

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

**“Utilización de la energía eólica en un diseño
preliminar de un sistema calefacción para la estación
antártica ecuatoriana”**

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Dídimo Fernando Flor Arteaga

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2006

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo y especialmente a los señores Ing. Marco Pazmiño, Director de Tesis y CPFG-EM Rafael Cabello, Comandante de la IX Expedición Ecuatoriana a la Antártica, por su invaluable ayuda.

DEDICATORIA

Dedicado a mi esposa e hijos por ser la razón e inspiración en los momentos de arduo trabajo alejado miles de kilómetros, a mis padres, hermanos, a todos quienes convivieron en la Estación Científica Ecuatoriana Antártica durante la IX Expedición y a quienes ven el Continente Blanco la mano magnífica de la Creación de Dios.



TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Omar Serrano V.
DELEGADO POR EL
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Marco Pazmiño B.
DIRECTOR DE TESIS

Dr. Alfredo Barriga R.
VOCAL

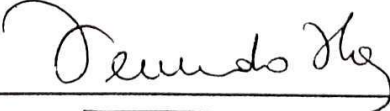
Ing. Francisco Andrade S.
VOCAL



DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)


Dídimo Fernando Flor Arteaga

RESUMEN

Como un tributo a la preservación del medio ambiente y la utilización de energías no convencionales o renovables, el objetivo de esta tesis es diseñar en forma preliminar un sistema de calefacción y de energía que cubra los requerimientos de confort y habitabilidad para la estación ecuatoriana en la Antártica, con un diseño simple con mínimos mantenimientos, que aligere el déficit energético, utilizando energía del viento por medio de turbinas eólicas. Se considerarán datos estadísticos de temperaturas, vientos y humedades relativas promedio. El siguiente paso es el dimensionamiento de la demanda energética, básicamente el cálculo de la carga de calefacción, para así luego proceder a analizar las bondades de los elementos y equipos que se necesitan y seleccionarlos entre los distintas empresas especializadas en el tema proponen. El análisis económico juega un papel preponderante y se utilizará el cálculo del costo equivalente.

Al finalizar este proyecto de diseño se espera contribuir al uso de energías renovables.

Diseñar un sistema que sea lo más suscrito a la realidad para que en un futuro muy cercano pueda ser instalado.

Contribuir al desarrollo de los estudios científicos en el continente Antártico.

Proyectar hacia el resto del mundo nuestro interés por la ecología y la no utilización de energías convencionales responsables de la contaminación en todo el planeta.

Participar de manera directa en apoyo hacia las instituciones que proponen la presencia ecuatoriana en la Antártica.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGÍA.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	VI
INDICE DE TABLAS.....	VII
INDICE DE PLANOS.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO 1

1. LA ANTÁRTICA.....	4
Aspectos generales de la Antártica.....	5
Características de la Antártica.....	5
Características geográficas.....	5
Relieve antártico.....	10
El Clima.....	10
Glaciología y Oceanografía.....	11
Recursos existentes.....	14
Tratado Antártico.....	17
Ecuador en la Antártica.....	25

CAPÍTULO 2

2. ENERGIA EÓLICA.....	44
Formación de los vientos.....	45
Clasificación de los vientos.....	47
Viento de altura.....	47
Vientos periódicos.....	48
Vientos locales.....	49
Clasificación de los vientos por su intensidad de fuerza.....	50
Turbinas eólicas.....	52
Tipos de turbinas.....	52
Aspectos de diseño y aplicaciones.....	54
Regulación de potencia.....	59
Acumulación de la energía.....	73
Eficiencia.....	76

CAPÍTULO 3

3. CALEFACCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL.....	79
Propiedades psicrométricas del aire húmedo.....	80
Relación de humedad (W).....	80
Humedad relativa.....	81
Grado de saturación.....	82
Punto de rocío.....	82
Calefacción, confort y salud.....	84

Pérdidas del calor.....	90
Por paredes.....	90
Por puertas y ventanas.....	92
Fugas.....	92
Cálculo de la demanda térmica.....	92

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DEL RECURSO.....	104
3.1. Aspectos físicos de la Estación Pedro Vicente Maldonado.....	105
3.2. Datos estadísticos e históricos del viento y climatología.....	109
3.3. Propiedades psicrométricas del aire en la estación Pedro Vicente Maldonado.....	124
4.3.1. Temperatura.....	125
4.3.2. Presión.....	126
4.3.3. Humedad.....	126
4.4. Posibilidades de aprovechamiento.....	126
4.5. Almacenamiento y distribución de la Energía.....	139

CAPÍTULO 5

5. CÁLCULOS, DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS Y EQUIPOS DEL SISTEMA.....	142
Cálculo de la demanda energética para calefacción.....	142
Dimensionamiento de las turbinas eólicas.....	143
Costos de los elementos y equipos del sistema.....	147

Cuadros de costos, comparación de alternativas planteadas y selección	158
Otros aspectos a considerarse en la selección.....	159

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	16
	2

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

A	Amperio
AH	Amperio hora
BTU	British Thermal Unit (Unidad británica de medida térmica)
CrNi	Aleación Cromo Níquel
CuNi	Aleación Cobre Níquel
CuSn	Aleación Cobre Estaño
°C	Grados centígrados
°F	Grados Fahrenheit
HPa	Hecto pascales
in	Pulgadas
Kg	Kilogramo
Km/h	Kilómetros por hora
Km	Kilómetros
Km ²	Kilómetros cuadrados
°K	Grados Kelvin
KW	Kilo watio hora
KVA	Kilo Voltio Amperio
V	Voltios
lbm	Libras masa
lbf	Libras fuerza
MW	Mega watios
m	Metros
mm	Milímetros
m ²	Metros cuadrados
m ³	Metros cúbicos
P. V. C.	Policloruro de vinilo
RPM (rpm)	Revoluciones por minuto
°R	Grados Rankine
s	segundo
TWh	Tera watios hora

SIMBOLOGÍA

λ	Coeficiente de velocidad de punta de pala
A	Fuerza de sustentación
W	Fuerza de resistencia de las palas del rotor
E_c	Energía cinética
m	Masa
w_c	Velocidad del viento
$\dot{W}$	Potencia
t	Tiempo
$\dot{m}$	Flujo másico
ρ	Densidad
Q	Flujo de aire
π	Pi (3,1415)
D	Diámetro exterior (centro al extremo externo de la pala de la turbina)
d	Diámetro interior (centro al extremo interior de la pala de la turbina)
A	Área
$\eta_{TURBINA}$	Eficiencia de la turbina eólica
w_a	Velocidad de salida del aire de la turbina
w_c	Velocidad de entrada del aire a la turbina
m_v	Masa de vapor de agua
m_a	Masa de aire
V	Volumen de gas
R_a	Constante del aire
$\bar{R}$	Constante Universal de los gases
M_a	Masa molecular del aire

M_v	Masa molecular del vapor de agua
P_a	Presión del aire
P_v	Presión del vapor de agua
W	Humedad
T_d	Temperatura de rocío
T	Temperatura absoluta
s	Entropía
ϕ	Humedad relativa
p	Presión
$\forall$	Volumen del gas
n	Número de Avogadro
h	Entalpía
q_s	Calor Sensible
ΔT	Diferencia de temperatura
x_a	Espesor de la plancha de acero
k_a	Coeficiente conductivo térmica del acero
h_2	Coeficiente convectivo de calor del aire
Pr	Coeficiente de Prandtl
ν	Viscosidad dinámica del aire
μ	Viscosidad estática del aire
α	Difusividad térmica del aire
Re	Número de Reynolds
L	Distancia longitudinal
H	Humedad relativa porcentual
T	Temperatura media
T_M	Temperatura máxima
T_m	Temperatura mínima
SLP	Presión atmosférica a nivel del mar
V	Velocidad media del viento (Km/h)
VM	Velocidad máxima sostenida del viento (Km/h)

V	Velocidad media del viento (m/s)
v_m	Velocidad máxima sostenida del viento (m/s)
CT	Costo Total Anual
CF	Costo Fijo Anual
CV	Costo Variable Anual
r	Tasa de interés anual
n	Años
CTA	Costo total Acumulado
PA	Producción Anual
CE	Costo Equivalente
C_m	Costo de mantenimiento
C_{ad}	Costo de adquisición

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁG.
FIGURA 2.1. Movimiento de las masas de aire.....	45
FIGURA 2.2. Planta Eólica Experimental de Tarifa.....	49
FIGURA 2.3. Motor eólico tío Darreius.....	53
FIGURA 2.4. Parque Eólica de Tarifa (España).....	56
FIGURA 2.5. Bomba de Agua para la Agricultura.....	58
FIGURA 2.6. Regulación de Potencia y/o RPM del rotor.....	62
FIGURA 2.7. Circulación en Regulación stall.....	64
FIGURA 2.8. Sucesión de procesos en regulación en stall.....	66
FIGURA 2.9. Potencia Eléctrica en Función de la Velocidad del viento y el ángulo de circulación (Ataque).....	69
FIGURA 2.10. Circulación para pitch-control.....	73
FIGURA 2.11. Corte y sección transversal de una Turbina Eólica.....	80
FIGURA 3.1. Diagrama Temperatura – Entropía.....	84
FIGURA 3.2. Cable Calefactor.....	89
FIGURA 3.3. Problema Psicrométrico.....	95
FIGURA 3.4. Diagrama de los componentes del piso del módulo de vivienda.....	101
FIGURA 3.5. Diagrama de los componentes de la pared.....	103
FIGURA 3.6. Diagrama de los componentes del piso del módulo de laboratorios y túnel.....	106
FIGURA 3.7. Diagrama de los componentes de las paredes del módulo de laboratorios.....	107
FIGURA 4.1. Fotografía de la estación fachada posterior.....	111
FIGURA 4.2. Pared posterior de la estación.....	112
FIGURA 4.3. Fotografía de la Estación Playa – Módulos.....	113
FIGURA 4.4. Frecuencia de Ocurrencia y Velocidad del Viento Promedios en año 2003 según sus direcciones.....	118
FIGURA 4.5. Polígonos de viento Enero 2003.....	119
FIGURA 4.6. Polígonos de viento Febrero 2003.....	119
FIGURA 4.7. Polígonos de viento Marzo 2003.....	120
FIGURA 4.8. Polígonos de viento Abril 2003.....	121
FIGURA 4.9. Polígonos de viento Mayo 2003.....	122
FIGURA 4.10. Polígonos de viento Junio 2003.....	122
FIGURA 4.11. Polígonos de viento Julio 2003.....	123
FIGURA 4.12. Polígonos de viento Agosto 2003.....	123

FIGURA 4.13.	Polígonos de viento Septiembre 2003.....	124
FIGURA 4.14.	Polígonos de viento Octubre 2003.....	124
FIGURA 4.15.	Polígonos de viento Noviembre 2003.....	125
FIGURA 4.16.	Polígonos de viento Diciembre 2003.....	125
FIGURA 4.17.	Polígonos de viento Enero 2004.....	126
FIGURA 4.18.	Polígonos de viento Enero 1998.....	127
FIGURA 4.19.	Comparación de frecuencia de vientos de los meses de Enero de los años 1998, 2003 y 2004.....	128
FIGURA 4.20.	Comparación de las velocidades del viento de los meses de Enero de los años 1998, 2003 y 2004.....	129
FIGURA 4.21.	Temperaturas medias 1994 – 2003.....	142
FIGURA 4.22.	Velocidad media del viento.....	143
FIGURA 4.23.	Velocidades máximas sostenidas del viento 1994 - 2003	144
FIGURA 4.24.	Serie de la temperatura promedio con modelo matemático aproximado.....	145
FIGURA 4.25.	Serie de las velocidades promedio y máximas sostenidas 1994 – 2003.....	146
FIGURA 4.26.	Diagrama de conexión de las baterías.....	150
FIGURA 5.1.	Fotografía de aérea de Instalación de Turbinas Eólicas..	154
FIGURA 5.2.	Diagrama de conexión de baterías.....	156
FIGURA 5.3.	Alternativas por costo equivalente.....	162

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁG.
TABLA 2.1. Vientos locales característicos.....	48
TABLA 2.2. T Escala Beaufort de la fuerza del viento.....	49
TABLA 2.3. Nombre de los ciclones tropicales.....	50
TABLA 2.4. Ventajas y desventajas regulación de potencia en stall...	71
TABLA 3.1. Datos y cálculos de pérdidas de calor en el piso del módulo de vivienda.....	97
TABLA 3.2. Datos y cálculos de pérdidas de calor en las paredes del módulo de vivienda.....	102
TABLA 3.3. Datos y cálculos de pérdidas de calor en el suelo del módulo de laboratorios y túnel.....	
TABLA 3.4. Datos y cálculos de pérdidas de calor por las paredes del módulo de laboratorios y túnel.....	
TABLA 3.5. Pérdidas y requerimientos de calor en la Estación Científica Antártica Ecuatoriana.....	
TABLA 4.1. Valores Climatológicos de los meses de enero y febrero de 1998.....	109
TABLA 4.2. Datos de las Velocidades y Direcciones del Viento de los meses de Enero a Julio del año 2003.....	110
TABLA 4.3. Datos de las Velocidades y Direcciones del Viento de los meses de Agosto a Diciembre con los promedios del año 2003.....	110
TABLA 4.4. Datos de las frecuencias de Ocurrencia y Direcciones del Viento de los meses de Enero a Julio del año 2003	111
TABLA 4.5. Datos de las frecuencias de Ocurrencia y Direcciones del Viento de los meses Agosto a Diciembre y Promedios del año 2003.....	111
TABLA 4.6. Datos de Temperatura mes de Diciembre 2003.....	111
TABLA 4.7. Datos de Temperatura mes de Enero 2004.....	125
TABLA 4.8. Datos de la Estación Meteorológica.....	127
TABLA 4.9. Abreviaturas de los datos obtenidos.....	128
TABLA 4.10. Datos Enero 1994 – 2003.....	128
TABLA 4.11. Datos Febrero 1994 – 2003.....	129
TABLA 4.12. Datos Marzo 1994 – 2003.....	129
TABLA 4.13. Datos Abril 1994 – 2003.....	129
TABLA 4.14. Datos Mayo 1994 – 2003.....	130
TABLA 4.15. Datos Junio 1994 – 2003.....	130
TABLA 4.16. Datos Julio 1994 – 2003.....	130
TABLA 4.17. Datos Agosto 1994 – 2003.....	131
TABLA 4.18. Datos Septiembre 1994 – 2003.....	131
TABLA 4.19. Datos Octubre 1994 – 2003.....	131
TABLA 4.20. Datos Noviembre 1994 – 2003.....	132
TABLA 4.21. Datos Diciembre 1994 – 2003.....	132
TABLA 4.22. Datos Promedios por mes 1994 – 2003.....	138
TABLA 5.1. Requerimientos de Calor en la Estación Científica	

	Antártica Ecuatoriana.....	143
TABLA 5.2.	Alternativas de sistemas de conversión de energía.....	144
TABLA 5.3.	Flujo de caja, costo equivalente alternativa A.....	151
TABLA 5.4.	Flujo de caja, costo equivalente alternativa B.....	152
TABLA 5.5.	Flujo de caja, costo equivalente alternativa C.....	153
TABLA 5.6.	Flujo de caja, costo equivalente alternativa D.....	154
TABLA 5.7.	Flujo de caja, costo equivalente alternativa E.....	155
TABLA 5.8.	Flujo de caja, costo equivalente alternativa F.....	156
TABLA 5.9.	Flujo de caja, costo equivalente alternativa G.....	157
TABLA 5.10.	Alternativas por costo equivalente.....	158

INTRODUCCIÓN

Siendo nuestro país miembro consultivo del Tratado Antártico y en cumplimiento de los diferentes compromisos que esto conlleva, se ha encontrado la necesidad de dotar a la Estación Científica Ecuatoriana “Pedro Vicente Maldonado”, ubicada en la Isla Greenwich del Archipiélago de las Shetland del Sur del continente más austral del planeta, de un sistema de calefacción que cubra la demanda energética para producir una temperatura ambiente de 18° C y de humedad relativa del 50% en el interior de los módulos de habitabilidad y de laboratorios, procurando mejorar las condiciones existentes.

