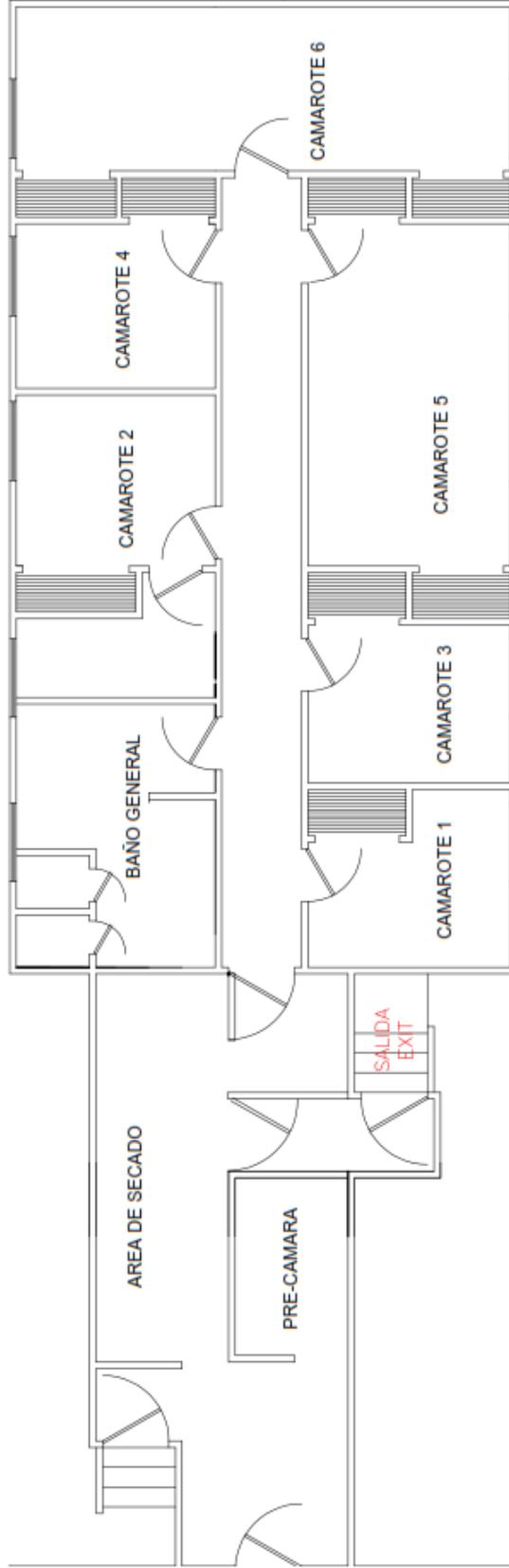
Como se observa en el Plano 4, para el Modulo Laboratorio no es necesario implementar ningún cambio debido que en la zona que lleva el nombre recibidor, hace las veces de un vestíbulo e impide el excesivo intercambio de aire con el exterior. El resto de las sugerencias como el aislamiento o la forma del techo ya fueron incluidas en el diseño inicial como se muestra en el Capítulo 2 donde se describen las características físicas de la Estación Científica que se emplean en la simulación.

**PLANO 4 ESTACIÓN CIENTÍFICA PEDRO VICENTE MALDONADO
MODIFICACIONES MODULO LABORATORIO**



En los Planos 5 y 6, se observa el Módulo Vivienda de la Estación Científica, que posee tres puertas de acceso, dos de las cuales, presentes en el Plano 5, no necesitan vestíbulo puesto que se encuentran en el Túnel y poseen áreas que cumplen la función de un vestíbulo. En el plano 6 se observa la tercera puerta de acceso, seguida de un corredor largo; en este punto se realizó la implementación del vestíbulo para disminuir la infiltración en esta zona de la Estación Científica; al momento de realizar la simulación en búsqueda de disminuir la demanda, se genera una nueva zona climática con baja infiltración y con ello se consigue disminuir en una parte de la demanda energética de la Estación Científica.

**PLANO 5 ESTACIÓN CIENTÍFICA PEDRO VICENTE MALDONADO –
MODIFICACIONES MODULO VIVIENDA**



PLANO 6 ESTACIÓN CIENTÍFICA PEDRO VICENTE MALDONADO – VESTÍBULO

MODULO VIVIENDA



Al realizar las modificaciones sugeridas, una de las principales variaciones sufridas por la estación científica se presentan a nivel de los valores de infiltraciones, como lo muestra la tabla 17 donde se muestran los valores para el módulo vivienda donde se implementaron los vestíbulos sugeridos. Al comparar la tabla 17 con la Tabla 10, se evidencia la variación en la infiltración, como se había mencionado anteriormente, de este modo se logró estimar un nuevo valor para la infiltración variando de un valor inicial de 0.273 cfm/ft^2 a 0.0683 cfm/ft^2 , con lo que disminuiría un poco el consumo energético de la Estación Científica.

TABLA 17
VALORES DE INFILTRACIÓN MODULO VIVIENDA DE LA
ECPVM

| SECTOR | TIPO | AREA (ft ²) | INFILTRACION (cfm/ft ²) |
|----------------|-------------------|----------------------------|--|
| G.WNW1 | CAMAROTE 9 | 115.24 | 0.0683 |
| G.SSW2 | CAMAROTE 8 | 133.47 | 0.0683 |
| G.SS3 | BAÑO | 42.33 | 0.0683 |
| G.SS4 | CAMAROTE 7 | 111.18 | 0.0683 |
| G.SS5 | CUARTO DE EQUIPOS | 67.32 | 0.0683 |
| G.SS6 | CAMAROTE 10 | 109.14 | 0.0683 |
| G.SS7 | OFICINA | 65.79 | 0.0683 |
| G.ENE8 | COMEDOR Y SALA | 621.15 | 0.0683 |
| G.NNW9 | COCINA | 283.80 | 0.0683 |
| G.NNW10 | BAÑOS | 84.93 | 0.0683 |
| G.NNW11 | CORREDOR | 194.06 | 0.0683 |
| G.NW12 | TUNEL | 280.98 | 0.0683 |
| G.SSE13 | PRE CAMARA | 57.81 | 0.0683 |
| G.SSE14 | CORREDOR | 45.47 | 0.0683 |
| G.SSW15 | CAMAROTE 1 | 96.20 | 0.0683 |
| G.SSE16 | CAMAROTE 3 | 98.78 | 0.0683 |
| G.SSE17 | CAMAROTE 5 | 207.57 | 0.0683 |
| G.ENE18 | CAMAROTE 6 | 250.10 | 0.0683 |
| G.NNW19 | CAMAROTE 4 | 95.68 | 0.0683 |
| G.NNW20 | CAMAROTE 2 | 159.39 | 0.0683 |
| G.NW21 | BAÑOS | 141.96 | 0.0683 |
| G.C22 | CORREDOR | 183.77 | 0.0683 |
| G.C23 | CORREDOR | 40.50 | 0.0683 |

A consecuencia de la variación en la infiltración, se presenta una variación en los valores de la demanda energética (KW) como presenta la tabla 18 donde se muestra la variación para el mes pico

correspondiente al mes de mayo, donde el valor varía de 82.99 KW a 61.18 KW. Comparando con los resultados iniciales de la simulación, se evidencia que la mayor variación se presenta a nivel de calefacción (Space Heat).

TABLA 18
LÍNEA BASE DE DEMANDA ELÉCTRICA DE ECPVM,
GENERADA POR EQUSET COPYRIGHT ©1998-2006
JAMES J. HIRSCH,

| Demanda Eléctrica (kW) | <i>Ene</i> | <i>Feb</i> | <i>Mar</i> | <i>Abr</i> | <i>Mayo</i> |
|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| Enfriamiento | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Calor Rechazado | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Refrigeración | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Calefacción | 32.28 | 16.07 | 17.94 | 23.11 | 33.03 |
| HP SUPP. | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Agua Caliente | 6.31 | 7.56 | 7.56 | 7.56 | 7.59 |
| Ventiladores | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 |
| Bombas | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Extras | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Equipos Misceláneos | 8.33 | 10.26 | 10.26 | 10.26 | 10.40 |
| Iluminación de servicio | 2.42 | 3.25 | 3.25 | 3.25 | 3.27 |
| Iluminación | 3.59 | 4.83 | 4.83 | 4.83 | 4.90 |
| TOTAL | 54.93 | 43.97 | 45.84 | 51.01 | 61.18 |

Al igual que la demanda eléctrica (KW) disminuye, el consumo eléctrico (KW-h) también lo hace; en este caso el valor pico mensual disminuye de 37300 KW-h a 30400 KW-h aproximadamente, como lo muestra la

tabla 19. De manera similar el valor que mayor variación sufre es en el concepto de calefacción.

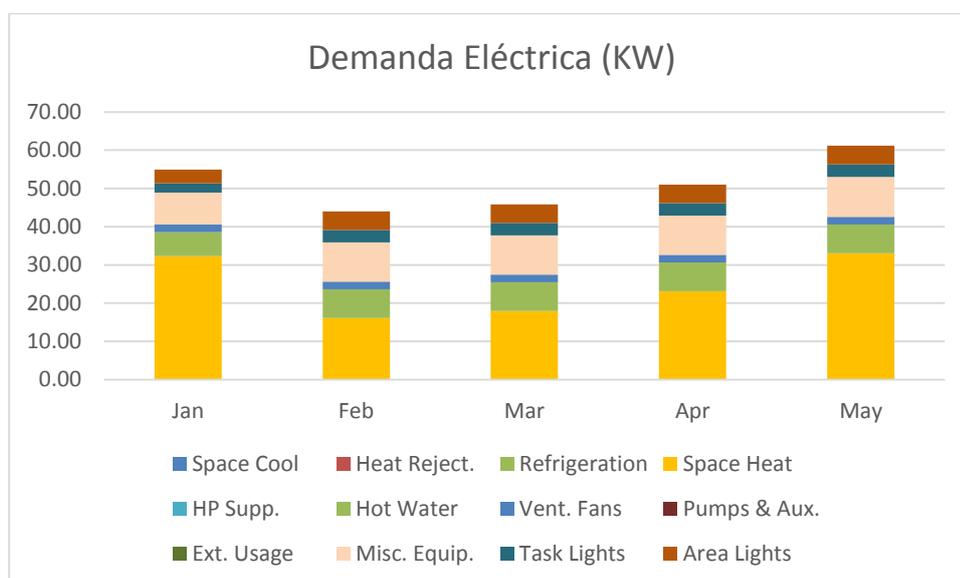
TABLA 19
LÍNEA BASE DE CONSUMO ELÉCTRICO DE ECPVM,
GENERADA POR EQUSET COPYRIGHT ©1998-2006
JAMES J. HIRSCH

| <i>Consumo Electrico (KWh)</i> | <i>Ene</i> | <i>Feb</i> | <i>Mar</i> | <i>Abr</i> | <i>May</i> |
|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <i>Enfriamiento</i> | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| <i>Calor Rechazado</i> | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| <i>Refrigeración</i> | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| <i>Calefacción</i> | 6723.20 | 6100.20 | 7924.50 | 10242.80 | 11991.80 |
| <i>HP SUPP.</i> | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| <i>Agua Caliente</i> | 4451.40 | 4209.80 | 4624.90 | 4595.40 | 4248.30 |
| <i>Ventiladores</i> | 1454.10 | 1344.70 | 1488.70 | 1440.70 | 1455.90 |
| <i>Bombas</i> | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| <i>Extras</i> | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| <i>Equipos Misceláneos</i> | 7249.00 | 6751.90 | 7456.10 | 7248.00 | 7201.60 |
| <i>Iluminación de servicio</i> | 2244.60 | 2089.10 | 2301.40 | 2243.80 | 2222.50 |
| <i>Iluminación</i> | 3356.30 | 3121.90 | 3438.80 | 3352.80 | 3323.30 |
| <i>TOTAL</i> | 25478.60 | 23617.50 | 27234.50 | 29123.40 | 30443.40 |

La figura 4.1 muestra los valores de demanda eléctrica para la estación científica mostrados en la tabla 18, donde claramente se observa un valor total por encima de los 60 KW para el mes de mayo, convirtiéndose este valor en nuestro valor pico para el dimensionamiento del sistema de energías renovables con el que se

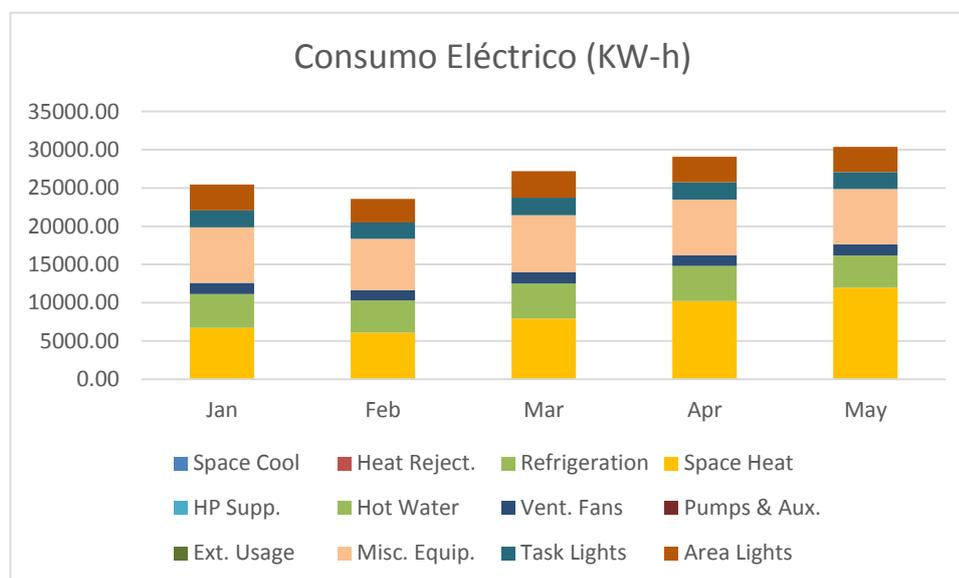
espera satisfacer las demandas energéticas de la estación científica Pedro Vicente Maldonado.