Considerando que el viento es un recurso existente de manera casi perenne en la zona, y que se puede aprovechar de forma ecológica al mismo, el presente trabajo se encuentra desarrollado para utilizar la energía eólica en un diseño preliminar de calefacción. Para el efecto se tomaron 161 datos de campo de las condiciones meteorológicas (presión, temperaturas y humedad) en una estación de Segundo Orden de acuerdo a la Organización Meteorológica Internacional, durante el periodo comprendido en los meses de diciembre de 2003 a febrero de 2004, y datos de una década desde el año 1994 al 2003 de todos los meses, de las velocidades: media y máxima sostenida del viento, de las temperaturas: medias, máximas y mínimas, presión atmosférica a nivel del mar, y de la humedad relativa en la Base Arturo Prat

ubicada en la latitud $62^{\circ} 30' S$ y longitud $59^{\circ} 40.8' O$ a 5 km de distancia de la Estación Ecuatoriana.

Los datos obtenidos fueron ingresados a una hoja electrónica de la herramienta Excel y posteriormente graficados. Una curva cosenoidal fue el modelo matemático aproximado con la serie de datos de la temperatura promedio entre los años 1994 al 2003. Los datos de las velocidades del viento también fueron comparados y se pudo determinar que en Diciembre del año 2003 se produjeron los valores más altos del mismo mes en la década en mención.

En base a las condiciones de los meses de diciembre de 2003 y febrero de 2004, considerando además un verano austral muy singular, se tomaron los datos de las mediciones obtenidas como el punto inicial para cálculo de la demanda térmica.

Debido a las diferencias en los materiales con los cuales están fabricados los módulos, los problemas de pérdida de calor se resolvieron por separado y considerando dos paredes y el piso sometidos a la velocidad de 15 nudos de viento en dirección perpendicular a cada uno de estos elementos, influenciando de esta manera en el coeficiente convectivo de calor, el mismo que fue determinado mediante cálculo del coeficiente de Reynolds, y las

fórmulas de Prandtl y Nussel, una vez establecido el flujo asumido como turbulento.

Posteriormente se sumo la cantidad de energía necesaria para acondicionar todos los espacios de los módulos de vivienda y de los laboratorios, como también las pérdidas de calor, este valor fue comparado con la cantidad de energía que actualmente se usa para acondicionar el ambiente.

Para acumular la energía se ha considerado instalar un sistema de 90 baterías conectadas en serie y en paralelo, con la adquisición e instalación de sistemas de protección para evitar sobrecarga y flujos de corriente inversos a los deseados.

Para determinar la mejor opción de diseño en cuanto a la cantidad de turbinas eólicas se realizó el cálculo del costo equivalente, mediante el establecimiento de los flujos de caja considerando los distintos gastos que conllevaría instalar, mantener y mejorar el sistema en un periodo de 10 años.

Los resultados fueron bastante satisfactorios y pueden visualizarse en la lectura de cada uno de los capítulos de esta tesis de grado, donde se inicia explicando las importancias del continente Antártico para nuestro país y el mundo, y de mantenernos como miembros del Tratado Antártico, así como

también la gestión de la Armada Nacional y su aporte a la comunidad científica nacional e internacional.

El mejoramiento de las condiciones ambientales permitirá incrementar los estudios en esta región del planeta donde lo único que queda más allá de ella, es el espacio sideral.

CAPÍTULO 1

1. LA ANTÁRTICA

La Antártica genera enorme expectativa entre las naciones de elevado nivel de desarrollo y también en las de menor potencial económico, que consideran que esta macro región con recursos insospechados, posee la reserva de recursos vivos y minerales con capacidad para satisfacer las necesidades de la humanidad, que en un futuro será la solución en una tierra agotada, cansada y contaminada.

Es una gran responsabilidad y un deber ineludible estar presentes en la Antártica, por ser una razón de supervivencia, ya que entre la Antártica y el Ecuador existe un nexo muy fuerte que incide directamente en nuestra economía para beneficio de las futuras generaciones

A este argumento se suman mucho otros, por lo tanto es necesario mantener el interés geopolítico y científico del Ecuador en ese continente, impulsando las actividades antárticas de forma continua y sostenida, porque con gran seguridad, efectuar investigación en la Antártica es proyectar geopolíticamente la imagen de nuestro país.

1.1. Aspectos generales de la Antártica

El vocablo griego “Arktikós” que identifica a la constelación de la Osa, en latín se transformo en el adjetivo “articus” (Septentrional del norte), es así como al Polo Norte se le conoce como Artico. Empleando el prefijo "anti" al vocablo "arcticus", nace el adjetivo "Antarcticus" que significa (austral meridional sur).

El continente Antártico es el quinto más grande de los siete existentes en el planeta, localizado casi totalmente al sur de la latitud 66°30' S (Círculo Antártico) y rodeando al Polo Sur. Contrario al Ártico, la Antártica es una masa continental cubierta de hielo, su área se estima en 14 millones de Km² en verano, mientras que en invierno dobla su tamaño debido a los hielos que se forman en su periferia.

1.2. Características de la Antártica

1.2.1. Características geográficas

La Antártica tiene geográficamente definida ciertas áreas, estas son:

- Área Subantártica
- Convergencia Antártica
- Océano Antártico
- Divergencia Antártica
- Casquete Polar Antártico

El **Área Subantártica** rodea a la denominada Convergencia Antártica, está formada por pequeñas islas y archipiélagos, dispersos en los límites de los Océanos Atlántico, Pacífico e Índico. En el Atlántico, las principales son: Bouvet, Georgia Austral, Sandwich Australes, Orcadas Australes, Tyristán, Marion. En el Indico están las Islas Príncipe Eduardo, Crozet, kerguelen, Nova Amsterdam, Heard, Saint Paul y Mc Donald. En el Océano Índico Pacífico, las islas Macquarie, Auckland, Balleny, Campbell, Antípodas y Bounty.

La **Convergencia Antártica** forma una de las más grandes zonas limítrofes fundamentales de los océanos de todo el mundo, es una franja circumpolar sinuosa y variable de 30 a 40 Km de ancho, se ubica entre 47° y 63° de latitud sur y en distintos meridianos de longitud. Esta es la zona donde las aguas superiores antárticas frías y poco salinas, que fluyen hacia el norte se hunden por debajo y se mezclan con el agua superficial subantártica que es más caliente y salina que fluye hacia el sur y que proviene de las regiones templadas. La Convergencia Antártica marca el límite natural oceanográfico-biológico de un hábitat bien separado.

El **Océano Antártico** o también llamado Océano Glacial Antártico rodea al continente, está circundado por los océanos más grandes del mundo: el Pacífico, el Atlántico y el Índico, enfrenta así a los tres sistemas oceánicos, tiene un papel preponderante al dirigir la circulación oceánica

hacia el hemisferio sur. Sus características de temperatura muy baja, abundante y peculiar contenido biológico, alta productividad, presencia de hielo, alto contenido en sales minerales, forman un sistema marino bien definido y particular. Su superficie aproximada es de 8'000.000 de Km², es decir el 2.2% de las aguas oceánicas de la tierra, su límite norte natural oceanográfico y ecológico es el de la Convergencia Antártica y su límite político es el paralelo 60° S.

La **Divergencia Antártica** está ubicada entre el continente Antártico y la Convergencia Antártica, donde divergen las aguas de superficie y partición consiguiente y coincide con el límite entre las zonas de vientos del este y del oeste. La posición de esta divergencia y del movimiento divergente es variable ya que depende de las condiciones meteorológicas.

Finalmente el **Casquete Polar Antártico** comprendido entre el Polo Sur Geográfico y el Círculo Polar Antártico que rodea, determinado convencionalmente, paralelo a la línea del Ecuador en los 66° 32'30" S.

Al sur de los 60° S se encuentra este gigante blanco, inmenso y misterioso que es la Antártica. El manto de hielo que lo cubre llega en algunos casos a 4500 m de espesor, abarca así el 98 % de todo el continente, las barreras de hielo alcanzan una profundidad de 3000 m. Es llamativa la situación de aislamiento de la Antártica con respecto a los otros continentes, este aislamiento se produce por la existencia de

un cinturón de mares con profundidades abismales que interponen distancias que oscilan desde 1000 Km. con respecto a Sudamérica, hasta 3600 Km. con relación a África de 2540Km. con Tasmania y Nueva Zelanda. La línea de costa antártica alcanza los 24.000 Km.. La península antártica constituye una meseta de más o menos 2000 m de altura que despide glaciares, hacia sus vertientes, los océanos Atlántico, Pacífico e Índico.

La espesa capa de hielo que cubre a la Antártica enmascara sus verdaderas dimensiones, ocultando su perímetro y relieve, por lo que no se conoce con exactitud su área, pero se la estima en 14'000.000 de Km^2 , cuya parte sólida aumenta en el invierno a 34'000.000 Km^2 , congelándose 20'000.000 Km^2 de mar que es la máxima extensión observada en el mes de septiembre y en marzo la mínima que es de 3'000.000 Km^2 .

Las plataformas de hielo cubren mucho más área del continente, las dos mayores son la de Ross (532.000 Km^2), y la de Filchner (430.000 Km^2), el espesor de hielo oscila entre unos 200 m en el frente de los hielos y 1300 m en la unión con el hielo terrestre, a varios centenares de kilómetros tierra adentro. En tanto la plataforma continental antártica tiene una superficie de 2'355.000 Km^2 que sumados a la superficie emergida nos da un total de 16'355.000 Km^2 .

Los científicos han determinado como extremos antárticos, 5 polos fantásticos:

Polo Sur Geográfico.- Es el punto donde convergen los meridianos

Polo Sur Magnético.- Es el área hacia donde apunta la aguja imantada

Polo Sur Geomagnético.- Es el punto donde estaría el polo magnético, si la tierra fuera una esfera con magnetismo homogéneo

Polo Frío.- Es el lugar donde se ha registrado y medido; la temperatura más baja de la tierra (88.5° C bajo cero)

Polo de Inaccesibilidad.- Es el punto más alejado de cualquier costa del continente antártico.

1.2.2. Relieve antártico

El continente antártico es de forma casi circular y con pocas irregularidades en sus costas, salvo las entradas de los mares de Wedell y Ross que separan la Antártica Oriental de la Occidental. La Antártica mayor u Oriental se prolonga en dirección al África, esta compuestas por rocas cristalinas cuyas edades oscilan entre los 400 y 1.700 millones de años y se caracteriza por ser una región estable y rígida. La Antártica menor u Occidental se prolonga en dirección a América del Sur está

compuesta por rocas jóvenes; es una región inestable y móvil que comprende islas y mares profundos.

Estas dos grandes zonas están separadas por las montañas trasantárticas, que se extiende a lo largo de 3500 Km desde el extremo del norte en el Mar de Ross hasta el Mar de Well.

1.2.3. El Clima

La Antártica tiene esencialmente dos variedades de climas, en la parte de las islas y la península el clima es frío y húmedo, mientras que en la gran masa continental se presenta un clima frío y seco. Las bajísimas temperaturas y los fuertes vientos son las características predominantes. En ese sentido, vale la pena consignar que la media anual en el Polo Sur es de -60°C a -50°C , habiéndose registrado el récord del frío en la base antártica soviética de Vostok con -88.3°C . Mientras tanto, en algunas zonas el promedio de tormentas llega a los 340 días/año con vientos de hasta 150 Km./h. Sólo en algunas orillas como por ejemplo en la Isla Rey Jorge, asiento de gran parte de las bases antárticas pueden apreciarse áreas libres de hielo durante los veranos. Las regiones costeras bajas registran temperaturas entre -20°C a -10°C ; produciéndose las máximas en enero y las mínimas en julio.

La presión atmosférica, igual que las temperaturas sufren variaciones que dependen de las estaciones del año.

1.2.4. Glaceología y Oceanografía

Glaceología

La mayor parte de características físicas y geofísicas de la Antártica están relacionadas con las condiciones de hielo, contiene el 90% de todo el hielo del mundo y la mayor parte de la reserva de agua dulce. Este extraordinario volumen de hielo se calcula en 30'000.000 de Km^3 formados por una acumulación de 100.000 años de nieve.

Cada año, la zona de hielo marino que rodea a la Antártica aumenta y disminuye, alcanzando máximo volumen y extensión en septiembre y un mínimo a fines de febrero. El agua marina se congela aproximadamente a menos de 1.8°C . El océano se enfría y la superficie se congela formando hielo en forma de pequeños cristales hexagonales. El frente de hielo máximo, en término medio, avanza en invierno a razón de 4.2 Km. al día cubriendo una extensión total de 100.000 Km^2 diarios.

Las barreras de hielo son mantos de hielo flotante que se mantienen unidos y se proyectan más allá de la costa, los desprendimientos de estas barreras forman los grandes témpanos o icebergs, que son

masas de hielo flotante de variadas formas y magnitudes, que se forman en el verano por el efecto del incremento de las temperaturas.