Además se observa que el valor correspondiente a calefacción representa la mayor cantidad de la demanda eléctrica que se requiere mensualmente.



**FIGURA 4.1 LÍNEA BASE DE DEMANDA ELÉCTRICA ECPVM,
GENERADO POR EQUSET COPYRIGHT ©1998-2006 JAMES J.
HIRSCH,**

Al igual que la figura 4.1, la figura 4.2 presenta de forma gráfica los valores presentados en la tabla 19 correspondiente al consumo eléctrico de la estación científica con un valor superior a los 30000 KWh siendo también el mes de mayor consumo el mes de mayo.



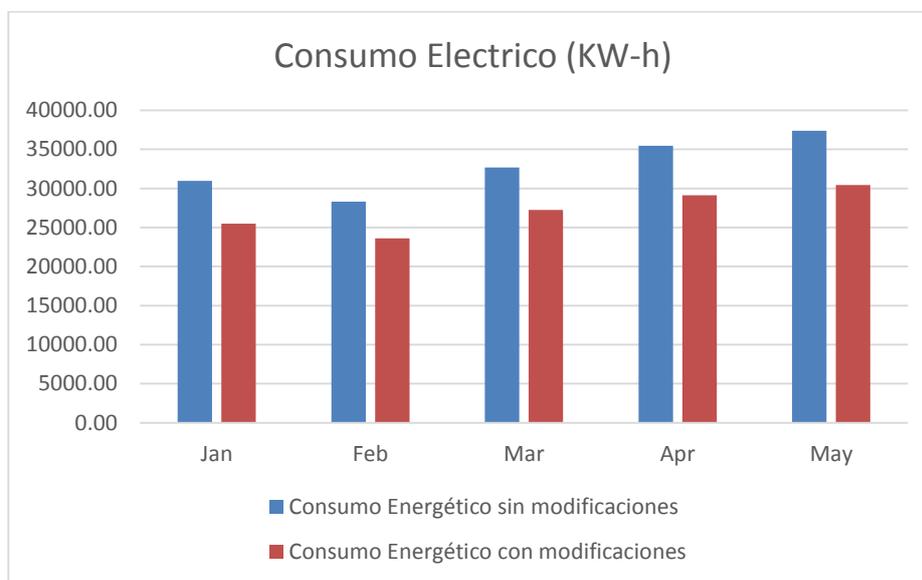
**FIGURA 4.2 LINEA BASE DE CONSUMO ELÉCTRICO ECPVM,
GENERADO POR EQUSET COPYRIGHT ©1998-2006 JAMES J.
HIRSCH,**

La tabla 20 muestra la variación en los valores totales junto con el porcentaje de variación para cada mes tanto para el consumo eléctrico (KW-h) como para la demanda eléctrica (KW). Se observa una máxima variación para el consumo eléctrico en el mes de mayo con un valor del 19%, mientras que para la demanda eléctrica la mayor variación se da en los meses de febrero, marzo y abril con un valor de 27%, para el mes de mayo que presenta mayor variación para el consumo eléctrico se observa un valor de 26%

TABLA 20
VARIACIÓN DE CONSUMO Y DEMANDA ENERGÉTICA
POR USO DE VESTÍBULO EN LA ECPVM

| | <i>Ene</i> | <i>Feb</i> | <i>Mar</i> | <i>Abr</i> | <i>Mayo</i> |
|---|------------|------------|------------|------------|-------------|
| <i>Consumo Eléctrico sin modificaciones</i> | 30973.60 | 28316.40 | 32674.20 | 35468.50 | 37371.20 |
| <i>Consumo Eléctrico con modificaciones</i> | 25478.60 | 23617.50 | 27234.50 | 29123.40 | 30443.40 |
| <i>porcentaje de variación</i> | 18% | 17% | 17% | 18% | 19% |
| <i>Demanda Eléctrica sin modificaciones</i> | 63.45 | 60.30 | 62.72 | 69.62 | 82.99 |
| <i>Demanda Eléctrica con modificaciones</i> | 54.93 | 43.97 | 45.84 | 51.01 | 61.18 |
| <i>Porcentaje de variación</i> | 13% | 27% | 27% | 27% | 26% |

La figura 4.3 muestra gráficamente los valores de consumo eléctrico expuestos en la tabla 20 donde se observa en color rojo los nuevos valores para el consumo eléctrico a consecuencia de la disminución de los valores a consecuencia de la variación en la infiltración. En color azul se observa los valores iniciales de consumo eléctrico.



**FIGURA 4.3 VARIACION EN VALORES DE CONSUMO
ELECTRICO EN ECPVM**

La figura 4.4 de forma gráfica presenta los valores de demanda eléctrica expuestos en la tabla 20 donde, en color rojo se observa los nuevos valores para la demanda eléctrica y en color azul se observa los valores iniciales de consumo eléctrico.

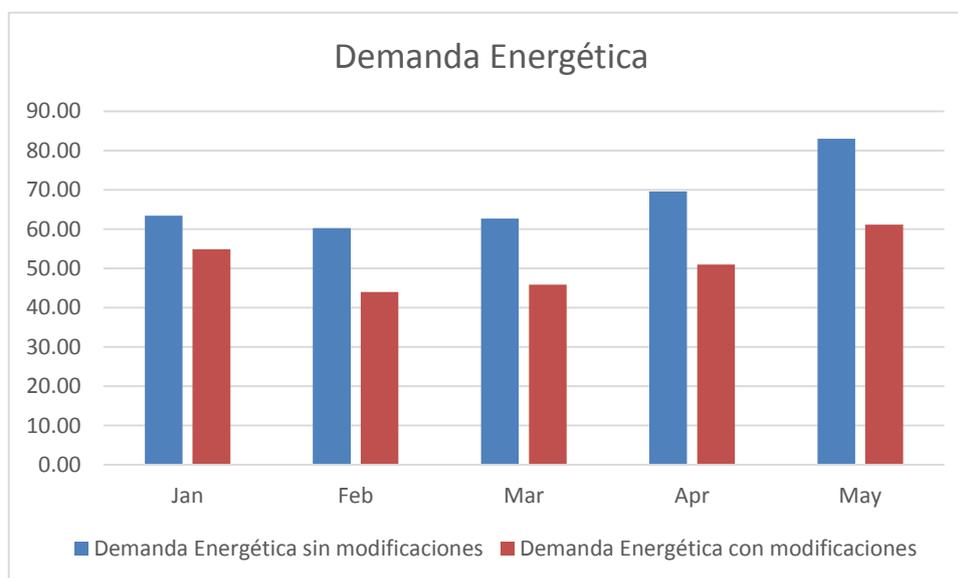


FIGURA 4.4 VARIACION EN VALORES DE CONSUMO ELÉCTRICO ECPVM POR USO DE VESTIBULOS

La tabla 21 muestra la variación en los valores de calefacción junto con el porcentaje de variación para cada mes tanto para el consumo eléctrico (KW-h) como para la demanda eléctrica (KW). Se observa una máxima variación para el consumo eléctrico (KW-h) en el mes de febrero con un valor del 39%, mientras que para la demanda eléctrica la mayor variación se da en los mes de febrero con un valor de 27%, para el mes de mayo que presenta mayor variación para el consumo eléctrico se observa un valor de 48%.

TABLA 21

VARIACIÓN EN CONSUMO Y DEMANDA ENERGÉTICA

POR CALEFACCIÓN EN ECPVM POR USO DE

VESTIBULOS

| | <i>Enero</i> | <i>Febrero</i> | <i>Marzo</i> | <i>Abril</i> | <i>Mayo</i> |
|--|--------------|----------------|--------------|--------------|-------------|
| <i>Consumo en Calefacción sin modificaciones</i> | 11313.20 | 9966.10 | 12442.40 | 15695.20 | 18016.10 |
| <i>Consumo en Calefacción con modificaciones</i> | 6723.20 | 6100.20 | 7924.50 | 10242.80 | 11991.80 |
| <i>variación en Calefacción</i> | 41% | 39% | 36% | 35% | 33% |
| <i>Demanda de Calefacción sin modificaciones</i> | 39.55 | 31.16 | 33.57 | 40.48 | 53.59 |
| <i>Demanda de Calefacción con modificaciones</i> | 32.28 | 16.07 | 17.94 | 23.11 | 33.03 |
| <i>variación en calefacción</i> | 18% | 48% | 47% | 43% | 38% |

La figura 4.5 muestra de forma gráfica la variación en el consumo eléctrico (KW-h) pero en calefacción (space heat) de la estación científica a consecuencia de los cambios realizados ilustrados anteriormente en la tabla 21; de color rojo se muestra los nuevos valores calculados, mientras en azul se encuentran los valores iniciales para cada mes del año. Este parámetro es el que más cambios sufre a consecuencia de la variación en los valores de infiltración.

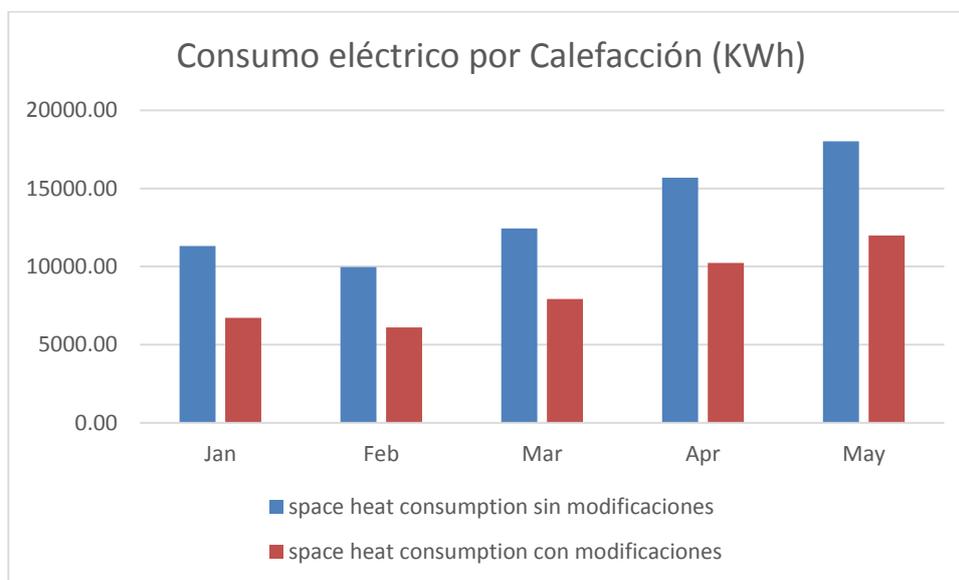


FIGURA 4.5 VARIACION EN CONSUMO ELÉCTRICO POR CALEFACCIÓN ECPVM POR USO DE VESTIBULOS

Al igual que la figura 4.5, la figura 4.6 ilustra la variación en este caso del consumo eléctrico (KW) en calefacción únicamente, en color azul se presentan los valores iniciales mientras en color rojo se encuentran los nuevos valores calculados por reducción de la infiltración.

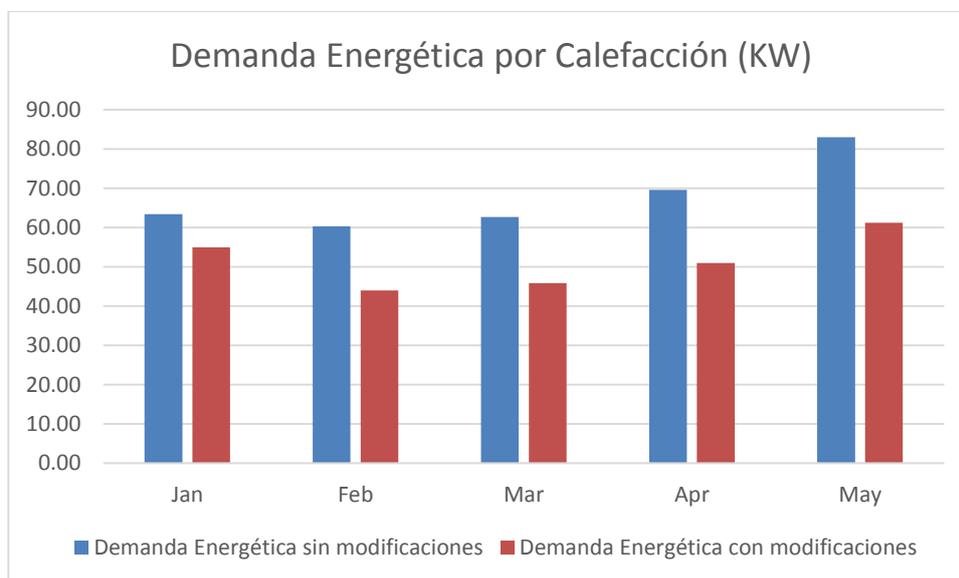


FIGURA 4.6 VARIACION EN DEMANDA ELÉCTRICA POR CALEFACCIÓN EN ECPVM POR USO DE VESTIBULOS

4.2. Propuesta de aprovechamiento de recursos renovables

Para seleccionar de forma adecuada cuál de las dos alternativas de energía renovable se seleccionará, entre solar fotovoltaica o eólica, es necesario examinar la cantidad de energía que se dispone para cada mes en los que va a estar habitada la Estación Científica, de igual manera la facilidad para montaje de las mismas ya que es una zona en la que no hay la veracidad de existencia de una grúa, tecla o algún accesorio que permita izaje de elementos pesados como podrían ser las palas

de un aerogenerador o los elementos que vayan en altura dentro de la góndola.

Para definir el tipo de energía que se podría aprovechar conociendo las condiciones presentes de viento y radiación en la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, es necesario comparar mes a mes la cantidad de energía que está presente. En la Tabla 4.4 se muestran estos valores.

En la Tabla 22 los valores presentes para Energía Solar Fotovoltaica se encuentran expresados en KW-h/m²; mientras para Energía Eólica se encuentran en W/m². Para este proyecto solo se ha considerado los 5 primeros meses del año, es decir hasta el mes de Mayo.

Es importante mencionar que en las Tablas 15 y 16 se considera 100% de eficiencia de conversión de Energía Eólica en Energía Eléctrica, pero la máxima cantidad de energía útil que se puede obtener al convertir Energía Eólica en Eléctrica está alrededor del 40% por el Límite de Betz.

TABLA 22
ENERGÍA EOLICA Y SOLAR FOTOVOLTAICA
DISPONIBLE EN ECPVM

| <i>MES</i> | <i>Energía Eólica disponible (W/m²)</i> | <i>Energía Solar Disponible (KW-h/m²)</i> |
|-------------------|--|--|
| <i>ENERO</i> | 314.3 | 129.00 |
| <i>FEBRERO</i> | 495.2 | 88.00 |
| <i>MARZO</i> | 531.4 | 61.00 |
| <i>ABRIL</i> | 462.1 | 26.00 |
| <i>MAYO</i> | 740.0 | 8.00 |
| <i>JUNIO</i> | 799.0 | 3.00 |
| <i>JULIO</i> | 660.3 | 5.00 |
| <i>AGOSTO</i> | 763.8 | 20.00 |
| <i>SEPTIEMBRE</i> | 667.0 | 51.00 |
| <i>OCTUBRE</i> | 1133.4 | 95.00 |
| <i>NOVIEMBRE</i> | 458.2 | 131.00 |
| <i>DICIEMBRE</i> | 700.7 | 147.00 |

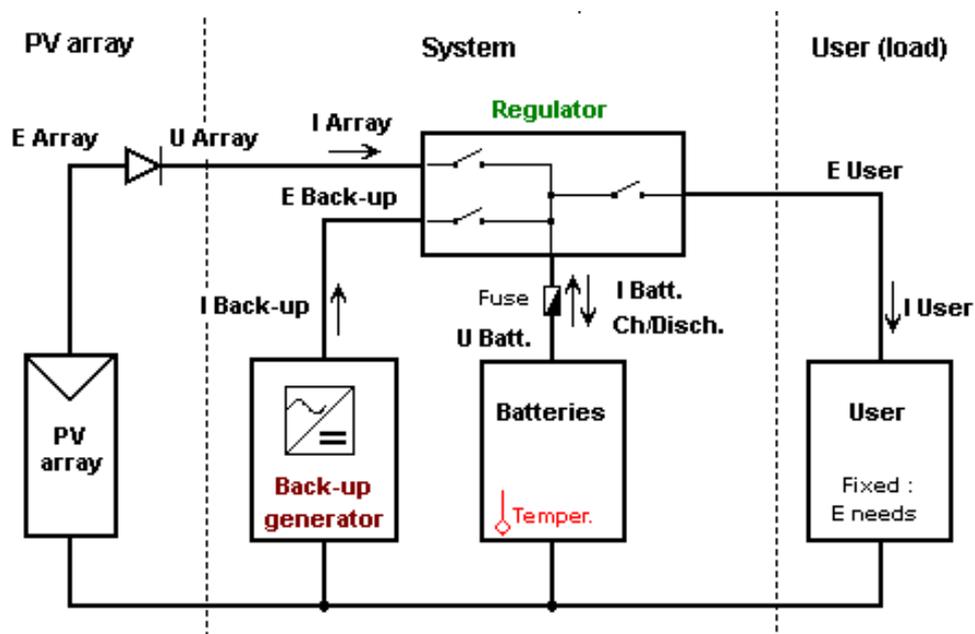
El Límite de Betz indica que solo se puede convertir cerca del 40% de la Energía Cinética del viento [16], en este caso proporcionada por la Energía Eólica, en Energía Mecánica mediante el uso de un aerogenerador.

Con los datos de energías disponibles de los que se dispone en las coordenadas donde se ubica la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, hay tres opciones por las que se podría optar para suplir la demanda de energía que requiere la Estación:

- I. Sistema Fotovoltaico
- II. Sistema Eólico, o
- III. Sistema híbrido Fotovoltaico-Eólico

Para un sistema fotovoltaico, se emplea el software PVSyst Copyright © University of Geneva con el fin de dimensionar un sistema Fotovoltaico para suplir la demanda de la Estación Científica. Donde se requieren básicamente datos como la ubicación de la Estación Científica, un archivo climático generado por el Software Meteonorm y el consumo energético de la Estación Científica previamente obtenido mediante el software eQuest Copyright ©1998-2006 James J. Hirsch.

En el figura 4.7 se puede observar el diagrama del sistema fotovoltaico empleado para cubrir la demanda energética de la Estación Científica. El sistema cuenta con además de los paneles fotovoltaicos con un generador de respaldo (back-up), las respectivas baterías y el respectivo regulador



**FIGURA 4.7 ESQUEMA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO,
GENERADA POR SOFTWARE PVSYST COPYRIGHT ©**

UNIVERSITY OF GENEVA

Los resultados obtenidos mediante el software PVsyst Copyright © University of Geneva indican que para cubrir la demanda energética de la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado se requeriría un área aproximada de 2061 m², en la que se encuentran repartidos 264 módulos con una potencia nominal de 2450 Wp; Que además emplea un sistema con generador auxiliar de 3 KW (Back-up), conectados a un sistema de baterías con una capacidad nominal de 51000 Ah y un convertidor AC-DC. Como muestra la tabla 23.

Al ser el área requerida para instalar el sistema fotovoltaico un poco extensa (aproximadamente 2000 m²) vuelve al sistema poco viable.

En el anexo 6 se muestra el informe del software PVsyst Copyright © University of Geneva, donde se muestra con más detalle las especificaciones del sistema fotovoltaico.

TABLA 23

**PRINCIPALES COMPONENTES DE SISTEMA
FOTOVOLTAICO PARA ECPVM, GENERADA POR
PVSYST COPYRIGHT © UNIVERSITY OF GENEVA**

| Paneles fotovoltaicos | | Baterías | |
|-----------------------|-----------------|-----------------------|-------------|
| Marca | Soitec | Fabricante | Rolls |
| N° módulos | 263 en paralelo | Tensión | 96 V |
| | 1 en serie | N° de unidades | 48 en serie |
| Prod. nominal | 2450 wp | | 17 paralelo |
| Superficie | 2061 m2 | Capa nominal | 51000 Ah |

Otra opción considerada anteriormente es el uso de un sistema eólico o un sistema híbrido en el que se emplea un sistema fotovoltaico - eólico complementado con un motor generador que emplea como combustible diésel. La finalidad es disminuir las emisiones al ambiente producidas por los generadores la mayor cantidad que sea posible.

Con el software Homer Pro Copyright ©2014, HOMER energy, LLC, se puede simular diferentes condiciones y combinaciones con respecto a los tres componentes para el sistema híbrido, los cuales son:

- I. Paneles fotovoltaicos
- II. Aerogeneradores
- III. Generadores

Una de las facilidades que permite este software es la obtención de modelos optimizados para las diferentes combinaciones del sistema empleando los recursos disponibles.

Considerando esto, se puede seleccionar un sistema híbrido o un sistema puramente eólico con el que se podría obtener hasta 0 de emisiones al ambiente, siendo este el caso más idealizado desde este punto de vista.

Se realizó 2 simulaciones a fin de encontrar la más óptima tanto desde el punto de vista energético como la viabilidad de acuerdo al espacio y condiciones que se tiene.

El primer caso corresponde a un sistema híbrido con presencia de los tres subsistemas, solar fotovoltaico, eólico y un generador a diésel de respaldo como se muestra en la tabla 24 en esta tabla se observa que la mayor parte de la energía suministrada a la estación científica es proveniente de los aerogeneradores con una fracción aproximadamente de 99%.

TABLA 24
ESTRUCTURA DEL SISTEMA HIBRIDO, GENERADA
POR HOMER COPYRIGHT ©2014, HOMER ENERGY,
LLC,

| <i>Componente</i> | <i>Especificación</i> | <i>Cantidad</i> |
|---------------------|-----------------------|-----------------|
| <i>Fotovoltaico</i> | Generic flat plate PV | 10 KW |
| <i>Eólico</i> | Norvento nED 100 KW | 200 KW |
| <i>Generador</i> | 10 KW Genset | 20 KW |
| <i>Batería</i> | CELLCUBE FB 10-70 | 60 baterías |
| <i>Convertidor</i> | - | 100 KW |

Los principales componentes del sistema híbrido que inicialmente se propone para abastecer de energía a la estación científica se muestran en la tabla 25 donde además se muestran parámetros como la capacidad nominal y valdría resaltar la producción total anual.

TABLA 25
ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA HIBRIDO,
GENERADA POR HOMER PRO COPYRIGHT ©2014,
HOMER ENERGY, LLC,

| <i>Parámetro</i> | <i>Componente fotovoltaico</i> | <i>Componente eólico</i> | <i>Unidades</i> |
|----------------------------|--------------------------------|--------------------------|-----------------|
| <i>Capacidad nominal</i> | 10 | 200 | KW |
| <i>Salida media</i> | 1 | 111 | KW |
| <i>Salida media</i> | 22 | - | KW-h/día |
| <i>Factor de capacidad</i> | 9 | 55 | % |
| <i>Producción total</i> | 8188 | 970784 | KW-h/año |
| <i>Salida mínima</i> | 0 | 0 | KW |
| <i>Salida máxima</i> | 10 | 200 | KW |
| <i>Penetración</i> | 4 | 482 | % |
| <i>Horas de operación</i> | 4379 | 8191 | horas/año |

En el caso de este sistema propuesto, requiere el uso de un generador de respaldo (back-up), cuyas principales parámetros se presentan en la tabla 26 donde los principales parámetros a resaltar son el consumo anual de combustible que en este caso es diésel.

TABLA 26

ESPECIFICACIONES GENERADOR DE RESPALDO

SISTEMA HIBRIDO, GENERADA POR HOMER PRO

COPYRIGHT ©2014, HOMER ENERGY, LLC,

| <i>Parámetro</i> | <i>Valor</i> | <i>Unidades</i> |
|-----------------------------------|--------------|-----------------|
| <i>Horas de operación</i> | 60 | hrs/año |
| <i>Producción eléctrica</i> | 501 | KW-h/año |
| <i>Salida eléctrica media</i> | 8 | KW |
| <i>Salida eléctrica mínima</i> | 5 | KW |
| <i>Salida eléctrica máxima</i> | 20 | KW |
| <i>Consumo de combustible</i> | 201 | L/año |
| <i>Entrada de energía</i> | 1978 | KW-h/año |
| <i>Eficiencia eléctrica media</i> | 25 | % |

Otro caso propuesto corresponde a un sistema eólico respaldado con un generador a diésel, es decir sin el empleo de paneles fotovoltaicos. La tabla 27 muestra los componentes de este sistema, en este caso la energía suministrada tendrá un origen 100% eólico, a diferencia del caso anterior que consideraba el uso de un subsistema fotovoltaico.

TABLA 27
ESTRUCTURA DEL SISTEMA EÓLICO, GENERADA
POR HOMER

| <i>Componente</i> | <i>Especificación</i> | <i>Cantidad</i> |
|--------------------|-----------------------|-----------------|
| <i>Eólico</i> | Norvento nED 100 KW | 200 KW |
| <i>Generador</i> | 10 KW Genset | 20 KW |
| <i>Batería</i> | CELLCUBE FB 10-70 | 60 baterías |
| <i>Convertidor</i> | - | 100 KW |

En la tabla 28 se presentan las especificaciones para el principal componente del sistema, es decir los aerogeneradores, donde el principal parámetro a resaltar es la producción total anual de energía cuyo valor está por encima de los 900000 KW-h/año.

TABLA 28
ESPECIFICACIONES SISTEMA EÓLICO, GENERADA
POR HOMER PRO COPYRIGHT ©2014, HOMER
ENERGY, LLC,

| <i>Parámetro</i> | <i>Componente Eólico</i> | <i>Unidades</i> |
|----------------------------|--------------------------|-----------------|
| <i>Capacidad nominal</i> | 200 | KW |
| <i>Salida media</i> | 111 | KW |
| <i>Factor de capacidad</i> | 55 | % |
| <i>Producción total</i> | 970784 | KW-h/año |
| <i>Salida mínima</i> | 0 | KW |
| <i>Salida máxima</i> | 200 | KW |
| <i>Penetración eólica</i> | 496 | % |
| <i>Horas de operación</i> | 8191 | horas/año |

Otro principal componente de este sistema, es el generador de respaldo (back-up) considerado en esta propuesta debido al interés en el consumo de combustible, a fin de compararlo con un sistema abastecido totalmente por generadores. En la tabla 29 se muestran las especificaciones para el generador perteneciente a este sistema.