Oceanografía

En la Antártica convergerá el océano Pacífico, Atlántico e Indico, formando un verdadero anillo oceánico conocido como unidad definida conocida como “Océano Antártico” o Austral.

La convergencia antártica es uno de los fenómenos oceánicos más espectaculares del mundo, es un cinturón de 40 Km.. de ancho, donde se produce cambio de temperaturas de las aguas superficiales, que no es solo un simple cambio en la temperatura, sino también de su composición química e influye en los organismos marinos y aves, los que son diferentes en cada lado de la convergencia.

Esta agua puede agruparse en cinco grandes masas: agua superficial antártica, agua superficial subantártica, agua intermedia antártica, agua profunda y agua de fondo antártico; cada una de ellas con características particulares de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto.

La masa de agua antártica de fondo se genera en las cercanías de la plataforma y talud continental, es más densa que el agua de su entorno, se hunde y escurre bajo los 3.000 m. de profundidad, al congelarse el agua de mar libera la sal que contiene; existen dos

zonas donde se forman en mayor cantidad, el mar de Weddell y el mar de Ross.

Además de estos dos mares existen los mares marginales de: Bellinghausen, Amundsen y D'Urville. Entre la Península Antártica y las Islas Shetland del sur se encuentra el Estrecho de Bransfield influenciado por la corriente circumpolar antártica del oeste.

1.2.5. Recursos existentes

La Antártica por sus características constituye una región singular en su aspecto ambiental, las condiciones ecológicas son factores selectivos de la naturaleza y composición de su flora y fauna.

Flora

Las pocas plantas que sobreviven en este continente están restringidas a pequeñas áreas sin hielo, no hay árboles y la vegetación se limita a 350 especies, sobre todo de líquenes, musgos, y algas. Hay ricos lechos de esta vegetación en la Península Antártica y se han descubierto líquenes en crecimiento en montañas aisladas a 375 Km.. del polo sur. Hay tres especies de plantas con flores en la península Antártica.

Fauna

Ningún animal vertebrado terrestre habita en la Antártica, hay invertebrados especialmente ácaros y garrapatas, que pueden tolerar las bajas temperaturas pero aún se consideran poco comunes. Sin embargo, los océanos circundantes contienen gran cantidad de vida animal, un enorme número de ballenas se alimenta de la rica fauna marina, seis especies de focas y cerca de 12 especies de aves viven y se reproducen en esta región. El pingüino es el habitante más eminente de la Antártica, es un pájaro incapaz de volar que vive en las banquizas y los océanos; se reproducen en las superficies de hielo o tierra de la costa. Los más típicos son el pingüino de Adelia y el Emperador.

En la Antártica encontramos un recurso que ha propiciado mucha expectación e interés por su gran calidad y cantidad, **el krill**, es un crustáceo semejante al camarón y alcanza una longitud de tres a cinco centímetros, se encuentra una biomasa flotante de krill estimada en cinco mil millones de toneladas, que se localiza en aguas dentro de la convergencia antártica, con solo la captura de 150 a 200 millones de toneladas anuales se podría alimentar a toda la humanidad.

Recursos No Renovables

En la Antártica existe gran cantidad de depósitos de valiosos recursos minerales, se ha comprobado que las áreas de mayor factibilidad para la explotación de minerales se encuentran en Península Antártica, Montañas Transantárticas y Antártica Oriental.

El fondo del mar Antártico también guarda minerales donde se encuentran depósitos sedimentarios de nódulos polimetálicos con una concentración de 4 a 10 kilos por metro cuadrado. Se ha descubierto carbón en depósitos comercialmente atractivos, se considera que las mayores posibilidades para la exploración y explotación de hidrocarburos se encuentran en la plataforma continental de la Antártica en profundidades comprendidas entre 36 y 900 metros.

Se estima que las reservas Antárticas de hidrocarburos están por el orden de 45 billones de barriles de petróleo y 115 millones de pies cúbicos de gas natural.

Investigaciones Científicas

En la Antártica se realizan notables investigaciones científicas: glaciología, meteorología, geomagnetismo, control del clima mundial, sismología. Los biólogos han descubierto que los peces de aguas antárticas tienen un componente anticongelante en su sangre que les permite soportar temperaturas bajo cero.

La capa de hielo que cubre la Antártica ha sido materia de intenso estudio durante varios años, logrando obtener información sobre el paisaje bajo esta capa y descubrir grandes lagos que están entre el suelo y el fondo del hielo. Otro de los grandes estudios que se realiza en la Antártica es sobre el calentamiento global del continente y la influencia de la Antártica en este fenómeno que ha llevado a determinar la existencia del llamado Agujero en la capa de Ozono, que se desarrolla cada primavera Antártica en la estratosfera sobre el Continente y que desaparece total o parcialmente al final de la estación.

También se han hecho grandes descubrimientos acerca del comportamiento de los virus en un entorno frío y aislado, además en el invierno cuando la Antártica está aislada del mundo exterior se realizan estudios psicológicos sobre el sueño.

1.3. Tratado Antártico

En Mayo de 1958, Estados Unidos invitó a los países que actuaban durante el año Geofísico Internacional, a una conferencia para considerar la posibilidad de llegar a un acuerdo que condujese al uso pacífico de la Antártica, de modo que esa región no pudiese llegar a ser motivo de conflictos políticos. La Conferencia de Washington se celebró entre el 15 de Octubre y el 1ro de diciembre de 1959, clausurándose con la firma del

Tratado antártico. A partir de este Tratado, la situación de la Antártica es jurídicamente la de un territorio de carácter internacional.

Luego de analizar las comprobaciones científicas obtenidas en los tres años polares internacionales, se resuelve en el seno de los doce países reunidos en Washington (Argentina, Australia, Bélgica, Chile, EE.UU, Francia, Japón, Nueva Zelandia, Noruega, Reino Unido, Sudáfrica y Unión Soviética), en el mes de Octubre de 1959, adoptar de común acuerdo el Tratado antártico que entró en vigencia el 23 de junio de 1961.

El Tratado Antártico durante 30 años (hasta 1991) y a la fecha ha unido a países consultivos y adherentes, en un acuerdo de singular éxito para utilizar el Continente con fines pacíficos. La investigación científica efectuada por las Partes del Tratado reconoce que la Antártica es el mayor continente intacto de la tierra y se ha comprometido a estudiar y proteger éste ambiente único. El Tratado Antártico proporciona un ejemplo al mundo de cómo las naciones pueden obrar juntas con éxito para preservar la mayor parte del planeta en beneficio de la humanidad como zona de paz, donde el medio ambiente está protegido y la ciencia ocupa un lugar prominente, sin olvidar que un eficiente apoyo logístico es vital para el desarrollo de las actividades programadas en la Antártica.

El Tratado Antártico es el instrumento Jurídico-Político que regula todas las actividades en el continente Antártico, consta de un Preámbulo, 14 artículos y Declaraciones sobre el articulado de todos los Países

Miembros del Tratado excepto de Nueva Zelandia, las disposiciones del citado Tratado se aplican en la región al sur de los 60°S incluidas las barreras de hielo.

El Tratado establece reuniones periódicas para intercambiar información, consultas o recomendaciones, requiere información previa por las Partes de toda expedición, operatividad de estaciones y personal o equipos militares con libertad de investigación, cooperación, intercambio de información, de personas, etc. Utilizándolo sólo con fines exclusivamente pacíficos, científicos y de cooperación.

El Tratado garantiza la libertad de la investigación científica y promueve la cooperación internacional. El artículo IV del Tratado establece que las diferentes posiciones relativas a las RECLAMACIONES TERRITORIALES no impedirán que las partes del tratado cooperen para conseguir los objetivos del Tratado. Desde su vigencia se instaura la primera zona desmilitarizada, desnuclearizada y de paz en el planeta, creando el primer laboratorio gigante, natural y de reserva ecológica. El Tratado prohíbe expresamente todo reclamo territorial de soberanía. Estados Unidos es el país depositario del Tratado Antártico.

Posturas contrapuestas: Territorialistas vs Internacionalistas

En el caso de la Antártica, no ha sido implementada por el Derecho Político Internacional la norma jurídica que posibilita la adquisición

territorial en la Antártica. A lo largo de los años se han planteado distintas teorías:

La Teoría del Condominio Plural de Fauchille, sostiene que las regiones polares “son territorios de naturaleza particular, que deben estar sometidos a un régimen especial, diferente a la vez de la tierra y el del agua”. Se dividiría al Polo en zonas de influencia que correspondería a cada continente, debiendo los diversos países aprovecharse de las riquezas de la zona que le correspondiera.

La Teoría de los Sectores Polares de Poirier, consiste en la formación de un sector circular de la esfera terrestre, con el vértice en el Polo y sus dos lados determinados por los meridianos correspondientes a los extremos este y oeste de las costas de los territorios de los países que se proyectan hacia el Polo.

La Teoría de Defrontación de Terezhina De Castro, se basa en el enfrentamiento de las costas, a través de sus meridianos extremos, con la Antártica; en ella se delimita los derechos de Brasil, Uruguay, Argentina, Chile, Perú y Ecuador.

La Teoría de Los Cuadrantes, divide al Polo en 4 cuadrantes, que corresponderían al sector Africano, Australiano, Pacífico y Americano.

La Teoría de La Ocupación, basada en el postulado de que el descubrimiento debe ser seguido de ocupación, que es desde tiempos primitivos el único modo real y originario de adquisición.

La Teoría de la Continuidad, estipula que un Estado ocupante de un territorio extiende su soberanía sobre las tierras con similitud morfológica que constituyen una prolongación natural del territorio que ocupa.

La Teoría del Descubrimiento otorga al descubridor, el derecho de apropiarse del territorio descubierto, sin necesidad de realizar una ocupación efectiva.

El Tratado Antártico fue suscrito por los plenipotenciarios autorizados de los doce países participantes en la Conferencia de Washington, a partir de su puesta en vigencia el 24 de junio de 1961, ha venido cobrando un admirable avance regulado por sus catorce artículos, permitiendo mantener el equilibrio a probables situaciones de conflicto que podrían haberse generado entre los países reclamantes y países no reclamantes de soberanía territorial en la Antártica y además propiciar que los países firmantes utilicen la Antártica exclusivamente para fines pacíficos en bien de toda la humanidad y que no llegue a ser escenario u objeto de discordia internacional; pero también de gran interés vital para los países de gran potencial económico, científico y tecnológico que avizoran en la Antártica una gran fuente de recursos ocultos en la nieve y el hielo y

más aún el valor geoestratégico, a los cuales aspiran también los países de Latinoamérica.

Los países territorialistas o reclamantes de soberanía en la Antártica son: Argentina, Chile, Reino Unido, Australia, Francia, Nueva Zelandia y Noruega. Los argumentos son diversos y van desde títulos de propiedad, antecedentes históricos, descubrimientos, expediciones, actividades pesqueras, etc.

Argentina se basa en Títulos de Soberanía de diversos caracteres, se afirma en lo histórico y lo geográfico lo cual lo materializó desde 1904 con la ocupación de las Islas Orcadas del Sur. Ningún país del mundo excepto Chile reconoce las pretensiones de soberanía de Argentina basada en la teoría de "los sectores".

Chile esgrime Títulos sobre el territorio antártico en base a documentos con testimonios irrefutables desde la Colonia para que los gobernadores de Chile tomaran posesión de las tierras del sur del Estrecho de Magallanes. Chile en las últimas décadas ha venido impulsando sus actividades antárticas tendientes a la colonización de la Antártica. Sus pretensiones abarcan todo territorio marítimo o terrestre entre 53° y 90° Oeste. No determinan paralelo alguno como límite.

Reino Unido se basa en descubrimientos y exploraciones que han llegado al mismo polo sur. Reclama territorio entre los meridianos 20° y

80° Oeste. La primera reivindicación británica fue proclamada en 1908 con la creación de las dependencias de las Islas Malvinas o Falklands Islands. Las relaciones de política internacional con respecto a la Antártica, están determinadas desde hace mucho tiempo por el litigio que sostienen Argentina y Chile respecto al espacio polar antártico.

Australia se basa en sus expediciones y sus reclamaciones se sustentan en una Orden del consejo Británico del 07 de Febrero de 1933 que fue aceptado por el Parlamento Federal australiano y reivindicaba los frutos de todas las exploraciones y descubrimientos. El pretendido sector australiano es interrumpido por el de Francia que reclama entre los 136° y 142° E.

Francia se basa enteramente en las múltiples exploraciones hechas por franceses y sus descubrimientos. El gobierno francés se ha opuesto firmemente a cualquier actitud encaminada a disminuir su soberanía nacional en la región antártica. Australia, noruega, Nueva Zelandia y el Reino Unido reconocen como legítima la reclamación francesa.

Nueva Zelandia se basa en sus exploraciones y descubrimientos y en la Orden del Consejo Británico de 1923 en la que la inmensa plataforma de hielo de Ross, fue proclamado establecimiento británico y se le puso bajo la autoridad administrativa del Gobernador General de Nueva Zelandia. Los países reclamantes europeos la reconocen como legítima reclamante.

Noruega se basa en las exploraciones prioritarias de sus nacionales y las actividades de caza e industrialización de ballenas y focas. Su pretensión fue formalizada en la Orden en Consejo Real Noruego, reclamando para sí el territorio comprendido entre 45° y 20° Oeste. Todos los países europeos reconocen como legítimas sus pretensiones.

Los países no reclamantes están liderados por Estados Unidos, su postura política es la de mantener la vigencia del Tratado Antártico y garantizar el cumplimiento cabal de sus objetivos, uno de sus más grandes logros es el Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección al Medio Ambiente, suscrito en Madrid el 04 de Octubre de 1991 que ya está en vigencia por haber sido ratificado por los miembros consultivos. La idea propugnada es la de la internacionalización de la Antártica teniendo como plataforma la ecología y la conservación de los recursos, teniendo como trasfondo la intención de mantener el equilibrio estratégico, evitando conflictos territoriales y muy subrepticamente restar poder de acción a los reclamantes para en su momento poder acceder como reclamantes cuando se haga realidad la explotación de la Antártica. Bajo este contexto es necesario mencionar que EE.UU es un país no reclamante territorial pero a la vez un tácito reclamante, pues formalmente ha expresado su desconocimiento a las reclamaciones territoriales en la Antártica y ha liderado la internacionalización restringida del Continente desde 1948 y contempla ciertos derechos de la Humanidad en la Antártica. Brasil es considerado un virtual

reclamante de territorio antártico cuando el Tratado sea revisado. Uruguay es un país no reclamante que de permitírsele el Tratado puede llegar a ser reclamante. El Perú y el Ecuador son países no reclamantes que podrían ser virtuales reclamantes ante una condición propicia.