TABLA 29
ESPECIFICACIONES GENERADOR DE RESPALDO DE
SISTEMA EOLICO, GENERADA POR HOMER PRO
COPYRIGHT ©2014, HOMER ENERGY, LLC,

| <i>Parámetro</i> | <i>Valor</i> | <i>Unidades</i> |
|-----------------------------------|--------------|-----------------|
| <i>Horas de operación</i> | 61 | hrs/año |
| <i>Producción eléctrica</i> | 522 | KW-h/año |
| <i>Salida eléctrica media</i> | 9 | KW |
| <i>Salida eléctrica mínima</i> | 5 | KW |
| <i>Salida eléctrica máxima</i> | 20 | KW |
| <i>Consumo de combustible</i> | 208 | L/año |
| <i>Entrada de energía</i> | 2044 | KW-h/año |
| <i>Eficiencia eléctrica media</i> | 26 | % |

Ambos casos emplean como componentes un banco de baterías y un convertidor, los mismos se detallarán en las tablas 30 y 31 respectivamente, de la tabla 30 se puede resaltar el valor de autonomía que posee este sistema así como sus pérdidas.

De la tabla 31 se puede resaltar principalmente las pérdidas, para el convertidor están alrededor del 10% mientras para el inversor es de aproximadamente 15%.

TABLA 30

**SISTEMA DE BATERÍAS, GENERADA POR HOMER
PRO COPYRIGHT ©2014, HOMER ENERGY, LLC,**

| <i>Parámetro</i> | <i>Valor</i> | <i>Unidades</i> |
|---------------------------|--------------|-----------------|
| <i>Capacidad nominal</i> | 4200 | KW-h |
| <i>Autonomía</i> | 183 | horas |
| <i>Energía de entrada</i> | 84877 | KW-h/año |
| <i>Energía de salida</i> | 54321 | KW-h/año |
| <i>Pérdidas</i> | 30556 | KW-h/año |
| <i>Rendimiento anual</i> | 67901 | KW-h/año |

TABLA 31

**CONVERTOR E INVERSOR, GENERADA POR HOMER
PRO COPYRIGHT ©2014, HOMER ENERGY, LLC,**

| <i>Parámetro</i> | <i>Inversor</i> | <i>Rectificador</i> | <i>Unidades</i> |
|---------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| <i>Capacidad</i> | 100 | 90 | KW |
| <i>Salida media</i> | 5 | 13 | KW-h/día |
| <i>Salida mínima</i> | 0 | 0 | KW |
| <i>Salida máxima</i> | 81 | 100 | KW |
| <i>Horas de operación</i> | 1249 | 3813 | horas/año |
| <i>Energía entrada</i> | 44091 | 129843 | KW-h/año |
| <i>Energía salida</i> | 39682 | 110366 | KW-h/año |
| <i>Pérdidas</i> | 4409 | 19477 | KW-h/año |
| <i>% Pérdidas</i> | 10% | 15% | |

Como caso adicional se tiene la simulación del sistema bajo las mismas condiciones climáticas y de carga, pero cubriendo la demanda energética únicamente con los generadores a diésel. Los resultados de esta simulación se muestran en la tabla 32

TABLA 32
ESTRUCTURA DEL SISTEMA A DIESEL, GENERADA
POR HOMER COPYRIGHT ©2014, HOMER ENERGY,
LLC,

| <i>Componente</i> | <i>Especificación</i> | <i>Cantidad</i> |
|--------------------|-----------------------|-----------------|
| <i>Generador</i> | 10 KW Genset | 100 KW |
| <i>Batería</i> | CELLCUBE FB 10-70 | 10 baterías |
| <i>Convertidor</i> | - | 100 KW |

Es importante mencionar las especificaciones del generador, debido a que esto permitirá conocer dos parámetros importantes como son el consumo de combustible por año y las emisiones que se transmiten al medio ambiente por el uso de esta cantidad de combustible. En la tabla 33 se puede encontrar los detalles de estos generadores, resaltando el valor del consumo de combustible que esta por encima de los 74000 L/año.

TABLA 33
ESPECIFICACIONES GENERADOR, GENERADA POR
HOMER COPYRIGHT ©2014, HOMER ENERGY, LLC,

| <i>Parámetros</i> | <i>Valor</i> | <i>Unidades</i> |
|-----------------------------------|--------------|-----------------|
| <i>Horas de operación</i> | 3210 | hrs/año |
| <i>Producción eléctrica</i> | 234269 | KW-h/año |
| <i>Salida eléctrica media</i> | 73 | KW |
| <i>Salida eléctrica mínima</i> | 40 | KW |
| <i>Salida eléctrica máxima</i> | 100 | KW |
| <i>Consumo de combustible</i> | 74549 | L/año |
| <i>Entrada de energía</i> | 744563 | KW-h/año |
| <i>Eficiencia eléctrica media</i> | 32 | % |

Uno de los principales aspectos que trata de cambiar el uso de energías renovables sustituyendo generadores como es el caso de la estación científica, es disminuir lo más posible emisiones al ambiente producidas por la el uso de combustibles fósiles como el diésel en la generación eléctrica en lugares aislados de la red interconectada. La tabla 34 muestra las emisiones generadas por el uso del generador de respaldo. El valor máximo en los contaminantes está en el dióxido de carbono generada por la combustión de diésel que producen aproximadamente 196000 kg al año. Mientras que con el uso de energía renovable esta cifra, por citar un ejemplo, disminuyen a valores muy cercanos a los 500 Kg por año.

TABLA 34

**EMISIONES AL AMBIENTE POR USO DE DIESEL EN
GENERADOR PARA ECPVM, GENERADA POR HOMER
PRO COPYRIGHT ©2014, HOMER ENERGY, LLC,**

| <i>Contaminante</i> | <i>Solo Generador</i> | <i>Sistema Eólico</i> | <i>Sistema PV</i> | <i>Sistema Hibrido</i> | <i>Unidades</i> |
|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------|
| <i>Dióxido de carbono</i> | 196312 | 547 | 172808 | 529 | Kg/año |
| <i>Monóxido de carbono</i> | 485 | 2 | 427 | 1 | Kg/año |
| <i>Hidrocarburos no quemados</i> | 54 | 0 | 47 | 0 | Kg/año |
| <i>Partículas</i> | 37 | 0 | 32 | 0 | Kg/año |
| <i>Dióxido de Azufre</i> | 394 | 1 | 347 | 1 | Kg/año |
| <i>Óxidos de nitrógeno</i> | 4324 | 12 | 3806 | 12 | Kg/año |

4.3. Presupuesto

Se tiene dos sistemas que emplean energías renovables como base para cubrir la demanda de la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado. Los dos sistemas se detallan en la Tabla 35.

TABLA 35
SISTEMAS DE ENERGÍAS RENOVABLES PARA CUBRIR
DEMANDA ELECTRICA EN ECPVM

| | <i>Sistema Eólico</i> | <i>Sistema Híbrido</i> | |
|----------------------|-----------------------|------------------------|----|
| <i>PV</i> | - | 10 | KW |
| <i>Aerogenerador</i> | 2 | 2 | |
| <i>Generador</i> | 20 | 20 | KW |
| <i>Baterías</i> | 60 | 60 | |
| <i>Convertidor</i> | 100 | 100 | KW |

Se ha seleccionado el sistema eólico como la alternativa más viable para satisfacer la demanda energética de la Estación Científica. El sistema tendría una vida media de aproximadamente 20 años; el presupuesto requerido se muestra en la tabla 36 donde se muestran los costos netos, considerando la existencia de los generadores a diésel en el sitio donde se ubica la estación científica por lo que su costo en el capital inicial no se considera este valor, solo se considera el costo del combustible debido al consumo. Es importante mencionar que este presupuesto es realizado considerando que el proyecto se realizaría en una zona continental donde se cuenta con todas las facilidades de transporte y montaje, no así en el sitio donde se ubica la estación científica.

TABLA 36
COSTOS NETOS DEL SISTEMA EOLICO PARA ECPVM,
GENERADA POR HOMER PRO COPYRIGHT ©2014,
HOMER ENERGY, LLC,

| | <i>Capital</i> | <i>Reemplazo</i> | <i>Combustible</i> | <i>Salvataje</i> | <i>Total</i> |
|------------------------------------|----------------|------------------|--------------------|------------------|--------------|
| <i>Norvento nED 100 KW</i> | 100000 | 3188 | 0 | 1797 | 101391 |
| <i>Generador 10 KW</i> | | 0 | 1721 | 2060 | -339 |
| <i>Baterías CELLCUBE 10-70</i> | 36000 | 0 | 0 | 0 | 36000 |
| <i>Convertidor</i> | 30000 | 12728 | 0 | 2396 | 40332 |
| <i>TOTAL</i> | 166000 | 15916 | 1721 | 6253 | 177384 |

Estos costos son referentes únicamente a los equipos, se debe considerar además el costo de transporte al sitio de montaje (Antártida) también se debe adicionar los costos por montaje de los aerogeneradores y su respectiva puesta en marcha.

Otro costo importante de mencionar es el correspondiente al montaje e instalación de los aerogeneradores, considerando las condiciones presentes en la estación científica (Antártida) se estimó los costos de montaje en lo correspondiente al montaje, independiente de los costos correspondientes a los equipos como aerogeneradores y baterías. En

la tabla 37 se muestran los valores estimados para la mano de obra. Donde se muestra un grupo de trabajo compuesto por 9 personas, entre las que constan supervisores de seguridad y obra, soldador, mecánico, electricista y ayudantes para actividades varias.

Es importante mencionar que queda fuera del alcance de este proyecto el presupuesto por el transporte tanto del personal, como de los diferentes equipos a emplearse entre los que se incluyen los equipos de izaje, como grúas.

TABLA 37
COSTOS POR MANO DE OBRA Y PARA INSTALACION
Y MONTAJE DE SISTEMA EOLICO

| Grupo de Trabajo | # trab. | Mensual Trabajadores | mano de obra total |
|----------------------------------|----------------|-----------------------------|---------------------------|
| <i>1 Supervisor de Obra</i> | 1 | 1989.50 | 3979 |
| <i>1 Supervisor de Seguridad</i> | 1 | 2479.50 | 4959 |
| <i>1 supervisor técnico</i> | 1 | 1989.50 | 3979 |
| <i>1 soldador</i> | 1 | 1744.50 | 3489 |
| <i>1 mecánico</i> | 1 | 1744.50 | 3489 |
| <i>1 electricista</i> | 1 | 1744.50 | 3489 |
| <i>3 ayudantes</i> | 3 | 1926.00 | 3852 |
| <i>Total</i> | 9 | \$ 13,618.00 | \$ 27,236.00 |

Además de los gastos correspondientes a la mano de obra, se debe considerar otros gastos como los de equipos de protección personal (EPP), el equipo para transporte de los componentes y el alquiler del equipo de izaje, siendo este último el más representativo.

TABLA 38
COSTOS ADICIONALES POR INSTALACION Y
MONTAJE DE SISTEMA EOLICO

| Otros gastos | |
|------------------------------------|----------------------|
| <i>Alquiler de equipo de izaje</i> | 75000 |
| <i>transporte de componentes</i> | 5000 |
| <i>EPP</i> | 4000 |
| <i>renta de equipo</i> | 5000 |
| <i>total gastos</i> | 89000 |
| <i>costos administrativos</i> | 13350 |
| <i>total proyecto</i> | \$ 129,586.00 |

4.4. Cronograma

| | ACTIVIDADES A REALIZAR POR MONTAJE DE AEROGENERADORES | ENERO | | | | | FEBRERO | | | | MARZO | | | | | ABRIL | | | | | MAYO | | | | |
|---|---|-------|---|---|---|---|---------|---|---|---|-------|---|---|---|---|-------|---|---|---|---|------|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | DESEMBARCO Y TRASLADO DE EQUIPOS | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | ACOPLE DE PARTES DE TORRES | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | MONTAJE DE TORRES DE AEROGENERADORES | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | ACOPLE DE PIEZAS EN GONDOLAS | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | MONTAJE DE GONDOLAS | | | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | INSTALACION DE SISTEMA DE BATERIAS | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | MONTAJE DE PALAS DE AEROGENERADORES | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | INSTALACION DE SISTEMA DE CABLEADO Y EQUIPOS AUXILIARES | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | |
| 9 | PRUEBAS Y PUESTA EN MARCHA | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | |

El presente cronograma, fue realizado en semanas, para las diferentes actividades a realizar para el montaje y puesta en marcha del sistema de energía renovable. Cabe mencionar que este cronograma no considera el tiempo de traslado desde el continente hasta la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, ni el periodo que toma construir las bases civiles apropiadas para soportar las fuerzas generadas por la acción del viento. Además hay que considerar el uso de equipos de izaje y transporte para realizar el proceso de montaje de los aerogeneradores.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Según lo mencionado anteriormente, el modelo que se siguió (software eQuest Copyright ©1998-2006 James J. Hirsch) para iniciar este proyecto con el análisis energético, presenta facilidad de uso además de precisión. También presento sensibilidad al momento de realizar la simulación nuevamente pero con las modificaciones; en cuanto a la potencia en un inicio se presentó un requerimiento de 82,99 KW en el mes de mayo, convirtiéndose en el valor mensual pico; en el consumo energético el valor mensual correspondiente al valor pico también es el mes de mayo con un valor de 37371 KW-h.

Se demostró que opciones como reducir la infiltración a la edificación de Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, tienen el potencial de reducir un porcentaje promedio de 38% para la potencia (KW) requerida y de 36% para la energía consumida. Esto se produce por una disminución en el valor de la infiltración por el uso de las sugerencias de diseño. Lo que corresponde en potencia eléctrica una reducción de 82,99 KW a 61.18 KW; mientras que para el consumo energético la disminución se presenta de 37371 KW-h a 30443 KW-h.

Al conocer la energía solar y eólica disponible en las coordenadas geográficas donde se ubica la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, el valor de la energía solar disponible disminuye a medida que avanzan los meses comprendidos entre Enero y Mayo, lo que lógicamente deriva en una capacidad mayor de emplear energía eólica para satisfacer la demanda energética de la Estación. Lo cual es corroborado por la simulación realizada por el software Homer Pro Copyright ©2014, HOMER energy, LLC.

Con los datos que se obtuvieron de energía solar y eólica disponible, se empleó dos software para simular sistemas de energía renovable para cubrir la demanda de la Estación; sin embargo al comparar los sistemas, el sistema solar fotovoltaico generado por el software PVsyst Copyright

© University of Geneva requería un área considerable para su empleo óptimo por lo que fue descartado como opción viable. Mediante el software Homer Pro Copyright ©2014, HOMER energy, LLC,, se realizó una simulación para un sistema híbrido y un sistema eólico para las mismas condiciones, optando por seleccionar el sistema eólico por tener un costo neto menor que el sistema híbrido.

La simulación realizada para cubrir la demanda únicamente con los generadores, permite conocer una medida aproximada de la disminución de las emisiones al ambiente producidas por el uso de los moto generadores en la Estación de la Antártida; para citar unos valores se tiene para el Dióxido de Carbono la disminución es de 196000 Kg/año a 790 Kg/año; Monóxido de Carbono 485 Kg/año a 2 Kg/año; Dióxido de Azufre de 394 a 2 Kg/año, el Óxido de Nitrógeno de 4324 a 18 Kg/año.

5.2. Recomendaciones

Al momento de realizar la simulación para el consumo energético, es necesario tener en cuenta los detalles en los datos de entrada para obtener una demanda energética correcta, con lo que se podría tomar la decisión más apropiada en caso de requerir una optimización el sistema. En este caso uno de estos datos de entrada

se refiere a la Infiltración, al momento de ingresar los datos no aparece directamente la opción de ingresar el valor calculado, lo cual podría afectar los datos de salida de la mencionada simulación.

Es necesario considerar todas las opciones de aprovechamiento de energías renovables de acuerdo a los recursos presentes en el sitio de ubicación de la Estación Científica y de cualquier edificación en general, porque al solo considerar un sistema para reemplazar los moto generadores, este sistema podría no ser el más apropiado e incurrir en una propuesta errónea.

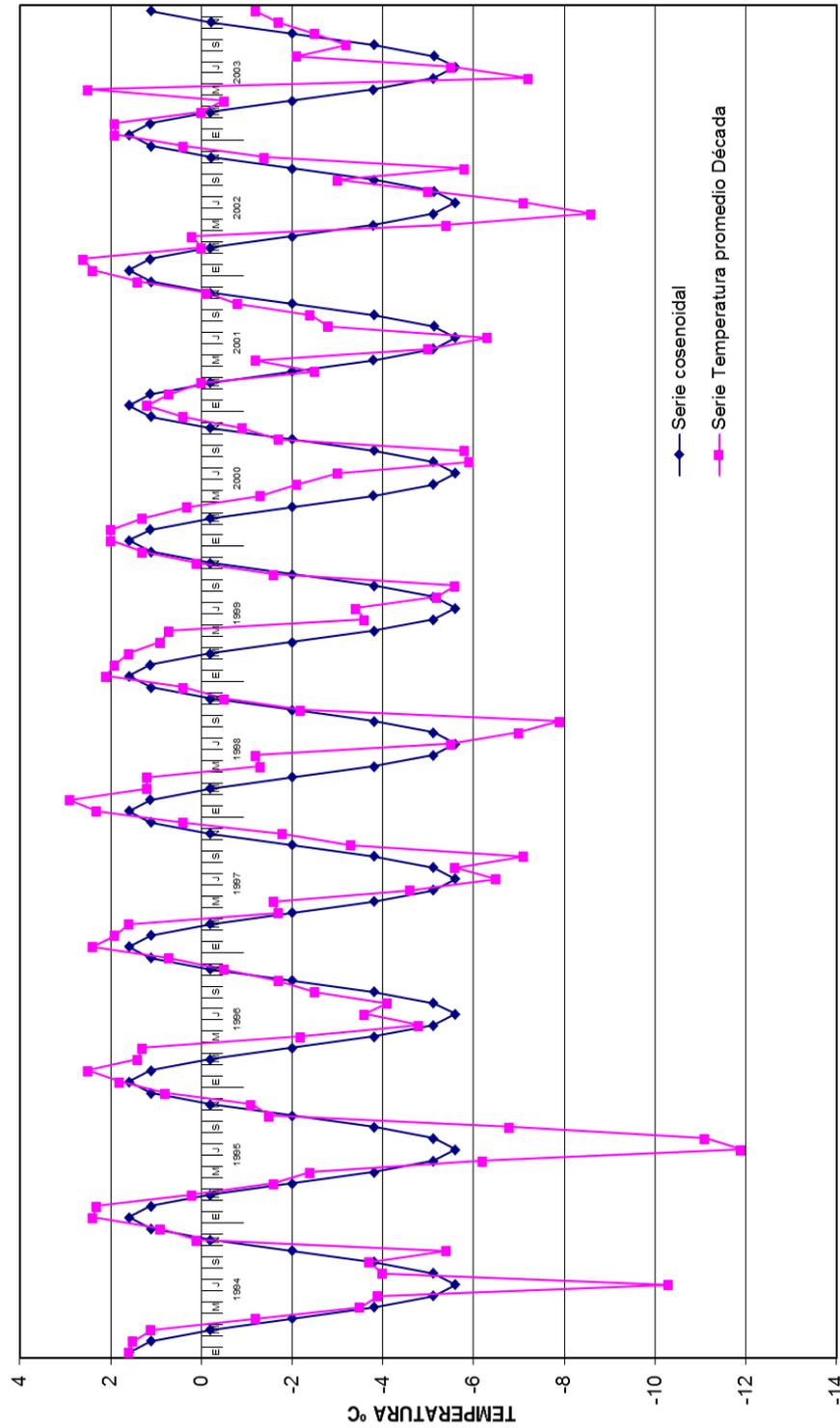
Otro ítem que tiene una gran importancia es el proceso de calentamiento de agua para cubrir el uso residencial o en los laboratorios correspondientes a la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, lo cual en este proyecto se propuso una resistencia eléctrica, sin embargo se puede considerar un sistema compuesto por un colector solar, para aprovechar la radiación solar presente en las coordenadas donde se ubica la estación científica, con lo que se podría conseguir disminuir un poco la potencia requerida.

En la simulación de los sistemas de energías renovables, es necesario considerar el uso de un generador de respaldo, debido a

que si bien se conoce el promedio de los recursos naturales existentes en las coordenadas mencionadas, el valor diario puede no ser suficiente para cubrir por completo la demanda energética.