1.4. Ecuador en la Antártica

1.4.1. Antecedentes

El Ecuador es uno de los países del mundo que ha desarrollado importantes intereses en el Continente Antártico. Los estudios realizados por científicos ecuatorianos y el trabajo de la Armada Nacional, le han merecido la calidad de país Miembro Consultivo del Tratado Antártico, con derecho a voz y voto y Miembro Pleno del Comité Científico para la Investigación de los Recursos Antárticos. Estas distinciones se las ha conseguido por los esfuerzos nacionales de varias instituciones y que han involucrado a la Armada Nacional y a la Cancillería, quienes han dirigido una acción continua mediante la realización de 6 expediciones científicas que le han permitido hacer un aporte de conocimientos sobre el Continente Blanco en favor de la comunidad científica internacional y de nuestro país.

A bordo del Buque de Investigación Científica “ORION”, biólogos, hidrógrafos, meteorólogos, oceanógrafos, constructores y marinos,

hicieron posible la instalación de la Estación Científica “Pedro Vicente Maldonado” a nombre y bajo el apoyo del Estado ecuatoriano, lo que concretó la presencia física del Ecuador en la Antártica, evento que nos otorga derechos irrenunciables sobre el continente helado.

Los antecedentes anotados, determinan que debe ser actitud permanente de todos los ecuatorianos y de nuestras instituciones el velar por esos intereses y promoverlos al interior de la sociedad nacional y frente a la comunidad internacional, incorporando los elementos de nuestra cultura a un quehacer que legitime la presencia del país en la Antártica, presencia que es estratégica para el desarrollo nacional de vista al futuro.

Es por esto, que la Dirección General de Intereses Marítimos, se encuentra empeñada en desarrollar una campaña de concientización y promoción de la presencia del Ecuador en la Antártica, para lo que se propone desarrollar algunos actos durante los meses de Junio y Julio, a fin de sensibilizar a la ciudadanía y a los medios de comunicación sobre este tema de interés nacional.

Síntesis histórica:

En 1959 se firmó en Washington el Tratado Antártico, en el cual participamos 13 países de los cuales, 7 reclaman derechos

territoriales; sin embargo el propio Tratado estipula en el Artículo 4 que no se podrá ejercer derechos soberanos en el continente.

El interés de nuestro país por estar presente en el Continente Antártico, se remonta al año 1967, cuando la Asamblea Nacional Constituyente hace la declaración de Derechos Soberanos en La Antártica acogiendo a la teoría de la defrontación. Los 17 años posteriores a la declaración, no se efectuó ninguna actividad ecuatoriana en la Antártica.

En el año de 1984 se produce la primera presencia de una comisión oficial del país en este continente, atendiendo una invitación del Instituto Antártico Chileno.

Luego de la primera presencia ecuatoriana en la Antártica, se efectuaron actividades de carácter político y científico, las mismas que se pueden resumir a continuación:

Actividad Política:

Adhesión del país al Tratado Antártico

El 16 de junio de 1987, el Congreso Nacional aprobó la adhesión del Ecuador al Tratado Antártico mediante Resolución publicada en el Registro Oficial 714 del 24 de junio del mismo mes y año.

El 05 de agosto de 1987, el entonces Presidente de la República, Ing. León Febres Cordero, acogiendo la recomendación del Congreso Nacional, decreta la adhesión del país al Tratado Antártico. Se marca con ello el inicio de una política oficial del Estado Ecuatoriano, el país pasa de una etapa de pretensiones territoriales en el Continente Blanco a otra de firme aspiración de formar parte del concierto de Naciones que, bajo el marco del Tratado Antártico, está coadministrando este Continente.

A partir de estos hechos se hizo evidente ante la Comunidad Internacional la vocación ecológica del Estado Ecuatoriano de contribuir a la preservación del frágil ecosistema Antártico y el aprovechamiento racional de sus recursos para el desarrollo de la vida.

Creación del Programa Antártico Ecuatoriano (PROANTEC)

El 01 de agosto de 1988, mediante Acuerdo No. 1508 del Ministerio de Defensa, se crea la Secretaría Ejecutiva del Programa Antártico, como el organismo encargado de la conducción de las actividades, adscrito al Instituto Oceanográfico de la Armada. Este fue relevado por el Instituto Antártico Ecuatoriano (INAE), debido a la importancia que se le ha dado al tema de la presencia de nuestro país en el continente más austral.

Creación del Instituto Antártico Ecuatoriano (INAE)

Mediante el decreto ejecutivo No. 1610 del 23 de Abril de 2004, publicado en el R. O. 326 del 3 de Mayo del mismo año, el Ex-presidente de la República, Ing. Lucio Gutiérrez Borbúa, creó el Instituto Antártico Ecuatoriano, INAE, adscrito al Ministerio de Defensa, con domicilio en Guayaquil y cuya misión principal será la de fomentar y mantener la proyección geopolítica del país y participación permanente en las actividades de investigación científica en el contexto del Tratado Antártico.

El INAE promoverá la participación activa del Ecuador en la Antártica para fines de investigación científica, contribuirá a la preservación del medio antártico y fomentará el intercambio de conocimientos con instituciones similares de los países miembros del Tratado Antártico.

De acuerdo con el decreto ejecutivo No. 1610, el INAE garantiza el funcionamiento de la Estación Pedro Vicente Maldonado y toda estación o facilidad científica que se establezca en el área y dentro de los lineamientos del Sistema Antártico.

El INAE está conformado por un Consejo Directivo integrado por los Ministros de Defensa, Relaciones Exteriores, Economía, del Ambiente (o sus delegados), así como del Director General de Intereses Marítimos de la Armada y el Director Ejecutivo del Instituto.

Miembro Consultivo del Tratado Antártico

En Viña del Mar, el 19 de noviembre de 1990, el Ecuador, es aceptado como Miembro Consultivo del Tratado Antártico, esto es, con derecho a voz y voto en el seno de las reuniones de este “Grupo de Países” que deciden la suerte del Continente, convirtiéndolo en el más grande laboratorio de la Investigación Científica de la Humanidad.

Ecuador, “Miembro Pleno” del SCAR

El Ecuador ingresa, EN 1988, como “Miembro Asociado” de este Comité científico para la investigación Antártica (SCAR) que actúa en forma paralela al Tratado Antártico con decisiones independientes del foro político. En 1992, y gracias a la labor científica desarrollada por el País es aceptado como “Miembro Pleno, con voz y voto, en el más importante foro científico de la investigación Antártica.

Actividad Científica:

Primera Expedición Antártica Ecuatoriana

En el verano austral de 1987-88, con el B/I “ORION”, se realiza la primera expedición. El resultado más importante lo constituye la instalación del Refugio “República del Ecuador” en Punta Hennequin de la Isla Rey Jorge.

Segunda Expedición Ecuatoriana a la Antártica

De enero a marzo de 1990, se ejecutó la segunda expedición a bordo del B/I “ORION”, hecho que constituye la materialización del programa científico-logístico más ambicioso del país con base en una plataforma de investigación.

Esta expedición ejecutó diversos proyectos en las áreas de la Oceanografía, Meteorología, Geología Marina, y Contaminación Radioactiva.

Se construyó el primer módulo de la Estación Científica “**PEDRO VICENTE MALDONADO**”, En Punta Fort Williams de la Isla Greenwich, y, se levantó la primera carta náutica en la Antártica.

Los resultados constituyeron no solo una muestra de la capacidad técnico-científica que existe en el país, sino del valor y decisión de la Armada e instituciones de investigación y sus hombres para cumplir tareas en estos climas adversos y ratificar con hechos la decisión histórica de incorporar la Antártica al presente y futuro de los ecuatorianos.

Expediciones Aéreo-Marítimas

El envío de la tercera (1992), cuarta (1993), quinta (1994) y sexta (1995) expediciones por vía aéro-marítima comercial constituyeron la alternativa para estar presentes en la Antártica sin el apoyo del B/I

“ORION”, y, posibilitó la continuidad en los proyectos de Biología, Geología, Meteorología , Ecología y Medicina que se ejecutan en las inmediaciones de Punta de Fort Williams y además, permitió completar las tareas de mantenimiento del primer módulo de la Estación Científica **“PEDRO VICENTE MALDONADO”** y del refugio **“REPUBLICA DEL ECUADOR”**.

Séptima Expedición Ecuatoriana a la Antártica

Entre diciembre de 1997 y marzo de 1998 se efectuó la VII Expedición Ecuatoriana a la Antártica con la participación nuevamente del Buque de Investigaciones "Orión" de la Armada del Ecuador. Ésta tuvo dos objetivos fundamentales: realizar investigación científica y ampliar considerablemente la estructura de la Estación Ecuatoriana, con la construcción del segundo y tercer módulo.

A partir de esta expedición se incluye el estudio de impacto ambiental que las actividades de la Estación Pedro Vicente Maldonado pudieran causar al ecosistema circundante, proyecto que se hace continuativo para las siguientes expediciones.

La necesidad de contar con una base para investigaciones científicas y de apoyo logístico llevó al Programa Antártico Ecuatoriano, organismo dependiente de la Armada del Ecuador, a emprender un proyecto de construcción que comenzó con el diseño de una estación funcional en

1989 y luego fue desarrollándose poco a poco hasta completarla el año 1998.

En la actualidad la Estación Ecuatoriana "Pedro Vicente Maldonado" presenta una adecuada y cómoda infraestructura con habitabilidad, laboratorios y áreas de servicio para dar alojamiento en los veranos antárticos a 18 investigadores, se encuentra ubicada en la Punta Fort Williams de la Isla Greenwich Archipiélago de las Shetland del Sur.

Novena Expedición Ecuatoriana a la Antártica

Desde el 8 de diciembre de 2003 al 24 de febrero de 2004, se realizó la novena expedición, con el desarrollo de once proyectos científicos, dentro de los cuales se presenta el estudio de campo para la elaboración de esta monografía, los mismos que se encuentran documentados en el Acta Antártica, como un aporte a la comunidad científica mundial.

Décima Expedición Ecuatoriana a la Antártica

En los meses de Diciembre de 2005 y enero del 2006, se realizó la décima expedición, con el fin de dar mantenimiento a la Estación Científica "Pedro Vicente Maldonado" y del Refugio "Armada del Ecuador"

Resultados de las investigaciones científicas

En el campo científico

El Ecuador ha desarrollado proyectos de investigación en las siguientes áreas:

- Programas de investigación sobre cambios climáticos.
- Estudios de impacto ambiental de la región.
- Estudios ecológicos.
- Estudio del funcionamiento cardíaco y muscular de individuos expuestos al frío (ergonometría).
- Determinación de consumo de oxígeno en los expedicionarios expuestos al frío (oximetría).
- Estudio sobre cianobacterias y hongos.
- Meteorología del área.
- Tratamiento de desechos.
- Sistemas de información geográfica Antártica-Ecuatoriana.
- Trabajos hidrográficos y oceanográficos, en general.
- Estudio de las especies de animales que se encuentran en las áreas aledañas a la Estación.
- Estudio de campo para el desarrollo del sistema de calefacción utilizando la energía eólica.

En el campo político Internacional:

El Ecuador goza de un sitio de privilegio, con la misma representatividad de las grandes potencias, con voz y voto en las decisiones que se toman en el seno del Tratado y del SCAR. A estos foros oficiales del sistema antártico se añade la Reunión de Administradores de Programas Antárticos Latinoamericanos (RAPAL), organismo que agrupa a los países sudamericanos con intereses antárticos (Argentina, Chile, Brasil, Uruguay, Perú y Ecuador), cuya posición geográfica y número hacen cada vez más factible una actuación en bloque frente a las múltiples negociaciones que el sistema Antártico enfrenta para administrar este sexto Continente.

Obligaciones del Ecuador como miembro consultivo del Tratado Antártico

El Tratado impone condiciones claras para la permanencia en el Tratado de los países, que ostentan el status de consultivos. El párrafo segundo, artículo 9 de su texto reza: “En cuanto estos países continúen dando muestras de su interés en la Antártica”.

Para comprender la magnitud de las obligaciones que el Ecuador tiene como Miembro Consultivo del Tratado Antártico, se indican a continuación cinco aspectos fundamentales:

Un Sistema Nacional Eficiente

El país deberá contar con un Sistema Antártico Nacional que asegure calidad, continuidad y permanencia de las actividades en la Antártica.

Participación activa en foros

- a) El país deberá tener una participación activa en los foros políticos y científicos.
- b) Deberá presentar ponencias previamente definidas.
- c) Deberá garantizar que exista continuidad y permanencia en las delegaciones, demostrando coherencia en los planteamientos.

Cumplimiento de los documentos del Tratado Antártico.

- a) Deberá cumplir y hacer cumplir con los documentos que integran el Tratado Antártico como son: convenciones, recomendaciones y protocolos.
- b) Deberá tramitar cambios de leyes nacionales, producto de la ratificación de los convenios.
- c) Deberá tramitar la creación de leyes nacionales, producto de la ratificación de los documentos.

Investigación Permanente

El país deberá realizar expediciones a la Antártica, en forma individual, conjunta y cooperativa.

Presencia Activa

Deberá mantener una presencia activa en la Antártica, por medio de una estación científica, la misma que deberá funcionar todo el año o parcialmente, solo en el verano.

Razones por las que estamos en la Antártica

Muchas son las interrogantes planteadas sobre nuestra presencia en la Antártica, tomando en cuenta lo costoso de las operaciones y la crisis económica del país, más aún cuando los resultados de las expediciones son aparentemente intangibles y no contribuyen a solucionar problemas inmediatos y prioritarios. Sin embargo para enfocar la problemática antártica y su ingerencia en el desarrollo del país hay que hacer lo que en nuestro Ecuador no estamos acostumbrados a hacer, mirar el futuro, hacer prospectiva, trabajar a largo plazo. A continuación los argumentos por los cuáles el Ecuador debe estar en la Antártica: Ecuador y la Antártica tienen un vínculo especial que deriva de su ubicación geográfica en el hemisferio sur, del enfrentamiento de las Islas Galápagos al continente antártico, de la influencia directa e indirecta que ejerce este continente en el clima, en la ecología y en la biología marina

ecuatoriana y a la necesidad de que la preservación y utilización de los recursos antárticos, cautelar los legítimos intereses del Ecuador y de la Comunidad Internacional en el marco del Tratado Antártico y del Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección al Medio Ambiente.