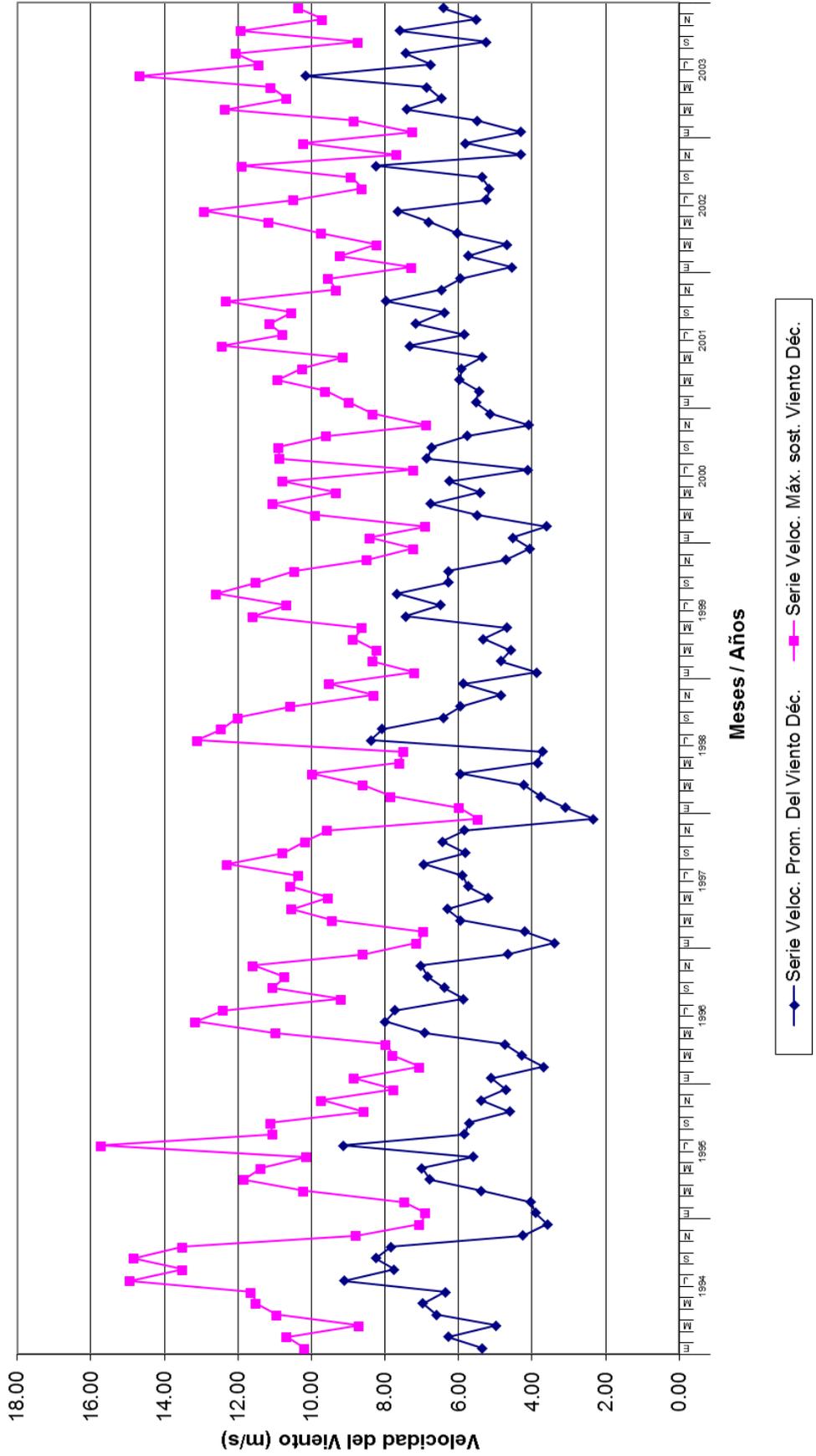
APÉNDICES

APÉNDICE 1: SERIES DE TIEMPO

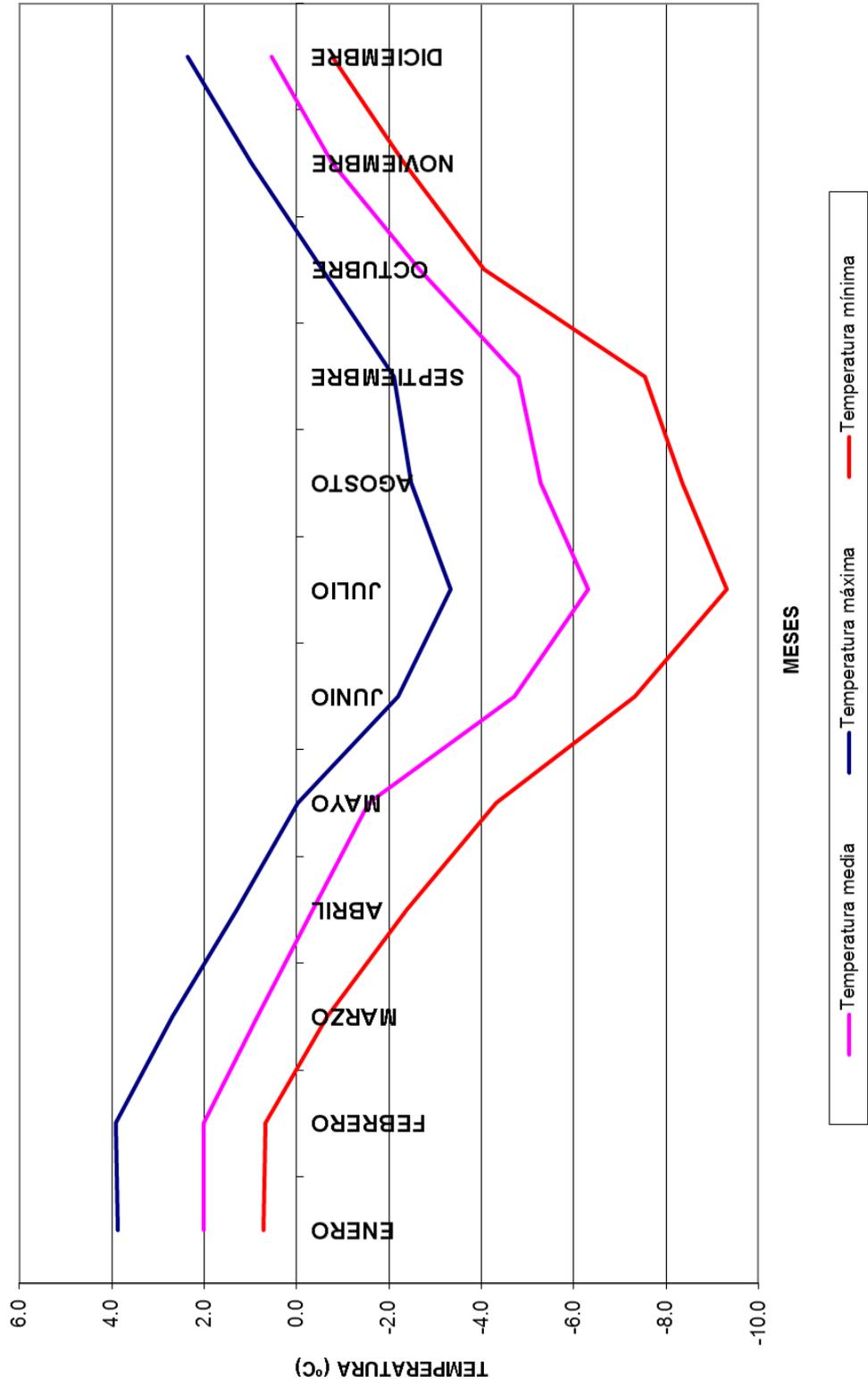


MESES / AÑOS

Series de Velocidades Promedio y Máximas Sostenidas del Viento en una década



TEMPERATURAS PROMEDIOS DÉCADA



APÉNDICE 2: AEROGENERADOR NORVENTO



Especificaciones generales

| | |
|----------------------------|---|
| Potencia nominal | 100 kW |
| Diámetro del rotor | 22 m / 24 m |
| Altura de buje | 24,5 m / 29,5 m / 36 m |
| Concepto | Accionamiento directo (sin multiplicadora ni sistemas hidráulicos) |
| | Controles activos de velocidad y pitch variable |
| | Convertidor del 100% de la potencia IGBT |
| Clase de viento | Diseñado y certificado para IEC IIIA |
| Velocidad media del viento | 7,5 m/s (27 km/h) |
| Ráfaga máxima | 52,5 m/s (190 km/h) |
| Turbulencia característica | 18% (a 15 m/s) |
| Vida útil | 20 años mínimo |
| Certificaciones | Certificado IEC 61400-22 Certificado de diseño por TÜV SÜD Pruebas de tipo realizadas por DNV GL (2015) |

Configuración

| | |
|------------------------------------|--|
| Rotor | |
| Tipo | Tres palas, a barlovento |
| Palas | Fibra de vidrio + epoxi |
| Tren de potencia | |
| Tipo | Accionamiento directo (sin multiplicadora) |
| Generador | Síncrono multipolo de imanes permanentes Refrigeración pasiva |
| Torre | |
| Tipo | Tubular de acero |
| Tramos | 2 (24,5 m) o 3 (29,5 m / 36 m) |
| Sistema eléctrico y control | |
| Controlador | PLC Industrial de ABB |
| Convertidor | IGBT, 100% de la potencia, cuatro cuadrantes Control de potencia reactiva Resistencia de frenado |
| Control | Supervisión remota via internet (disponible 24/7/365) |

Accionamientos

| | |
|------------------------|---|
| Cambio de paso | Actuador electromecánico, tecnología aeronáutica |
| Sistema de frenado | Palas a bandera + convertidor + 2 pinzas electromecánicas |
| Sistema de orientación | 2 motorreductores sobre rodamiento corona |
| Alimentación auxiliar | Sistema de baterías |

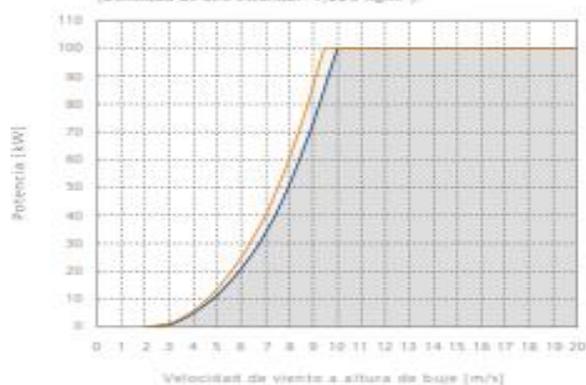
Conexión a red

| | |
|--------------------|--|
| Tensión | Trifásica 400 V A.C. |
| Frecuencia | 50 Hz / 60 Hz |
| Protección | G59/2 |
| Factor de potencia | Ajustable mediante el convertidor (4 cuadrantes) |
| Huecos de tensión | Soporte a huecos de tensión (LVRT) |



CURVA DE POTENCIA ESTÁTICA

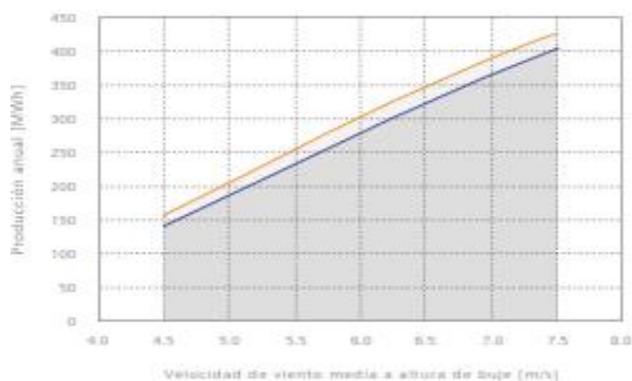
Curva de energía estática (Intensidad de turbulencia=0%)
(Densidad de aire estándar: 1,225 kg/m³)



| Velocidad de viento [m/s] | Potencia [kW] | |
|---------------------------|---------------|-------|
| | Ø22 | Ø24 |
| 2 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | 0.2 | 0.5 |
| 4 | 4.9 | 5.2 |
| 5 | 11.5 | 13.2 |
| 6 | 21.0 | 24.2 |
| 7 | 34.2 | 39.3 |
| 8 | 51.8 | 59.3 |
| 9 | 74.0 | 84.3 |
| 10 | 100.0 | 100.0 |
| 11 | 100.0 | 100.0 |
| 12 | 100.0 | 100.0 |
| 13 | 100.0 | 100.0 |
| 14 | 100.0 | 100.0 |
| 15 | 100.0 | 100.0 |
| 16 | 100.0 | 100.0 |
| 17 | 100.0 | 100.0 |
| 18 | 100.0 | 100.0 |
| 19 | 100.0 | 100.0 |
| 20 | 100.0 | 100.0 |

PRODUCCIÓN ENERGÉTICA ANUAL

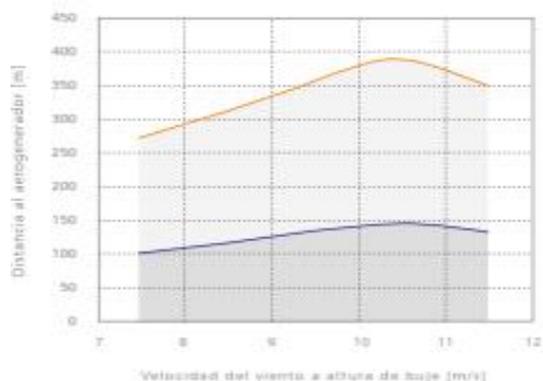
(A la salida del convertidor, con 100% de disponibilidad,
Densidad del aire estándar de 1,225 kg/m³ y distribución Rayleigh)



| Velocidad de viento [m/s] | Producción anual [MWh] | |
|---------------------------|------------------------|-----|
| | Ø22 | Ø24 |
| 4.5 | 138 | 155 |
| 5.0 | 183 | 203 |
| 5.5 | 230 | 252 |
| 6.0 | 276 | 300 |
| 6.5 | 321 | 348 |
| 7.0 | 363 | 388 |
| 7.5 | 401 | 425 |

CÁLCULO DE ALCANCE DEL NIVEL DE RUIDO

(Según ETSU-R-07 y la Guía de Buenas Prácticas del IDA)



| Velocidad de viento a altura de buje [m/s] | Distancia al aerogenerador [m] | |
|--|--------------------------------|----------------------------|
| | L _{Aeq} =45 dB(A) | L _{Aeq} =35 dB(A) |
| 7 - 8 | 100 | 275 |
| 8 - 9 | 115 | 310 |
| 9 - 10 | 130 | 350 |
| 10 - 11 | 145 | 385 |
| 11 - 12 | 130 | 350 |

El nED100 puede funcionar en Modo Ruido Bajo lo que reduce en 2dB el nivel máximo de ruido emitido por el aerogenerador en su funcionamiento Modo Normal, característica que reduce significativamente el alcance del ruido.

APÉNDICE 3: BATERIAS CELLCUBE

TAILOR-MADE SYTEM POWER OUTPUT FROM KW TO MW

CellCube - The modular solution for every application.

Flexible, modular and individually applicable - that is CellCube, the redox flow energy storage system based on vanadium. The modules of the individual CellCube families can be combined simply and quickly, depending on the requirement. This is the basis for a flexible, tailor-made implementation and a wide range of power output from the kilowatt range to the megawatt range.

Available power and storage capacity

| | Power output (kW) | | Storage capacity (kWh) | | | |
|-----------------|-------------------|----|------------------------|-----|------|---|
| CellCube FB 10 | 10 | 40 | 70 | 100 | 130 |  |
| CellCube FB 20 | 20 | 40 | 70 | 100 | 130 | |
| CellCube FB 30 | 30 | 40 | 70 | 100 | 130 | |
| CellCube FB 200 | 200 | | 400 | 800 | 1600 |  |

CellCube - combination examples

| | | | |
|---|--|--|---------------------------------------|
|  | FB 10-100 10 kW, 100 kWh |  | 2x FB 10-100 20 kW, 200 kWh |
|  | FB 200-400 200 kW, 400 kWh |  | FB 200-800 200 kW, 800 kWh |
|  | FB 400-1600 400 kW, 1600 kWh |  | FB 400-800 400 kW, 800 kWh |

A solution for every requirement *

| Power (kW) | 1 h | 2 h | 3 h | 4 h | 5 h | 6 h | 8 h | 10 h |
|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 10 | FB 10-40 | FB 10-40 | FB 10-40 | FB 10-70 | FB 10-70 | FB 10-100 | FB 10-100 | FB 10-130 |
| 20 | FB 20-40 | FB 20-70 | FB 20-70 | FB 20-100 | FB 20-130 | FB 200-400 | FB 200-400 | FB 200-400 |
| 30 | FB 30-40 | FB 20-70 | FB 30-100 | FB 30-130 | FB 200-400 | FB 200-400 | FB 200-400 | FB 200-800 |
| 100 | FB 200-400 | FB 200-400 | FB 10-40 | FB 200-800 | FB 200-800 | FB 200-800 | FB 200-1600 | FB 200-1600 |
| 150 | FB 200-400 | FB 200-400 | FB 200-800 | FB 200-800 | FB 200-1600 | FB 200-1600 | FB 200-1600 | FB 200-1600 |
| 200 | FB 200-400 | FB 200-800 | FB 200-800 | FB 200-1600 | FB 200-1600 | FB 200-1600 | | |

* The optimal combination of power and energy capacity are specified in each case (other combinations or oversizing are also possible)

CELLCUBE

Technical data.

| Performance and energy | CellCube FB 10/20/30 kW | CellCube FB 200 kW |
|---|---|--|
| Nominal charge output | 10/20/30 kW | 200 kW |
| Nominal discharge output | 10/20/30 kW | 200 kW |
| Capacity of the energy storage system | 40/70/100/130 kWh | 400/800/1600 kWh |
| Battery and system voltage | | |
| Output voltage option | - 48 VDC; 120 VAC; 230 VAC (1-phase); 400 VAC (3-phase) | 400 VAC |
| Duration of connection/Reaction time | grid-independent: < 20 ms, remote converter: < 3 ms | |
| Control system | | |
| Control via external interfaces | serial, TCP/IP, bus systems | |
| Monitoring | | |
| Condition detection via remote monitoring by e-mail | State of charge (SOC), available energy, charge/discharge power output, and more | |
| Efficiency | | |
| Charge/discharge cycle DC | up to 80 % | up to 80 % |
| Multi-stage management reduces power losses | 3 independent, switchable circuits with energy-efficient pump control system | 4 independent, switchable circuits with energy-efficient pump control system |
| Self-discharge | | |
| Self-discharge in standby** | < 150 W | < 200 W |
| Self-discharge in tank | negligible (< 1 % per year) | negligible (< 1 % per year) |
| Size and weight | | |
| Dimensions L x W x H | 4,660 x 2,200 x 2,420 mm (15 x 7 x 8 ft) | 6,060 x 2,440 x 5,800 mm* (20 x 8 x 19 ft) |
| Weight (empty condition) | 3,8 - 4,5 t | 20 t |
| Gross weight (filled condition) | 7 - 14 t | 60 t |
| Climatic operating conditions | | |
| Climatic control | -40°C to +50°C (monthly average temperature) The inside temperature is controlled between 20°C and 30°C by an intelligent temperature management system. Suitable insulation (for heating and cooling) allows deployment in any climate. | |

* Base unit. ** Subject to change.

TABLA 2

Determinación del factor de forma (k) de Weibull en función de la velocidad media del viento (V) y el tipo de varianza: alta ($k = 0.73 \bar{V}^{1/2}$); media ($k = 0.94 \bar{V}^{1/2}$); baja ($k = 1.05 \bar{V}^{1/2}$)

| VARIANZA | V | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |
|----------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ALTA | 0.0 | 0.00 | 0.23 | 0.33 | 0.40 | 0.46 | 0.52 | 0.56 | 0.61 | 0.65 | 0.69 |
| MEDIA | | 0.00 | 0.30 | 0.42 | 0.51 | 0.59 | 0.66 | 0.73 | 0.79 | 0.84 | 0.89 |
| BAJA | | 0.00 | 0.33 | 0.47 | 0.58 | 0.66 | 0.74 | 0.81 | 0.88 | 0.94 | 1.00 |
| ALTA | 1.0 | 0.73 | 0.76 | 0.80 | 0.83 | 0.86 | 0.89 | 0.92 | 0.95 | 0.98 | 1.01 |
| MEDIA | | 0.94 | 0.98 | 1.03 | 1.07 | 1.11 | 1.15 | 1.19 | 1.22 | 1.26 | 1.30 |
| BAJA | | 1.05 | 1.10 | 1.15 | 1.20 | 1.24 | 1.28 | 1.33 | 1.37 | 1.41 | 1.45 |
| ALTA | 2.0 | 1.03 | 1.06 | 1.08 | 1.11 | 1.13 | 1.15 | 1.18 | 1.20 | 1.22 | 1.24 |
| MEDIA | | 1.33 | 1.36 | 1.39 | 1.42 | 1.46 | 1.49 | 1.52 | 1.54 | 1.57 | 1.60 |
| BAJA | | 1.48 | 1.52 | 1.56 | 1.59 | 1.63 | 1.66 | 1.69 | 1.72 | 1.76 | 1.79 |
| ALTA | 3.0 | 1.26 | 1.28 | 1.30 | 1.33 | 1.35 | 1.36 | 1.38 | 1.40 | 1.42 | 1.44 |
| MEDIA | | 1.63 | 1.66 | 1.68 | 1.71 | 1.73 | 1.76 | 1.78 | 1.81 | 1.83 | 1.86 |
| BAJA | | 1.82 | 1.85 | 1.88 | 1.91 | 1.94 | 1.96 | 1.99 | 2.02 | 2.05 | 2.07 |
| ALTA | 4.0 | 1.46 | 1.48 | 1.54 | 1.51 | 1.53 | 1.55 | 1.56 | 1.58 | 1.60 | 1.62 |
| MEDIA | | 1.88 | 1.90 | 1.93 | 1.95 | 1.97 | 1.99 | 2.02 | 2.04 | 2.06 | 2.08 |
| BAJA | | 2.10 | 2.13 | 2.15 | 2.18 | 2.20 | 2.23 | 2.25 | 2.28 | 2.30 | 2.32 |
| ALTA | 5.0 | 1.63 | 1.65 | 1.66 | 1.68 | 1.70 | 1.71 | 1.73 | 1.74 | 1.76 | 1.77 |
| MEDIA | | 2.10 | 2.12 | 2.14 | 2.16 | 2.18 | 2.20 | 2.22 | 2.24 | 2.26 | 2.28 |
| BAJA | | 2.35 | 2.37 | 2.39 | 2.42 | 2.44 | 2.46 | 2.48 | 2.51 | 2.53 | 2.55 |
| ALTA | 6.0 | 1.79 | 1.80 | 1.82 | 1.83 | 1.85 | 1.86 | 1.88 | 1.89 | 1.90 | 1.92 |
| MEDIA | | 2.30 | 2.32 | 2.34 | 2.36 | 2.38 | 2.40 | 2.41 | 2.43 | 2.45 | 2.47 |
| BAJA | | 2.57 | 2.59 | 2.61 | 2.64 | 2.66 | 2.68 | 2.70 | 2.72 | 2.74 | 2.76 |
| ALTA | 7.0 | 1.93 | 1.94 | 1.96 | 1.97 | 1.98 | 2.00 | 2.01 | 2.02 | 2.04 | 2.05 |
| MEDIA | | 2.49 | 2.50 | 2.52 | 2.54 | 2.56 | 2.57 | 2.59 | 2.61 | 2.62 | 2.64 |
| BAJA | | 2.78 | 2.80 | 2.82 | 2.84 | 2.86 | 2.88 | 2.89 | 2.91 | 2.93 | 2.95 |
| ALTA | 8.0 | 2.06 | 2.08 | 2.09 | 2.10 | 2.12 | 2.13 | 2.14 | 2.15 | 2.16 | 2.18 |
| MEDIA | | 2.66 | 2.68 | 2.69 | 2.71 | 2.72 | 2.74 | 2.76 | 2.77 | 2.79 | 2.80 |
| BAJA | | 2.97 | 2.99 | 3.01 | 3.02 | 3.04 | 3.06 | 3.08 | 3.10 | 3.11 | 3.13 |

TABLA 3

Valores del Coeficiente k del Weibull en Función del Cociente de la
Desviación Típica (σ) y la Velocidad Media (\bar{V}) del Viento

| k | σ/\bar{V} | k | σ/\bar{V} | k | σ/\bar{V} |
|------|------------------|------|------------------|-------|------------------|
| 1.20 | 0.837 | 2.65 | 0.406 | 4.70 | 0.245 |
| 1.25 | 0.809 | 2.70 | 0.400 | 4.80 | 0.239 |
| 1.30 | 0.780 | 2.75 | 0.394 | 4.90 | 0.234 |
| 1.35 | 0.752 | 2.80 | 0.387 | 5.00 | 0.229 |
| 1.40 | 0.724 | 2.85 | 0.381 | 5.20 | 0.222 |
| 1.45 | 0.703 | 2.90 | 0.375 | 5.40 | 0.215 |
| 1.50 | 0.682 | 2.95 | 0.369 | 5.60 | 0.208 |
| 1.55 | 0.661 | 3.00 | 0.363 | 5.80 | 0.201 |
| 1.60 | 0.640 | 3.05 | 0.358 | 6.00 | 0.194 |
| 1.65 | 0.624 | 3.10 | 0.353 | 6.20 | 0.189 |
| 1.70 | 0.608 | 3.15 | 0.348 | 6.40 | 0.184 |
| 1.75 | 0.591 | 3.20 | 0.343 | 6.60 | 0.178 |
| 1.80 | 0.575 | 3.25 | 0.338 | 6.80 | 0.173 |
| 1.85 | 0.562 | 3.30 | 0.334 | 7.00 | 0.168 |
| 1.90 | 0.549 | 3.35 | 0.330 | 7.20 | 0.164 |
| 1.95 | 0.536 | 3.40 | 0.325 | 7.40 | 0.160 |
| 2.00 | 0.523 | 3.45 | 0.320 | 7.60 | 0.156 |
| 2.05 | 0.512 | 3.50 | 0.316 | 7.80 | 0.152 |
| 2.10 | 0.502 | 3.60 | 0.309 | 8.00 | 0.148 |
| 2.15 | 0.491 | 3.70 | 0.302 | 8.20 | 0.145 |
| 2.20 | 0.480 | 3.80 | 0.295 | 8.40 | 0.142 |
| 2.25 | 0.471 | 3.90 | 0.288 | 8.60 | 0.139 |
| 2.30 | 0.462 | 4.00 | 0.281 | 8.80 | 0.136 |
| 2.35 | 0.453 | 4.10 | 0.276 | 9.00 | 0.133 |
| 2.40 | 0.444 | 4.20 | 0.270 | 9.20 | 0.130 |
| 2.45 | 0.436 | 4.30 | 0.265 | 9.40 | 0.128 |
| 2.50 | 0.428 | 4.40 | 0.260 | 9.60 | 0.125 |
| 2.55 | 0.421 | 4.50 | 0.255 | 9.80 | 0.123 |
| 2.60 | 0.413 | 4.60 | 0.250 | 10.00 | 0.120 |

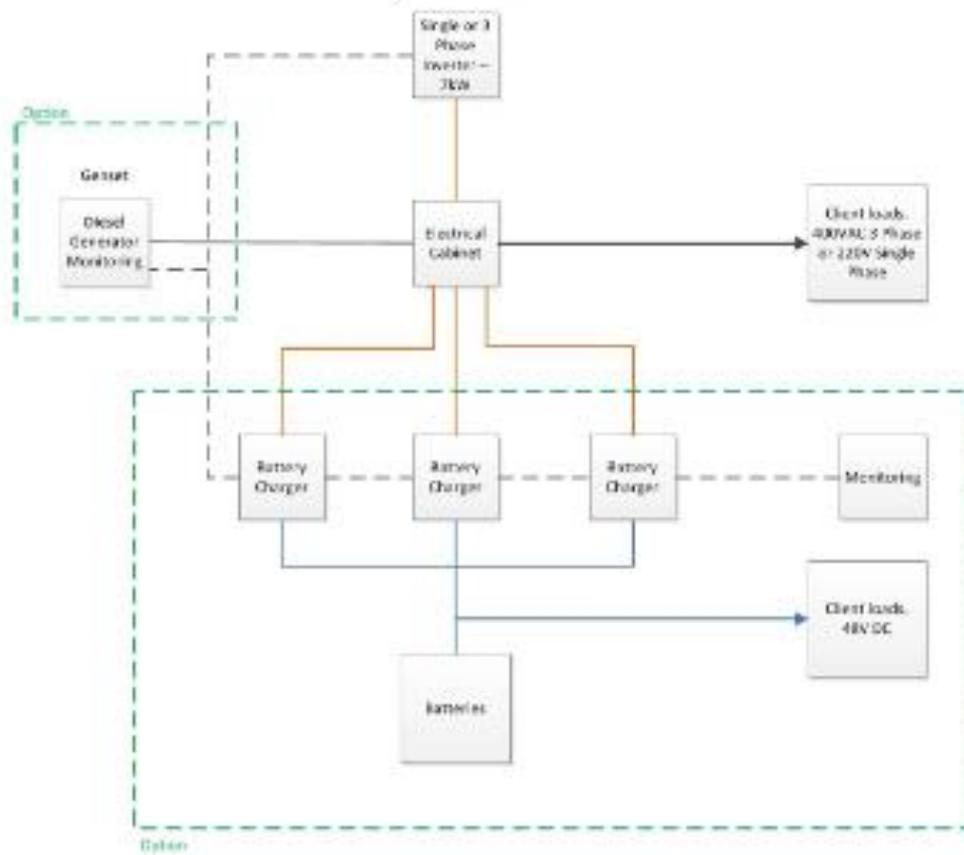
Fuente: Publicación Documentos OLADE N° 10, Tabla 5, Pág. 85.

APÉNDICE 5: PANELES FOTOVOLTAICOS

System Configurations



Plug&Sun+: 7kW



System Components

| | | |
|-----------------|---------------------------------------|---|
| Component | | |
| Module | Type | Soltec CX M500 |
| | Technology | CPV – Fresnel lens |
| | Module array area | 26.4 m ² |
| Tracker | Type | Dual-axis tracker |
| | Power | 7.3kWp |
| | Daily energy produced per tracker | Up to 42 kWh |
| | Maximum height | 4.5m |
| | Dimensions of tracker table | 7.4m x 3.7m |
| | Weight (without foundations) | 1300kg |
| | Wind resistance | 60 km/h in operation 200km/h in safety position |
| Electrochemical | Batteries | Type and capacity sized for project |
| | Output | 110-230 VAC single-phase 230-400 VAC three-phase 48 VDC |
| | | |
| Specificities | Mobility | Fixed (relocatable) |
| | Maximum number of trackers per system | No limit |

ANEXO 6: REPORTE SOFTWARE PVSYST COPYRIGHT © UNIVERSITY OF GENEVA

| PVSYST V6.34 | | 30/03/15 | Página 1/4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|---|-------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|---|---|---|---|---|---|---|--------|
| Sistema Aislado: Parámetros de la simulación | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Proyecto : Proyecto Aislado at Estacion Cientifica Pedro Vicente Maldonado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lugar Estacion Cientifica Pedro Vicente Maldonado | País | Antarctica | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ubicación | Latitud | 62.4°S | Longitud | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hora definido como | Hora Legal | Huso hor. UT-3 | Altitud | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Albedo | 0.86 | 2 m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Datos climatológicos Estacion Cientifica Pedro Vicente Maldonado | Síntesis - Meteororm file | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Variante de simulación : SIMULACION 62 GRADOS2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Fecha de simulación | 30/03/15 19h05 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Parámetros de la simulación | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Orientación Plano Receptor | Inclinación | 62° | Acimut | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 0° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Modelos empleados | Transposición | Perez | Difuso | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | Erbs, Meteororm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Características generador FV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Módulo FV | GalnP2/GaAs/Ge | Modelo | CX-M500 1.00.086 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Fabricante | Soitec | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Número de módulos FV | | En serie | 1 módulos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N° total de módulos FV | | N° módulos | 263 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Potencia global generador | | Nominal (STC) | 644 kWp | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Caract. funcionamiento del generador (50°C) | | V mpp | 623 V | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Superficie total | | Superficie módulos | 2061 m² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | En paralelo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 263 cadenas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | Pnom unitaria | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 2450 Wp | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | En cond. funcionaria. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 620 kWp (50°C) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | I mpp | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 995 A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | Superf. célula | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 2058 m² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Factores de pérdida Generador FV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Factor de pérdidas térmicas | Uc (const) | 20.0 W/m²K | Uv (viento) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 0.0 W/m²K / m/s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pérdida Óhmica en el Cableado | Res. global generador | 9.7 mOhm | Fracción de Pérdidas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 1.5 % en STC | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pérdida Calidad Módulo | | | Fracción de Pérdidas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 3.0 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pérdidas Mismatch Módulos | | | Fracción de Pérdidas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 2.5 % (tensión fija) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE | IAM = | 1 - bo (1/cos i - 1) | Parám. bo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 0.05 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Parámetro del Sistema | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Tipo de sistema | Sistema Aislado con generador auxiliar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Batería | Modelo | S2-3560 AGM | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Fabricante | Rolls | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Características del banco de baterías | Tensión | 96 V | Capacidad Nominal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 51000 Ah | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | N° de unidades | 48 en serie x 17 en paralelo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Temperatura | Fijo (20°C) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Regulador | Modelo | Generic Default with DC-DC converter | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Tecnología | DC-DC converter | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Convertidor | Eficiencias Máx. y EURO | 97.0/95.0 | Coef. temp. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | -5.0 mV/°C/elem. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Umbral de Regulación Baterías | Carga | 108.0/104.6 V | Tensión de entrada CC | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 0.0V | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Comando de Generador Auxiliar | | 94.6/103.2 V | Descarga | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 94.1/100.8 V | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Generador auxiliar | Modelo | 3 kW | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Fabricante | Back-up generator | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Potencia | 3 kW | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Ene.</th> <th>Feb.</th> <th>Mar.</th> <th>Abr.</th> <th>May.</th> <th>Jun.</th> <th>Jul.</th> <th>Ago.</th> <th>Sep.</th> <th>Oct.</th> <th>Nov.</th> <th>Dic.</th> <th>Año</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>27450</td> <td>25550</td> <td>29460</td> <td>31730</td> <td>32820</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>147010</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | | | | | | | | | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. | Año | 27450 | 25550 | 29460 | 31730 | 32820 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 147010 |
| Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. | Año | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27450 | 25550 | 29460 | 31730 | 32820 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 147010 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | kWh/mth | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Sistema Aislado: Parámetros de la simulación (continuación)