Estudiar e investigar en su origen y durante su desarrollo el comportamiento de la Corriente Fría de Humboldt, por la razón fundamental de ser el mayor elemento generador de la riqueza ictiológica de nuestro mar y costas y a la vez es el moderador de la climatología marino-costera. Cabe resaltar el hecho de que esta corriente es un componente importante en los procesos de generación del Fenómeno El Niño, aspectos que ejercen una gran influencia en la supervivencia del país y determinan su comportamiento socio-económico.

Proyectar geopolíticamente la imagen de nuestro país, lo que nos permitirá estar presentes y tomar decisiones en los foros internacionales, donde se tratan aspectos de política internacional relacionados a la Antártica.

Trabajar en conjunto con la comunidad científica internacional en el conocimiento e investigación del Continente Antártico, apoyando de esta manera los esfuerzos desplegados para cuidar y proteger la Antártica.

El Ecuador gracias al esfuerzo demostrado durante la etapa de ser Miembro Adherente del Tratado Antártico al haber realizado importantes expediciones científicas y logrado instalar y construir la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, fue declarado Miembro Consultivo del Tratado Antártico , con capacidad de voz, voto y capacidad de veto en la solución de todos los aspectos inherentes al Continente Antártico. Las principales ventajas que se obtienen como resultado de poseer el status de Miembro Consultivo del Tratado Antártico son:

En el Campo Político

- Mantener el prestigio internacional al haber logrado situarse junto a países de potencial científico y tecnológico avanzados en materia antártica.
- Continuar desarrollando actividades de competencia científica, tecnológica, logística, histórica y otras en el ámbito del Pacífico Sur, a fin de no quedar rezagados en materia de la problemática antártica.
- Participar con capacidad de voz, voto y veto frente a las decisiones que se adopten sobre el futuro del Continente Antártico.
- Desarrollar en Naciones Unidas y otros foros internacionales, acciones destinadas al reconocimiento y respeto por parte del Ecuador, sobre los derechos y obligaciones contraídas por nuestro País en el marco del Tratado Antártico.

- Visualizar los intereses políticos de los países de la Cuenca del Pacífico que son miembros del Tratado Antártico, a fin de coordinar acciones para la Cooperación Bilateral o Multilateral en materia científica, técnica, logística y otros que favorezcan los intereses de la Nación.

En el Campo Geopolítico y Estratégico

- Situar al Ecuador en un nivel de decisión, capaz de influir en los acontecimientos, y en los diversos intereses que demuestren los países sobre el Continente Antártico, con particular atención de los países del bloque Latinoamericano o Iberoamericano.
- Participar en el Control del Pasaje Drake, que ante un eventual cierre del Canal de Panamá, podría adquirir una preponderante importancia, como única vía del Pacífico al Atlántico e Índico y viceversa.

En el Campo Científico, Tecnológico, Logístico y Cultural

- Promover la participación de personal ecuatoriano calificado en actividades de investigación científica, tecnológica, logística, histórica y otras aplicadas al conocimiento de la Antártica.
- Promover la formación y perfeccionamiento de la juventud estudiosa de escolares, universitarios, profesionales e instituciones públicas y

privadas que podrían aplicar sus conocimientos en la problemática antártica.

- Promover y facilitar el intercambio de personal científico, técnico y logístico con otros países Miembros del Tratado Antártico a fin de obtener resultados y experiencias positivas que permitan elevar el nivel y categoría en relación a otros países de mayor experiencia en materia antártica.
- El estar en contacto con las investigaciones climáticas en la Antártica y efectuarlas por parte de nuestro país, permitirán responder incógnitas respecto a la variabilidad climática en la región del Pacífico Sudeste y concretamente el Ecuador.
- La Antártica se convierte en un nuevo punto potencial de ecoturismo que podría desarrollar el Ecuador.

En el Campo Económico

- Incrementar el potencial del país en base a la explotación de los recursos vivos que existen en el Continente Antártico, como es el Krill, con fines alimenticios (balanceados) y medicinales. La explotación de los recursos minerales está postergada hasta los 50 próximos años, a partir de 1991 (Protocolo de Madrid del 04 de Octubre de 1991).

- Participar en el control de la racional explotación de los diferentes recursos que los países de avanzada tecnología vienen realizando.
- Salvaguardar el buen manejo del área subantártica por parte de las potencias mundiales evitando afectación en las fuentes generadoras del principal ecosistema marino ecuatoriano: el de la Corriente Fría de Humboldt.
- Desarrollar actividades logísticas mediante la cooperación internacional que permitan evitar gastos considerables en materia de transporte marítimo y/o aéreo, en especial con países de la región (Argentina, Chile, Brasil y Uruguay).

En el Campo Ecológico

Garantizar el buen uso del continente, su preservación y participar en las decisiones que se tomen en los foros mundiales sobre el manejo del continente tomando en cuenta como principal amenaza para nuestro país, el hecho de que cualquier actividad bélica o tecnológica emprendida por las potencias mundiales y que implique el uso de isótopos radioactivos en la Antártica, podría alterar dramáticamente la genética y la dinámica poblacional de los principales recursos pesqueros cuyo hábitat es la Corriente de Humboldt y que sostiene más del 70% de los recursos pesqueros tanto bentónicos como pelágicos en el mar ecuatoriano.

CAPÍTULO 2

2. ENERGÍA EÓLICA

La energía que emite el sol en forma de ondas calienta la Tierra, a la cual se la puede comparar con una gran caldera, donde se calientan las masas de aire.

La energía eólica es una forma indirecta de energía solar, puesto que son las diferencias de temperatura y de presión inducidas en la atmósfera por la absorción de la radiación solar las que ponen en movimiento los vientos. Se calcula que un 2 % de la energía solar recibida por la Tierra se convierte en energía cinéticas de los vientos. La cantidad de energía correspondiente es enorme: unos 30 millones de TWh. Incluso teniendo en cuenta que sólo el 10 % de esta energía se encuentra disponible cerca del suelo, el potencial sigue siendo considerable; así, es difícil concebir en la actualidad la explotación de una parte notable de este potencial. En efecto, sería necesario cubrir las tierras emergidas y las superficies marinas con enormes motores eólicos. En estas condiciones, es más razonable estimar que por mucho tiempo las aplicaciones de la energía eólica se limitaran a utilizaciones locales, en regiones aisladas - a un nivel de potencia de algunos kW a

algunas decenas de kW- o bien a un papel de fuente complementaria en la alimentación de las redes eléctricas - con niveles de potencia de hasta algunos MW-.

Las zonas más favorables para la implantación de grandes motores eólicos son las regiones costeras y las grandes estepas, donde vientos constates soplan regularmente: es necesaria una velocidad media del viento superior a 30 km/h (fuerza 5 en la escala de Beaufort).

2.1. Formación de los vientos

Los vientos se forman por el calentamiento desigual de las masas de aire como efecto de la energía que irradia el sol.

Para que exista viento es necesario que haya una diferencia de presión entre dos puntos de la superficie terrestre.

Las extensiones de tierra y océano provocan diferencias de temperatura y presión debido a las distintas cualidades que poseen para transferir el calor, entonces se produce un flujo de aire desde los sitios de alta hacia los de baja presión.

Los movimientos de rotación y traslación de la tierra y los efectos gravitacionales producen la fuerza de Coriolis sobre las masas de aire.

La variación de la presión por unidad de longitud se denomina gradiente de presión. A mayor gradiente de presión más fuerte es el viento que origina, cuanto más apretadas están las líneas de igual gradiente de presión, isóbaras, la fuerza del viento es mayor.

Las masas de aire se mueven desde la zonas polares del planeta, donde las presiones son más altas y se dirigen hacia la zonas de alta presión subtropicales para finalmente ir hacia la zona de baja presión ecuatorial, el movimiento de los vientos son en el hemisferio norte en sentido de la rotación de las manecillas de un reloj, mientras que en el hemisferio sur resultan inverso al movimiento estas.

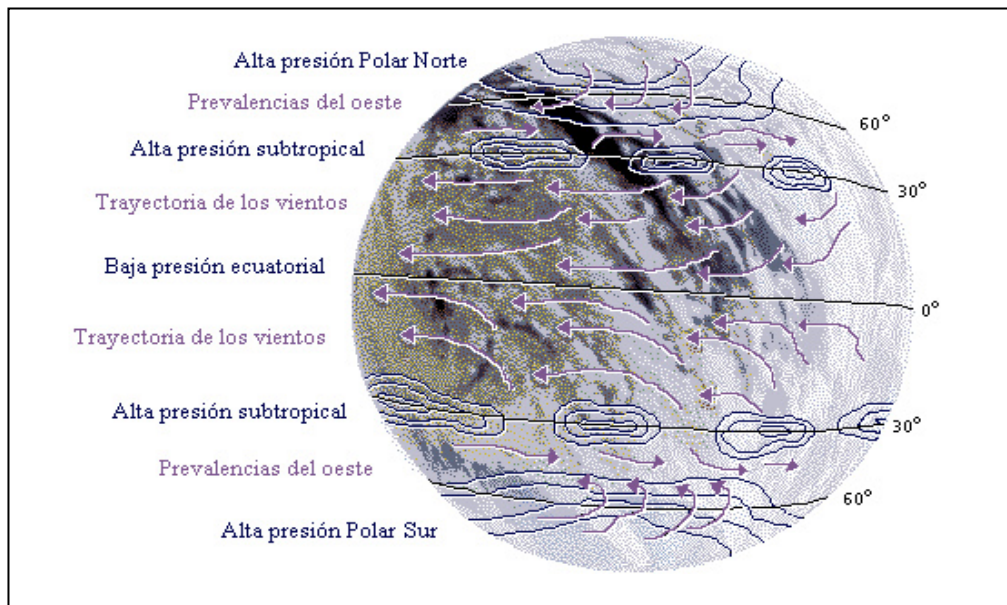


FIGURA 2.1. MOVIMIENTO DE LAS MASAS DE AIRE

2.2. Clasificación de los vientos

A los vientos se los ha clasificado de diversas formas, así por el sitio donde se forman, por su periodicidad y también por su fuerza.

La clasificación más conocida y utilizada es la escala de viento de Beaufort¹, usada en los medios meteorológicos y marinos.

Viento de altura

En el seno de la atmósfera el aire se mueve en todos los niveles, por lo que no debe sorprender la expresión “*viento de altura*”. En la práctica meteorológica diaria se trazan mapas de altura semejantes al mapa de superficie en el que se analizan las isóbaras. Los mapas de

altura usados son las llamadas topografías, ya que en vez de analizarse la presión que se mide a una altura fija, se analiza a qué altura está del suelo una superficie en la que reina la misma presión. Así es como se analizan las cartas de altura en 500 hectopascales, 850 hectopascales y otros tantos. Las líneas que unen iguales alturas se llaman isohipsas.

Quedan determinados así los sistemas de alta o baja presión en altura, así como las vaguadas y dorsales. El viento en altura sigue a las isohipsas y depende de la separación entre estas, así como en superficie lo hace con las isóbaras. En la carta de 300 hectopascales suele apreciarse la *corriente en chorro o jet stream*. Esta es una fuerte corriente de viento que se caracteriza por una gran variación de la fuerza del viento en sentido horizontal y vertical y presenta uno o más máximos en la velocidad, con un mínimo de 70 nudos a lo largo del eje. Separa masas de aire diferentes. Se le reconoce un papel importantísimo, la acción rectora que ejerce sobre los sistemas de presión en superficie. Por ejemplo, se ha demostrado que un sistema de baja presión se mueve poco más o menos a una velocidad del 50% del viento en la topografía de 500 hectopascales.

¹ Francis Beaufort, 1805, hidrógrafo irlandés

Vientos periódicos

El diferente calentamiento de la tierra y el mar en las zonas costeras origina parcelas convectivas de aire de carácter local. El suelo se calienta más de prisa que el mar, e igualmente el aire que está sobre él. Ya caliente, asciende, y es reemplazado por aire más frío proveniente del mar.

De noche ocurre lo contrario el suelo se enfría más pronto y el aire que asciende es situado sobre el mar, con el que el viento resultante, se dirige de la tierra al mar. Esto se conoce como Brisa de mar y tierra. Algo análogo ocurre en la brisa del valle durante el día y de la montaña durante la noche.

Los *monzones* son vientos estacionales originados por la diferente capacidad calorífica del continente asiático respecto al Océano Índico. En el verano, el continente se calienta más en los mares, lo que origina un mínimo de presión que tiende a ser compensado por vientos húmedos del sudoeste (monzón húmedo). En invierno, el monzón sopla del continente al mar en forma de vientos secos del noreste.