| | | | | |
|---------------------------------------|-------------------------------|---|-----------------------|------------------|
| Parámetro del Sistema | Tipo de sistema | Sistema Aislado con generador auxiliar | | |
| Batería | Modelo | S2-3560 AGM | | |
| | Fabricante | Rolls | | |
| Características del banco de baterías | Tensión | 96 V | Capacidad Nominal | 51000 Ah |
| | Nº de unidades | 48 en serie x 17 en paralelo | | |
| | Temperatura | Fijo (20°C) | | |
| Regulador | Modelo | Generic Default with DC-DC converter | | |
| | Tecnología | DC-DC converter | Coef. temp. | -5.0 mV/°C/elem. |
| Convertidor | Eficiencias Máx. y EURO | 97.0/95.0 | Tensión de entrada CC | 0.0V |
| Umbral de Regulación Baterías | Carga | 108.0/104.6 V | Descarga | 94.1/100.8 V |
| | Comando de Generador Auxiliar | 94.6/103.2 V | | |
| Generador auxiliar | Modelo | 3 kW | | |
| | Fabricante | Back-up generator | | |
| | Potencia | 3 kW | | |

Necesidades de los usuarios : valores mensuales

| Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. | Año | |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|--------|---------|
| 27450 | 25550 | 29460 | 31730 | 32820 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 147010 | kWh/mth |

Sistema Aislado: Resultados principales

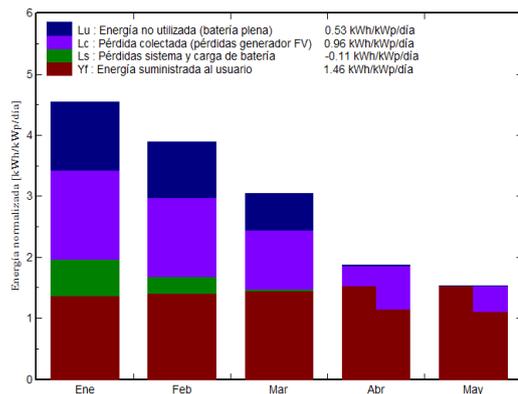
Proyecto : Proyecto Aislado at Estacion Cientifica Pedro Vicente Maldonado
Variante de simulación : SIMULACION 62 GRADOS2

| | | | |
|---|-------------------|---------------------------------------|--|
| Parámetros principales del sistema | Tipo de sistema | Aislado con generador auxiliar | |
| Orientación Campos FV | inclinación | 62° | acimut 0° |
| Generador FV | N° de módulos | 263 | Pnom total 644 kWp |
| Batería | Modelo | S2-3560 AGM | Tecnología errada, AGM |
| banco de baterías | N° de unidades | 816 | Tensión/Capacidad 96 V / 51000 Ah |
| Necesidades de los usuarios | valores mensuales | | global 147 MWh/año |

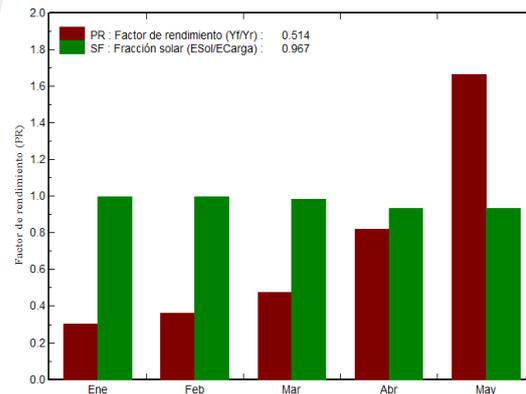
Resultados principales de la simulación

| | | | | |
|----------------------------------|----------------------------|-------------------|----------------------|-------------|
| Producción del Sistema | Energía disponible | 170312 kWh | Produc. específico | 264 kWh/kWp |
| | Energía utilizada | 146996 kWh | Exced. (inutilizado) | 51176 kWh |
| | Factor de rendimiento (PR) | 51.4 % | Fracción solar SF | 96.7 % |
| Energía de reserva del generador | Energía de reserva | 4813 kWh | Consumo combustible | 2888 |

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 644 kWp



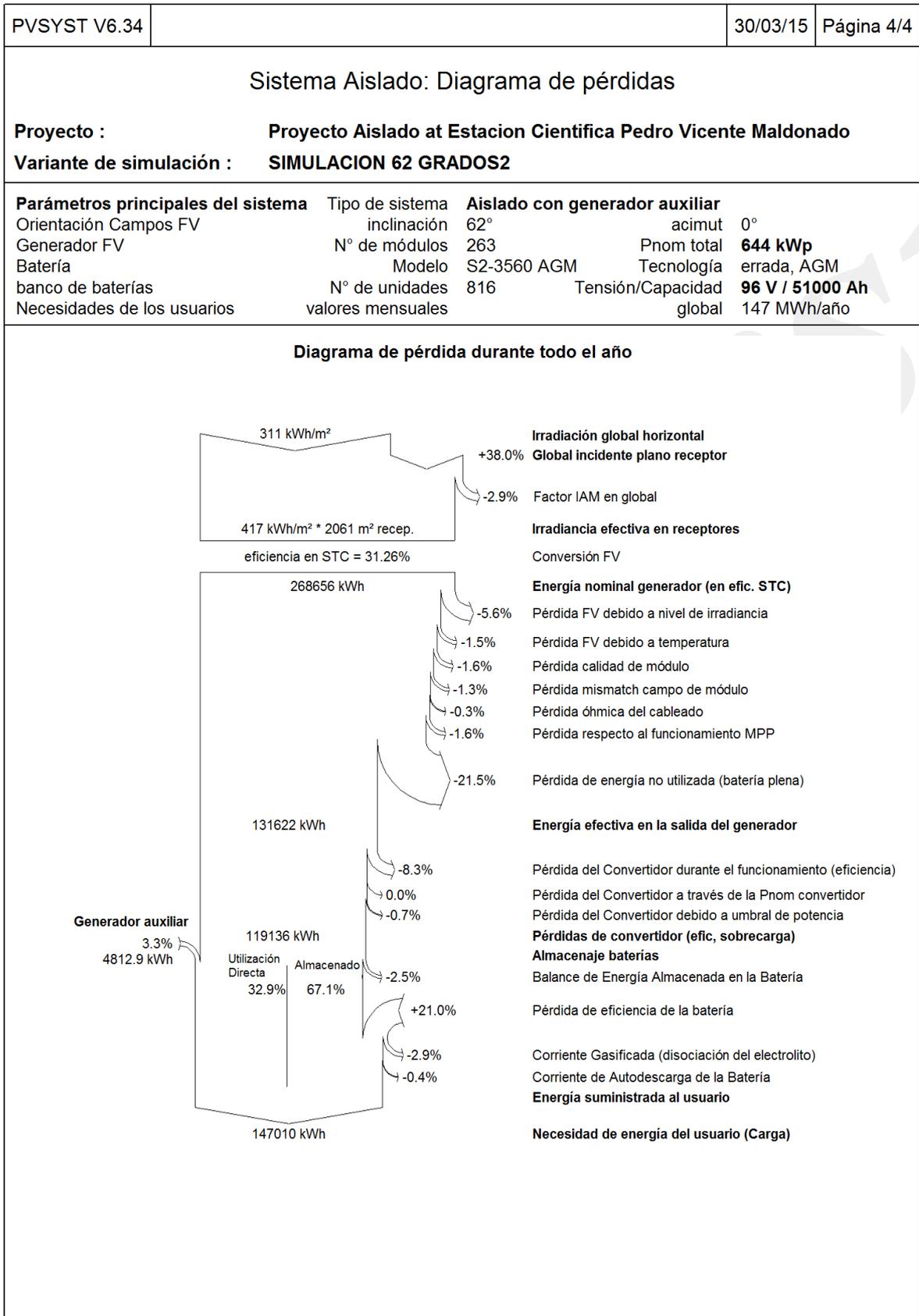
Factor de rendimiento (PR) y Fracción solar SF



SIMULACION 62 GRADOS2 Balances y resultados principales

| | GlobHor kWh/m ² | GlobEff kWh/m ² | E Avail kWh | EUnused kWh | E User kWh | E Load kWh | SolFrac |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------|
| Enero | 128.8 | 136.3 | 58031 | 22540 | 27428 | 27450 | 0.999 |
| Febrero | 87.9 | 105.8 | 43923 | 16529 | 25530 | 25550 | 0.999 |
| Marzo | 60.5 | 91.9 | 38874 | 11872 | 29451 | 29460 | 0.985 |
| Abril | 25.7 | 54.9 | 20414 | 117 | 31753 | 31730 | 0.933 |
| Mayo | 8.3 | 28.0 | 9070 | 118 | 32834 | 32820 | 0.932 |
| Periodo | 311.1 | 416.9 | 170312 | 51176 | 146996 | 147010 | 0.967 |

| | | | | |
|-----------|---------|---|---------|--|
| Leyendas: | GlobHor | Irradiación global horizontal | E User | Energía suministrada al usuario |
| | GlobEff | Global efectivo, corr. para IAM y sombreados | E Load | Necesidad de energía del usuario (Carga) |
| | E Avail | Energía Solar Disponible | SolFrac | Fracción solar (EUtilizada/ECarga) |
| | EUnused | Pérdida de energía no utilizada (batería plena) | | |



BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Instituto Antártico Ecuatoriano • INAE». [En línea]. Disponible en: <http://www.inae.gob.ec/#top>. [Accedido: 06-abr-2015].
- [2] «Google Earth». [En línea]. Disponible en: <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>. [Accedido: 06-abr-2015].
- [3] P. # ASHRAE, *Ashrae 90.1-2010 Energy Standard for Buildings Except Low-rise Residential Buildings*. Ashrae.
- [4] J. V. Beck y K. J. Arnold, *Parameter Estimation in Engineering and Science*. James Beck, 1977.
- [5] *2009 ASHRAE Handbook: Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 2009.
- [6] Sonderegger, R.C, *Thermal modeling of buildings as a design tool. Proceedings of CHMA 2000*, vol. Volumen 1. 1985.
- [7] Waltz, J.P., *Practical experience in achieving high levels of accuracy in energy simulations of existing buildings. ASHRAE Transactions 98(1): 606-617*. 1992.
- [8] Corson, G.C., «Input-output sensitivity of building energy simulations. ASHRAE Transactions 98(1):618.», 1992.
- [9] J. L. M. Hensen y R. Lamberts, *Building Performance Simulation for Design and Operation*. Routledge, 2012.
- [10] «El aislamiento de edificios, Aislamiento Térmico, Planificación, Clima, Orientación - Diseño Solar Pasivo, Construcción, Materiales». [En línea]. Disponible en: http://docsetools.com/articulos-utiles/article_105181.html. [Accedido: 09-abr-2015].
- [11] F. Arteaga y D. Fernando, «Utilización de la energía eólica en un diseño preliminar de un sistema calefacción para la estación antártica ecuatoriana», 2006.
- [12] P. # ASHRAE, *ASHRAE Standard Energy-Efficient Design of Low-Rise Residential Building*. Ashrae.

- [13] FOCER, *Manuales Energía Renovable EOLICA*, 1° Edición. Costa Rica: Biomass Users Network (BUN-CA), 2002.
- [14] CEDER, «CEDER - Centro de Energías Renovables». [En línea]. Disponible en: <http://www.ceder.uta.cl/index.php?op=4>. [Accedido: 09-abr-2015].
- [15] J. F. Manwell, J. G. McGowan, y A. L. Rogers, *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*. John Wiley & Sons, 2010.
- [16] J. U. G. Ruben Hidalgo L. y M. P. Guillermo Soriano I., «CÁLCULO DEL POTENCIAL EÓLICO EN EL CERRO MIRADOR DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL (ESPOL). RESULTADO DEL PRIMER AÑO DE MEDICIONES», 2008.
- [17] J. L. Aiello, *Atlas eólico preliminar de América Latina y el Caribe: programa regional de energía eólica de OLADE : [vol. II América Central y el Caribe]*. OLADE, 1983.