Vientos locales

Las particularidades orográficas de cada región, combinadas con ciertas situaciones meteorológicas que se repiten, dan lugar a vientos característicos de aquéllas, que pasan a formar parte de su patrimonio geográfico – climatológico. Aquí van algunos ejemplos:

TABLA 2.1. VIENTOS LOCALES CARACTERÍSTICOS

Nombre	Característica	Región donde se producen
Siroco	Cálido y seco	Costa argelina, Sicilia y Baleares
Simún	Cálido y seco	Desiertos africanos y Oriente próximo
Chamsin	Cálido y seco	Egipto
Shergui	Cálido y seco	Marruecos
Leste	Cálido y seco	Canarias y Madera
Harmattan	Cálido y seco	Guinea
Mistral	Frío	Valle del Ródano
Bora	Frío	Yugoslavia
Kosava	Frío	Servia
Crivetz	Frío	Rumania
Pampero	Frío	Argentina

Clasificación de los vientos por su intensidad de fuerza

La siguiente tabla muestra las diferentes clases de vientos según Beaufort:

TABLA 2.2.
ESCALA BEAUFORT DE LA FUERZA DEL VIENTO

# Beaufort	Término	Velocidad del viento				Apariencia del mar	Especificaciones en tierra
	Descriptivo	m/s	km/h	millas/h	nudos		
0	Calmo Calmo	0 - 0,5	0 - 1	0 - 1	0 - 1	Como espejo no agitado	Calma el humo sube verticalmente
1	Brisa o ventolina Aire ligero	0,6 - 1,7	2 - 6	2 - 3	2 -	Pequeñísimas olas	La dirección del viento es señalada por el humo pero no por las veletas.
2	Viento suave Brisa ligera	1,8 - 3,3	7 - 12	4 - 7	- 6	Olas con crestas	Se percibe el viento en las caras de las veletas comunes, éstas son movidas.
3	Viento leve Brisa suave	3,4 - 5,2	13 - 18	8 - 11	7 - 10	Crestas blancas ocasionalmente	Las hojas y las ramitas de los árboles se hallan en movimiento constante
4	Viento moderado Brisa moderada	5,3 - 7,4	19 - 26	12 - 16	11 - 16	Sectores de mar con crestas blancas	Se levanta polvo y papeles suelos, se mueven ramas pequeñas.
5	Viento regular Brisa regular	7,5 - 9,8	27 - 35	17 - 21	17 - 21	Mar cubierto con crestas blancas	Árboles pequeños se mecen, olas en lagunas y en estanques con crestas.
6	Viento fuerte Brisa fuerte	9,9 - 12,4	36 - 44	22 - 27	22 - 27	Grandes olas	Se mueven grandes ramas, se oye el silbido de alambres telegráficos.
7	Viento muy fuerte Brisa muy fuerte	12,5 - 15,2	45 - 54	28 - 33	28 - 33	Espuma leve en todos los lugares	Se mecen árboles por entero, molestoso caminar contra el viento.
8	Temporal Ventarrón	15,3 - 18,2	55 - 65	34 - 40	34 - 40	Olas comienzan a romperse en su crestas	Se rompen ramitas de los árboles, difícil caminar cara al viento.
9	Temporal fuerte Ventarrón moderado	18,3 - 21,5	66 - 77	41 - 48	41 - 47	Grandes olas con lon- gitudes de onda	Ocasiona leves daños, desprende tejas y cabezas de chimeneas.
10	Temporal muy fuerte Ventarrón fuerte	21,6 - 26,1	78 - 90	49 - 56	48 - 55	Espuma densa en to- dos los lugares	Se experimenta rara vez tierra adentro los árboles se arrancan de raíz.
11	Tornado	26,2 - 28,9	91 - 104	57 - 64	56 - 65	Buques de tamaño mediano no se ven	Se experimentan muy rara vez ocasionan daños generales
12	Huracán	>29	>104	>65	>65		

En la escala anterior se tiene, en la columna *término descriptivo*, que en la celda superior se encuentra el nombre correspondiente a la literatura encontrada como vientos de tierra, mientras que en la parte inferior se tiene a los nombres de acuerdo al Manual de Bolsillo del Marino Mercante. Es importante citar que la velocidad en nudos corresponde a millas náuticas por hora. En las columnas correspondientes a *velocidad del viento*, en cada celda en la parte superior se encuentra el valor mínimo y en la parte inferior el máximo correspondiente al intervalo.

Hay que agregar que los ciclones tropicales toman los nombres dependiendo del sitio donde se producen así:

TABLA 2.3. NOMBRE DE LOS CICLONES TROPICALES

Huracanes	Tifones	Ciclones
Oeste de la India y Este de la Costa Norteamericana. México y Baja California en el Pacífico Norte. Se producen en casi todos los meses pero más en Julio a Octubre (inclusive). En el Pacífico Sur 90% durante Diciembre a Marzo (inclusive).	Mar Chino y en los mares entre China y Japón. Han ocurrido cada mes, pero principalmente entre mayo y noviembre con mayor frecuencia en septiembre.	En el Océano Norte de la India. En mayor número en octubre y noviembre en el Océano Pacífico Sur, especialmente de noviembre a mayo. Son desconocidos en agosto y septiembre.

2.3. Turbinas eólicas

2.3.1. Tipos de turbinas

Se distinguen dos grandes categorías de motores eólicos, de difieren por la disposición de su eje: horizontal y vertical. Los motores eólicos de eje horizontal son los más extendidos; exigen una orientación continua de su eje, que debe mantenerse paralelo a la dirección del viento; sólo en esta posición las aspas o las palas estarán de cara al viento permanentemente. Los pequeños motores eólicos de eje horizontal (gama de potencia de 0,5 a 50 kW) suelen estar equipados con gran numero de palas, en cuyo caso pertenecen al tipo americano que es, de hecho, el tipo de numerosos molinos tradicionales, como el molino de las Baleares (de seis aspas) o el molino griego (de doce aspas). Este tipo de motor eólico tiene la ventaja de que puede funcionar con vientos flojos.

Los grandes motores eólicos de eje horizontal están equipados con hélices de tres o dos palas. Estos molinos de hélice se han beneficiado de los progresos técnicos de la aeronáutica para la realización de palas muy grandes (de hasta 100 m de longitud) y pueden suministrar potencias elevadas: típicamente de 100

kW a varios MW. Sólo funcionan bien cuando soplan vientos de velocidad media o fuerte en cuyo caso ofrecen un excelente rendimiento. Su principal problema es la fatiga mecánica de los elementos estructurales, que ha desembocado en la rotura de palas en diversos motores eólicos experimentales.



FIGURA 2.2. PLANTA EÓLICA EXPERIMENTAL DE TARIFA

Los motores eólicos de eje vertical son los más antiguos que se utilizaron, sin duda por su sencillez de funcionamiento que no requiere ninguna orientación del eje; sin embargo presentan el inconveniente de tener un rendimiento menos elevado que los de eje horizontal. Estaban prácticamente abandonados cuando, durante los años 60, Estados Unidos de América y Canadá pusieron a punto una nueva concepción de los motores eólicos

de eje vertical, inventada en 1925 por el ingeniero francés Darrieus; se trata de un molino cuyas palas tienen el mismo aspecto que la parte móvil de un batidor de huevos.



FIGURA 2.3. MOTOR EÓLICO TÍO DARREIUS

2.3.2. Aspectos de diseño y aplicaciones

En el diseño de una instalación eólica es necesario considerar tres factores:

- El emplazamiento
- El tamaño de la máquina
- Los costos

El **emplazamiento** elegido para instalar la máquina eólica ha de cumplir dos condiciones: el viento ha de soplar con regularidad y su velocidad ha de tener un elevado valor medio. Se hace necesario, por tanto, disponer de una información

meteorológica detallada sobre la estructura y distribución de los vientos. Las mediciones estadísticas deben realizarse durante un período mínimo de tres años, para poder obtener unos valores fiables, que una vez procesados permiten elaborar:

Mapas eólicos: proporcionan una información de ámbito global del nivel medio de los vientos en una determinada área geográfica, situando las zonas más idóneas bajo el punto de vista energético

Distribuciones de velocidad: estudio a escala zonal de un mapa eólico, que proporciona el número de horas al año en que el viento tiene una dirección y una velocidad determinadas.

Perfiles de velocidad: variación de la velocidad del viento con la altura respecto al suelo, obtenido por un estudio puntual.

Las medidas necesarias para obtener los parámetros indicados se hacen con diversos aparatos, más o menos sofisticados, pero que están basados principalmente en el funcionamiento del anemómetro (medidor de la velocidad del viento).

En resumen, la elección del emplazamiento de una máquina eólica es un elemento determinante para su explotación, y depende de forma casi total del potencial eólico de la zona, aunque el tamaño de la máquina también suele influir en la decisión final.

El **tamaño** de la máquina condiciona fuertemente los problemas técnicos. En el caso de las grandes plantas eólicas, el objetivo principal es conseguir unidades tan grandes como sea posible, con el fin de reducir los costos por kW obtenido, pero las grandes máquinas presentan problemas estructurales que sólo los puede resolver la industria aeronáutica. Para las pequeñas aeroturbinas, el problema es diferente; el objetivo técnico principal es la reducción de su mantenimiento, ya que su aplicación suele estar dirigida a usos en zonas aisladas.

Se observa, pues, que el criterio de elección del tamaño de la máquina eólica es su **costo**, aunque hay que contemplar asimismo su aplicación. Así, si se desea producir energía eléctrica para distribuir a la red, es lógico diseñar una planta eólica mediana o grande, mientras que si se trata de utilizar esta energía de forma aislada, será más adecuada la construcción de una máquina pequeña, o acaso mediana.

Finalmente, el tamaño de la planta eólica determina el nivel de producción y, por tanto, influye en los costos de la instalación, dentro de los que cabe distinguir entre el costo de la planta (costo por kW) y el costo de la energía (costo por kWh).



FIGURA 2.4. PARQUE EÓLICO DE TARIFA (ESPAÑA)

En las plantas de gran potencia el costo de la instalación presenta economía de escala: hasta ciertos límites tecnológicos, cuanto mayor sea la instalación, menor será su costo por kW. Sin embargo, el costo de la energía depende de diferentes factores variables.

En las pequeñas máquinas eólicas, el costo de instalación es difícil de determinar, principalmente debido a que se ve muy afectado por el volumen de fabricación, y éste depende del mercado. Por su parte, el costo de la energía es muy superior al precio de la energía

convencional. Sin embargo, la rentabilidad de las pequeñas máquinas puede resultar positiva si se tiene en cuenta su ámbito de aplicación, lugares aislados donde el costo de la energía de la red es muy superior al costo en los grandes centros de consumo, una vez añadidos los gastos de instalación de la línea.

Los motores eólicos de Darrieus serían adecuados para la producción de pequeñas potencias, inferiores a 50 kW. Dado que la energía eólica es variable en el tiempo, su aplicación privilegiada es el bombeo del agua, que puede realizarse en cualquier momento y permite un almacenamiento sencillo en caso de desfase entre la manifestación de la necesidad y la disponibilidad de la energía: basta con almacenar el agua bombeada en un depósito.

Para la producción de la electricidad, cabe distinguir dos casos: el de las pequeñas instalaciones autónomas y el de las grandes instalaciones conectadas a una red. Las pequeñas instalaciones - como, por otra parte, los demás generadores autónomos que recurren a una fuente de energía renovable - deben utilizar un almacenamiento en una batería de acumuladores, lo que desgraciadamente es una solución onerosa.

En cambio, las grandes instalaciones pueden prescindir de un sistema de almacenamiento de la electricidad producida: en efecto,

por lo menos en tanto que esta producción represente sólo una pequeña parte de su capacidad total.



FIGURA 2.5. BOMBA DE AGUA PARA LA AGRICULTURA

2.3.3. Regulación de potencia

Concepto de regulación de potencia

Los convertidores de energía eólica necesitan en general una regulación y control de funcionamiento, cuyo objetivo es permitir a un convertidor de energía eólica contener y limitar la potencia y sus rpm; y así proteger a la instalación de sobrecargas y posibles daños por la acción de los fuertes vientos. Consecuentemente el costo de una correcta y confiable

regulación aumenta para las grandes instalaciones, porque el movimiento permitido para las grandes estructuras, en caso de sobrecargas, es pequeño. Junto con esta tarea de protección de la instalación, puede también la regulación mejorar la calidad de la corriente de aire sobre el perfil y así disminuir la oscilación de potencia y de la frecuencia deseada. Las modernas instalaciones tienen rápida regulación, pero continua la tarea para el caso de vientos débiles, por ejemplo un óptimo aprovechamiento mediante rápida regulación de palas con RPM constantes o sino un generador con rápido ajuste de carga puede funcionar con ángulo invariable de pala y siempre con un óptimo coeficiente de velocidad de punta de pala (λ).

También se debe diferenciar entre comando de la operación y regulación, el primero rara vez se activa, él controla la maniobra del equipo; en cambio es la regulación que se activa y reacciona durante los rápidos cambios de velocidad de viento y carga del generador.

La potencia nominal de un convertidor eólico, normalmente se consigue con la velocidad nominal del viento, pero en la naturaleza esta velocidad es superada frecuentemente, así que en la entrega normal de potencia, no es la carga sobre la

estructura el gran límite, sino el recalentamiento del generador por el sobrepaso de la potencia nominal. Debe por este motivo la regulación actuar y entonces dotar a la instalación de un generador protegido y confiable, desde el punto de vista del calentamiento. Esto es para un instante o un corto tiempo del exceso de potencia nominal.

El fabricante indica en la hoja de datos técnicos del generador, la potencia y la frecuencia máxima de sobrecarga momentáneas, es decir el generador por debajo de estos índices no sufrirá daño alguno. Entonces la regulación puede en este corto tiempo, permitir en un determinado marco, la sobrecarga; pero no esta permitida la sobrecarga de “larga duración ó frecuente”.

En contraposición, para el normal funcionamiento de un generador, sucede la entrega de potencia, con un acoplamiento de la instalación a la red, provocando una fuerte oscilación de potencia, que conduce a una elevación de la temperatura media de carga respecto a la indicada por el fabricante para el funcionamiento con potencia constante.

Distinción entre regulación de potencia y regulación de velocidad.

La regulación de potencia puede tener lugar cuando se presenta una potencia fija, invariable en relación con las rpm del generador. Esto es siempre para el caso de la conducción directa de la frecuencia del generador mediante la red, sobre generadores Sincrónicos o Asincrónicos. Si esta invariable relación RPM-Potencia no se consigue, entonces debe controlarse la velocidad (rpm), para evitar embalamientos. Vale para toda instalación en la cual la relación pueda ser influenciada por Relación de Consumidores (Funcionamiento Aislado), Inversor (Funcionamiento con acople a la red) ó excitación del generador. Ver **figura 2.6**.

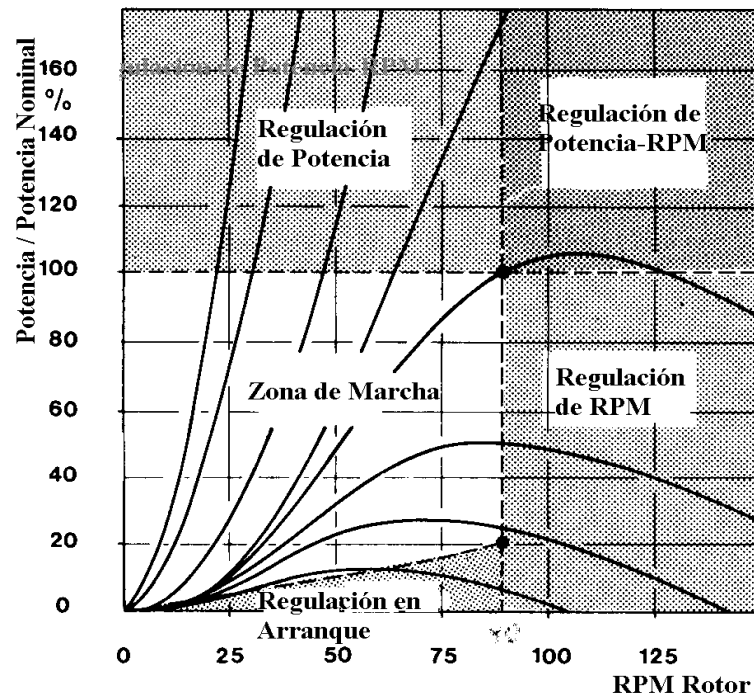


FIGURA 2.6. REGULACIÓN DE POTENCIA Y/O DE RPM DEL ROTOR

En general son por ello necesarias las siguientes cualidades de regulación:

1. Aerogenerador con conducción de frecuencia por la red, funcionamiento con regulación de potencia y control del sincronismo con la red y limitación de la máxima potencia, mediante un inversor o sino con un selector de prioridad de consumidores.
2. Aerogenerador en funcionamiento aislado o acoplado a la red, regulación de rpm y control en todos los estados de

funcionamiento y limitación de la máxima potencia, mediante un inversor o sino con un selector de prioridad de consumidores.

Los convertidores de energía eólica necesitan según esto, junto con la regulación de potencia al menos también un control de rpm, para todos los casos en que la velocidad no pueda ser controlada por la red.

Hay dos principios usuales de formas de regulación, ambos limitan el ingreso de potencia al rotor con métodos aerodinámicos.

Método Activo: movimiento de palas (PITCH CONTROL). Es para influencia de la fuerza de sustentación (A) en las palas, mediante cambios del ángulo de influencia o ataque de la circulación, sobre el perfil.

Método Pasivo: ruptura de la circulación (STALL) a lo largo de la pala, para la disminución de la fuerza de sustentación (A) y para elevación de la fuerza de resistencia (W) de las palas del rotor.

Ambas formas son muy difundidas y se dan también en forma combinada en instalaciones con regulación en punta de palas, con el cambio del ángulo de regulación en la zona de la punta de la pala.

Regulación de Potencia

Desprendimiento de Corriente de Aire - Stall –

En funcionamiento normal es alcanzado, para el accionamiento del rotor la necesaria fuerza de sustentación en el Rotor de Palas, mediante una circulación “pegada” al perfil. **FIGURA 2.7.**

CIRCULACIÓN EN REGULACION STALL

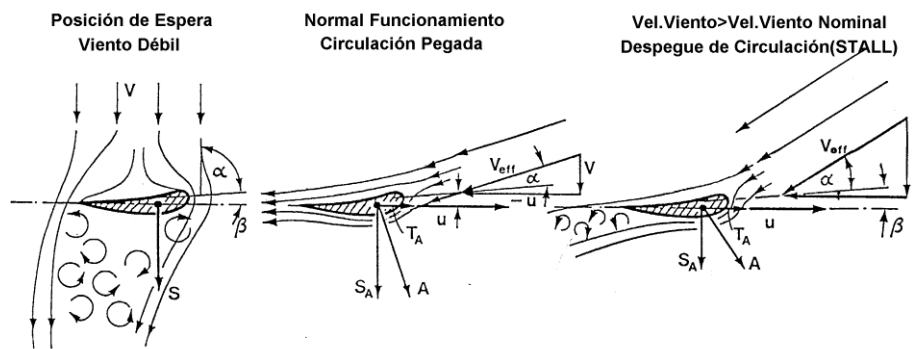


FIGURA 2.7. CIRCULACIÓN EN REGULACIÓN STALL

Las revoluciones del rotor, quedan constantes debido al sostenimiento de la red (Generadores Sincrónicos) ó casi constantes en el caso de Generadores Asíncronos o regulación de carga eléctrica, entonces es con el aumento cada vez mayor de la velocidad del viento que se produce el aumento del ángulo de incidencia sobre el perfil; hasta que termina la circulación y ya no puede continuar más sobre la superficie curva superior del perfil

(lado succión) y se desprende debido a los grandes cambios de velocidad y ángulo de incidencia. *Este es la regulación conocida por STALL, en donde los valores del ángulo de incidencia son grandes, por lo tanto disminuye la fuerza de sustentación (A) y crece la fuerza de resistencia (W); hasta que la fuerza (A) se hace próxima a cero o nula, y desaparece la velocidad circunferencial del rotor (ω), y el mismo se para.* Este acontecimiento del despegue de la circulación se aclara en la **FIGURA 2.8.** con ayuda del perfil polar. La posición de la letra da el suceso que acontece en cada caso; y ordenados y representados en los cuadros están los casos sucesivos que se presentan.

Se puede observar que la destrucción de la circulación no sucede siempre para igual ángulo de ataque, sino que depende de la velocidad (rapidez) de los cambios del mismo (por ejemplo viento con ráfagas rápidas). Ángulos de incidencia dinámicos grandes presentan el rompimiento de la circulación.

La línea de trazos de la **FIGURA 2.8** describe el comportamiento del STALL estático mientras la flecha en la línea gruesa se ocupa del camino del STALL dinámico.

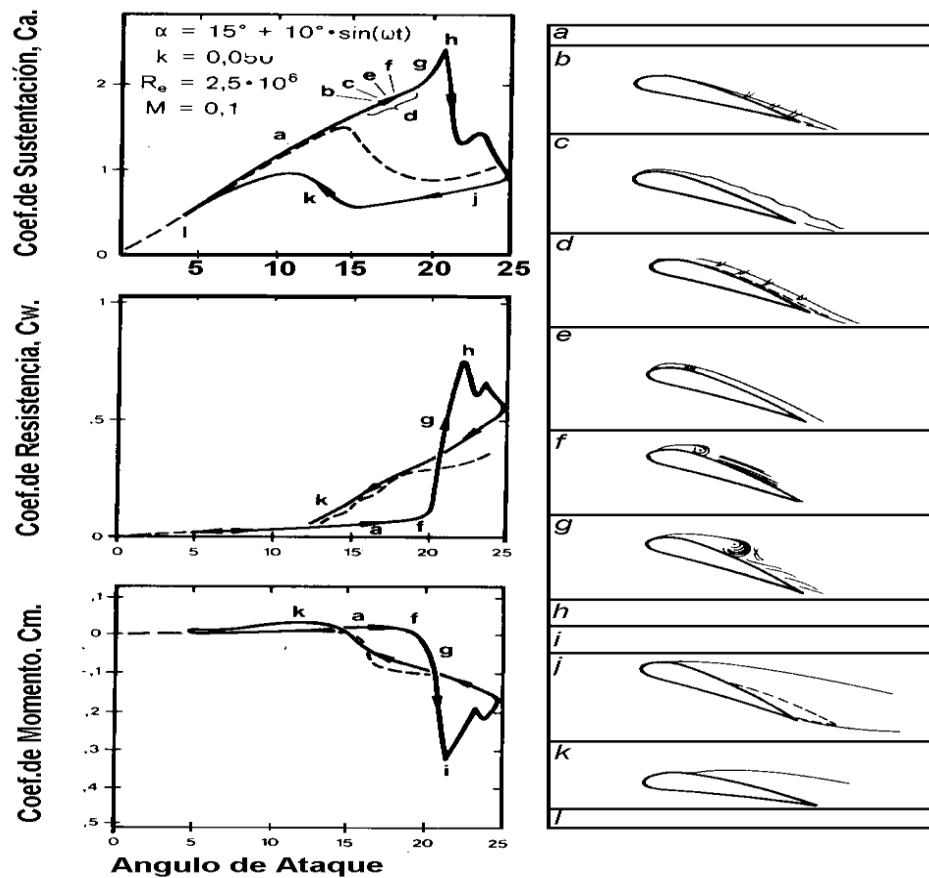


FIGURA 2.8. SUCESIÓN DE PROCESOS EN REGULACIÓN EN STALL

Sucesión de procesos

- Excede el ángulo de ataque para Stall estático;
- Primera separación de la circulación en el borde de fuga;
- Se presentan torbellinos en la capa límite de circulación;
- Separación de la circulación sobre gran parte del ancho de la pala;
- Formación de torbellino en la nariz del perfil;
- Aumento de la fuerza de sustentación; Se cambia hacia atrás el

punto de aplicación de la fuerza de sustentación. Coeficiente de Momento negativo;

- g) Decae la fuerza de sustentación;
- h) Momento máximo negativo;
- i) Destrucción de toda la circulación formada;
- j) La capa límite se sitúa nuevamente de adelante hacia atrás;
- k) Regreso de la circulación.

Ocurre además una llamada Histéresis, entre el rompimiento y la recomposición de la circulación, que se hace perceptible en fuertes cambios de fuerzas sobre el rotor. Esto mediante cambios de circulación dinámicos provoca la Histéresis que puede conducir para circulaciones oblicuas del rotor, fuertes oscilaciones cíclicas de las Fuerzas y Momentos en las Palas, debido a que es posible que durante una vuelta ocurra el cambio de circulación “pegada” y “despegada”, sobre la superficie del perfil.

En el estático, la captación de potencia de la turbina eólica depende del viento antes y durante el STALL, y es reproducida en la **FIGURA 2.9.**, para distintos ángulos de regulación o ángulo de sustentación nula (sustentación del perfil nula). Los valores medidos muestran la fuerte sensibilidad de la potencia máxima y su comportamiento hacia el desprendimiento de la corriente, para cambios del ángulo de

regulación.

Por ello la regulación STALL necesita un muy correcto control del **ajuste de este ángulo de regulación de las palas en el montaje**, para así evitar una baja en la aerodinámica y una pérdida de potencia y el consecuente aprovechamiento de energía. Como claramente se ve en **FIGURA 2.9.**, disminuye para cambios del ángulo de circulación, no solo la potencia nominal sino que se refuerza también la caída de la potencia, del máximo.

El rompimiento de la circulación es influenciado en primer lugar por el ángulo de influencia o ataque del flujo de aire y un poco también por la densidad del aire, y puede la regulación STALL, para pequeñas densidades de aire (montaje en medios montañosos, etc.); no alcanzar su potencia nominal. Según altura tomada respecto al nivel del mar y el clima, puede la pérdida de potencia estar entre un 10 % y 20 % de la potencia nominal.

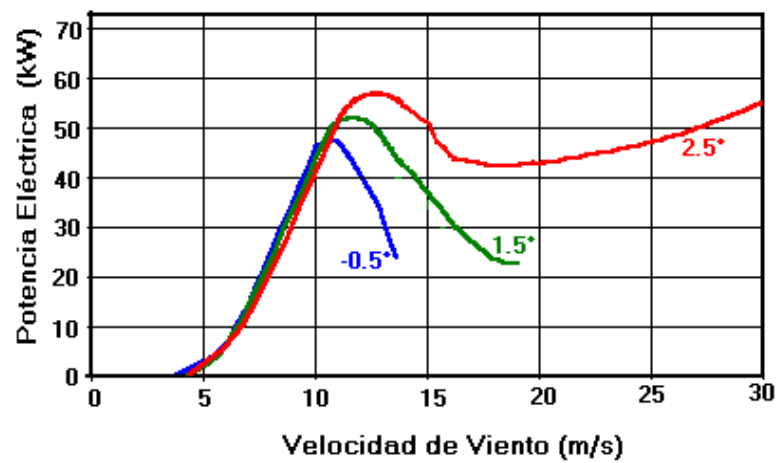


FIGURA 2.9. POTENCIA ELÉCTRICA EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO Y EL ÁNGULO DE CIRCULACIÓN (ATAQUE)

También la menor velocidad de viento, que se alcanza para la correcta sincronización del generador, se cambia con el ángulo de circulación, con lo cual una reducción de Potencia para pequeñas velocidades de viento presenta la regulación STALL, generalmente acompañada con una elevación de potencia para el comienzo de entrega de la misma. El comportamiento del viento en el arranque de la regulación STALL, es malo; debido a que se encuentran las palas del rotor en una inconveniente condición de circulación y con ello un insuficiente Momento de Giro.

Para Instalaciones de Convertidoras de Energía Eólica, conducidos por la red, generalmente se compensa esta desventaja, frecuentemente con un motor que acelera el generador. Como la

demanda de energía de la red es pequeña y debido a que un aumento de las rpm del Rotor producido por la efectiva aerodinámica de éste, entonces por un corto período de tiempo debe ser instalada la aceleración de potencia, hasta el momento en que la velocidad de sincronización del generador es excedida, y mediante una inversión automática del resbalamiento pasa de motor a generador. Como muestra la **FIGURA 2.9.**, aumenta la potencia con alta velocidad de viento (+20 m/s), a pesar de una mala condición de circulación, para finalmente alcanzar de nuevo la potencia nominal. Por este motivo deben estos convertidores con este tipo de regulación, a una determinada velocidad, ser desconectados y parados con el freno mecánico para tal fin, y evitar así sobre elevación de potencia nominal.

En contrario al rotor con regulación Pitch Control (palas móviles), un convertidor con regulación de palas fijas (Stall), con el aumento del viento sobre la velocidad nominal, crece la fuerza de resistencia y la fuerza de empuje sobre la torre, esto sucede también cuando la potencia nominal queda constante o ligeramente baja. Por eso tienen máquinas con rotor de palas fijas, mayores cargas que soportar en funcionamiento, que los rotores con palas móviles. Motivo por el cual son máquinas más robustas.

TABLA 2.4.
VENTAJAS Y DESVENTAJAS REGULACIÓN DE POTENCIA EN
STALL

Ventajas	Desventajas
• Ningún costo de mantenimiento en la regulación de potencia. • Relativamente pequeñas las oscilaciones de potencia para STALL formado. • Ningún movimiento de partes, sencilla construcción de nacelle, y por ellos costos favorables.	• Necesita seguros y caros accionamiento de frenos, en servicio. • Soporta altas cargas aerodinámicas en funcionamiento. Esto hace de construcción robusta, Palas, Torre y Máquina. • Regulación de potencia en servicio independiente de la red, con caros dispositivos adicionales. • Debido a que debe soportar altas cargas de las Palas y momentos del conjunto para accionar el generador (eje, caja engranajes, acoplamiento) en el proceso de frenado • Condiciones del viento en arranque del rotor de la parada es malo, • Altas cargas, hablan de costos no favorables en máquinas livianas. • Para pequeñas densidades de aire no es alcanzada la potencia nominal.

Movimiento de palas (pitch control)

La regulación de potencia mediante el “paso” variable de palas, permite cambiar el ángulo de incidencia, o de ataque, de la circulación de flujo de aire sobre el perfil; y así de este modo influir en la captación de potencia por parte del rotor. *Conservando fundamentalmente la continuidad de la circulación, ya que los ángulos de incidencia puestos en juego son pequeños, debido a esto conserva, en el campo de entrega de potencia, un valor aceptable de*

la fuerza de sustentación (A) y la velocidad circunferencial (ω), mientras que la fuerza de resistencia (W) es reducida.

Con cero grado del ángulo de regulación o de circulación, fijado en el montaje de las palas, se indica la posición de “bandera” de las palas, respecto a la incidencia del viento. Dentro del campo de funcionamiento del equipo, está siempre instalada la circulación “pegada” en las palas. La zona de variación del ángulo de incidencia, con el cual se consigue la limitación de potencia, comprende de 90 hasta 100 grados; y alcanza próximo a los cero grados, la posición en bandera. Dado que las palas en esta, están como una “bandera al viento”, y el rotor no tiene o tiene muy pocas revoluciones, sin producción de energía. Junto con esta **regulación de ángulos de incidencias pequeños** (propio del Pitch Control), existe la posibilidad de regular ángulos grandes hasta que la circulación se destruya (torbellinos), y entonces se limita la potencia mediante el efecto Stall. Esta segunda posibilidad de la regulación de potencia mediante el movimiento de las palas, es desventajosa frente al Stall y por este motivo es poco utilizable. Lo contrario es ventajoso es decir regular ángulos pequeños de 5 a 10 grados, hasta alcanzar la condición Stall. Debido a que el sentido de giro de la regulación queda igual, desde el ángulo de arranque pasando por el ángulo óptimo de funcionamiento hasta alcanzar el efecto stall. Es esta

forma de regulación apropiada. Pasando por toda la zona del ángulo, mediante el mecanismo de regulación, la fuerza centrífuga es controlada.

CIRCULACION PARA PITCH-CONTROL

POSICION BANDERA	ARRANQUE	FCTO.NORMAL	VEL.VIENTO>VEL.NOMINAL
SUSTENTACION=0	REGULACIÓN CONTINUA	SIN REGULACIÓN	DISMINUYE ANG.ATAQUE

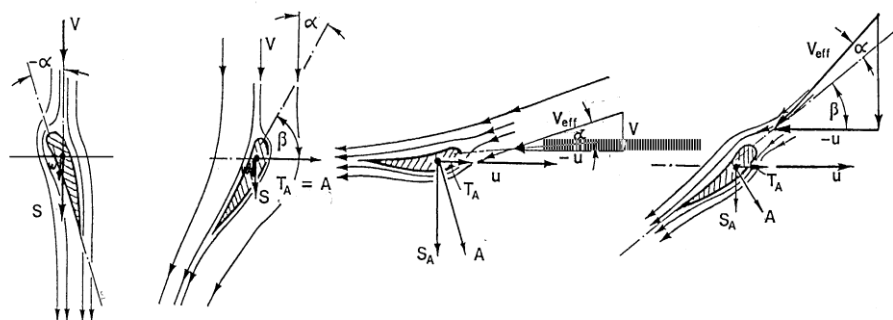


FIGURA 2.10. CIRCUALCIÓN PARA PITCH-CONTROL

Con la ayuda de la regulación, cuando el ángulo de incidencia está en una favorable posición de arranque por ejemplo 45 grados, fácilmente puede el rotor ser llevado a la rotación. El ángulo de las palas debe continuar siendo regulado con el aumento de las rpm del rotor, hasta el ángulo óptimo de funcionamiento. Este ángulo es regulado rápidamente durante las altas velocidades de viento, como consecuencia resultan grandes velocidades circulares y periféricas; entonces debe ser nuevamente variado muy rápido y la circulación y

el rotor vuelven a su estado de “calma”.

Corolario

Analizando las ventajas y desventajas de ambos métodos de regulación desde el punto de vista de su construcción y utilización, podemos concluir:

Para el funcionamiento sostenido por la red, es la regulación Stall una pequeña variante, mientras que la regulación Pitch Control, ofrece ventajas en todos los casos de aplicación.

Los convertidores de energía eólica con palas variables, tienen también altos costos de fabricación. Puesto que muchas máquinas fueron fabricadas en número pequeño de piezas y no se logró la reducción esperada de costos de la fabricación en serie. Es decir que no tiene consecuencia sobre la economía, las pequeñas cargas que este tipo de máquinas debe soportar en funcionamiento.

El Stall debe poseer muy buenos frenos en servicio, así se instala la única posibilidad de frenar la máquina. Ya que presenta fuerzas y momentos elevado en el proceso de frenado, que son comparados como el frenado en “seco”, en las máquinas Pitch Control. La tendencia hoy en día es la utilización de las máquinas Stall, debido sobre todo a la diferencia de precio y a los problemas de

mantenimiento de fugas de fluido hidráulico en los circuitos de regulación de palas.

2.3.4. Acumulación de la energía

Generalidades

Existen diferentes tipos de acumuladores de energía, unos pueden acumular energía en forma de gas para combustión, un ejemplo de esto son las celdas de combustible que aprovechan el almacenamiento de hidrógeno en tanques producto de la disociación del hidrógeno y del oxígeno por electrólisis del agua, los tanques elevados también almacenan energía potencial pues al desalojarse el líquido se produce energía cinética que puede ser utilizada en diferentes maneras, pero los acumuladores de energía de mayor utilización son las baterías o acumuladores eléctricos.

Debido a la variabilidad que presenta la fuerza del viento en cuanto a dirección e intensidad, la energía eléctrica que produce una turbina eólica es también fluctuante, por lo que se requiere utilizar acumuladores de energía como son las baterías para tener una diferencia de potencial e intensidad de corriente eléctrica continua.

Una pila química voltaica es una combinación de materiales que se usan para convertir energía química en energía eléctrica. La pila

química consiste de dos electrodos de distinta especie de metal o de compuesto metálico y un electrolito. Que es una solución capaz de conducir una corriente eléctrica. Se forma una batería cuando se conectan dos o más celdas.

Existen dos tipos de celdas, las primarias y las secundarias.

Las *celdas primarias* son las que no pueden recargarse o alcanzar buenas condiciones después que el voltaje de salida baja demasiado.

Las *celdas secundarias* son las recargables. Durante el proceso de recarga, los compuestos o elementos químicos que proporcionan la energía eléctrica regresen a su condición original.

Una batería se recarga conectándola a un cargador de baterías de igual polaridad y haciendo circular la corriente en sentido contrario a la corriente. Algunos cargadores de baterías tienen un voltímetro y un amperímetro que indican el voltaje y la corriente de carga.

Características de las baterías

Resistencia interna

Una batería es un generador de voltaje de corriente continua. Todos los generadores tienen una resistencia interna. En una celda

química, la resistencia del electrolito entre los electrodos es responsable de la mayor parte de la resistencia interna de la celda. Como cualquier corriente en la batería debe pasar por la resistencia interna, debe estar en serie con el voltaje generado.

Densidad relativa

La densidad relativa de cualquier líquido es el cociente que compara su peso con el peso de un volumen igual de agua. El ácido sulfúrico tiene una gravedad específica de 1.835 porque pesa 1.835 lo que el agua pesa por unidad de volumen.

La densidad relativa de la solución electrolítica de una celda de plomo y ácido varía de 1.210 a 1.300 para baterías nuevas y totalmente cargadas. Mientras mayor sea la densidad relativa, menor es la resistencia interna de la celda y mayor será la posible corriente de carga. Al descargarse la celda, el agua que se forma diluye el ácido y la densidad relativa gradualmente disminuye hasta aproximadamente 1.150, valor en el cual se considera que la celda está totalmente descargada. La densidad relativa se mide con un densímetro (*hidrómetro*) del tipo jeringa, que tiene un bulbo de hule compresible en la parte superior, un barril de vidrio y una manguera de hule en el fondo o pie del barril. Al tomar lecturas con el densímetro, es usual omitir el punto decimal.

Capacidad

La capacidad de una batería se especifica en amperio-horas (Ah). La capacidad de un acumulador determina cuánto tiempo operará a una velocidad de descarga dada. Por ejemplo, una batería de 90 Ah debe recargarse después de 9 h de una descarga promedio de 10 A.

Vida en almacenaje

La vida en el almacenaje de una batería es el período durante el cual se puede almacenar la batería sin que pierda más de aproximadamente un 10% de su capacidad original. La capacidad de una batería es la habilidad que tiene de proporcionar cierta cantidad de corriente al circuito en el que se use. La disminución en la capacidad de una batería que se ha almacenado se debe principalmente a que se seque el electrolito (baterías húmedas) y a reacciones químicas que cambian los materiales en el interior de la celda. Como el calor estimula ambas reacciones, la vida en almacenaje de una batería puede alargarse conservándola en un lugar frío y seco.

2.3.5. Eficiencia

Para conocer la eficiencia de una turbina eólica se deben realizar los siguientes pasos:

- a. Calcular la potencia del viento

$$Ec = \frac{1}{2} m v^2, \text{ siendo } v = \text{velocidad del viento} = w_c$$

$$\Rightarrow Ec = \frac{1}{2} m w_c^2 \quad \therefore \quad \dot{W} = \frac{Ec}{t} = \frac{1}{2} \frac{m}{t} w_c^2 = \frac{1}{2} \dot{m} w_c^2$$

- b. Calcular el flujo másico y relacionarlo con el área normal de la turbina al viento.

$$\dot{m} = Q \rho, \text{ donde } \rho \text{ es la densidad del aire y } Q \text{ el flujo de aire}$$

$$\text{ahora } Q = A w_c$$

$$Q_{NETO} = Q_D - Q_d$$

$$Q_{NETO} = \left(\frac{\pi}{4} D^2 - \frac{\pi}{4} d^2 \right) w_c$$

$$Q_{NETO} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) w_c$$

$$\therefore \dot{m} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) w_c \rho$$

- c. La potencia queda relacionada con el flujo de masa mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{W} = \frac{1}{2} \dot{m} w_c^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{4} (\Phi^2 - d^2) w_c^3 \rho = \frac{\pi}{8} (\Phi^2 - d^2) w_c^3 \rho$$

$$\dot{W} = \frac{(\Phi^2 - d^2) w_c^3 \rho}{2.54648}$$

Un factor principal para diseño es la velocidad del viento debido a que es un factor al cubo, aparte también la densidad pero en menor grado.

La ecuación de Betz muestra el rendimiento de una turbina eólica:

$$\eta_{TURBINA} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{w_a}{w_c} \right) \left(1 - \frac{w_a^2}{w_c^2} \right)$$

Donde w_a = velocidad de salida del aire de la turbina

w_c = velocidad de entrada del aire a la turbina

$$\Rightarrow \dot{W}_{real} = \frac{(\Phi^2 - d^2) w_c^3 \eta_{TURBINA}}{4300} \quad [W]$$

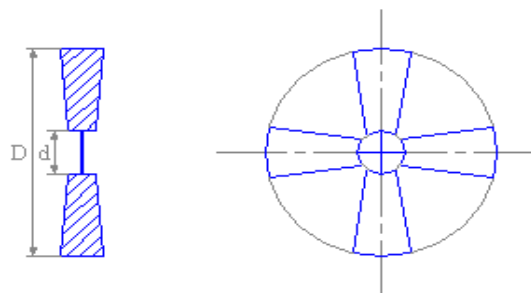


FIGURA 2.11. CORTE Y SECCIÓN TRANSVERSAL DE UNA TURBINA EÓLICA

CAPÍTULO 3

3. CALEFACCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL

El acondicionamiento ambiental es la modificación de las condiciones del aire de un sitio donde habitualmente se alojan equipos, máquinas, animales y sobre todo donde se desenvuelve el hombre. Para lograr cumplir con los requerimientos de confort y ergonomía son necesarias una serie de acciones, que terminarán modificando la temperatura y la humedad del aire.

Dentro de los requerimientos será necesario en algunos casos enfriar y secar el aire, mientras que en otros la necesidad es la de calentar y disminuir en cierta cantidad la humedad, como resulta ser el acondicionamiento ambiental en la Estación “Pedro Vicente Maldonado”.

Se considera un ambiente confortable aquel que posea 75° F (24° C) y 50% de humedad relativa. A lo largo de este proyecto de diseño

preliminar se considerará alcanzar una temperatura de 18° C con una renovación del 20% del aire por efectos de infiltración.

3.4. Propiedades psicrométricas del aire húmedo

El aire es una masa de gases, y contiene una cantidad de vapor de agua a la que se le llama humedad. Las propiedades del aire se modifican con la variación de: temperatura y presión. Cuando cambian las temperaturas al introducir o quitar calor se modifica la humedad y las demás propiedades como: volumen específico, energía interna, entalpía, entropía y energía total, sufren cambios. Así también cuando se modifica la humedad, la temperatura cambiará produciendo una sensación térmica diferente.

Relación de humedad (W)

La relación de humedad es la fracción resultante de la cantidad de agua existente por la cantidad de masa de aire. En otras palabras la relación de humedad de una mezcla aire-vapor de agua se define como la relación entre la masa del vapor de agua m_v y la masa de aire seco m_a . El término “aire seco” se usa para enfatizar que esto se refiere solamente al aire y no al vapor de agua. El término “humedad específica” como sinónimo del de relación de humedad.

$$W = \frac{\text{masa de agua}}{\text{masa de aire}} = \frac{m_v}{m_a}$$

Esta definición es idéntica para cualquier otra mezcla gas-vapor y el subíndice a se refiere al gas, excluyendo al vapor. Puesto que estamos considerando tanto al vapor como a la mezcla, como gases ideales, podemos desarrollar una expresión muy útil para la relación de las presiones parciales.

$$m_v = \frac{P_v V}{R_v T} = \frac{P_v V M_v}{RT} \qquad m_a = \frac{P_a V}{R_a T} = \frac{P_a V M_a}{RT}$$

$$\text{Entonces } W = \frac{\frac{P_v V}{R_v T}}{\frac{P_a V}{R_a T}} = \frac{R_a P_v}{R_v P_a} = \frac{M_v P_v}{M_a P_a}$$

Para una mezcla aire-vapor de agua, esto se reduce a:

$$W = 0,622 \frac{P_v}{P_a}$$

Humedad relativa

Porcentaje molar de vapor para la fracción de saturación a temperatura y presión constantes.

$$\phi = \frac{x_v}{x_s} \Big|_{t, p \text{ constantes}}$$

El aire funciona como una esponja que acoge la humedad, y es así que a mayor temperatura existe mayor capacidad de recibir al agua.

Grado de saturación (μ)

Es la fracción de la relación de humedad del aire en las condiciones existentes por la relación de humedad del aire en condiciones de saturación. Resulta ser una especie de humedad relativa.

$$\mu = \frac{w}{w_s} \Big|_{t,p}$$

Punto de rocío (td)

Es la temperatura a la cual el vapor se condensa cuando se enfría a presión constante.

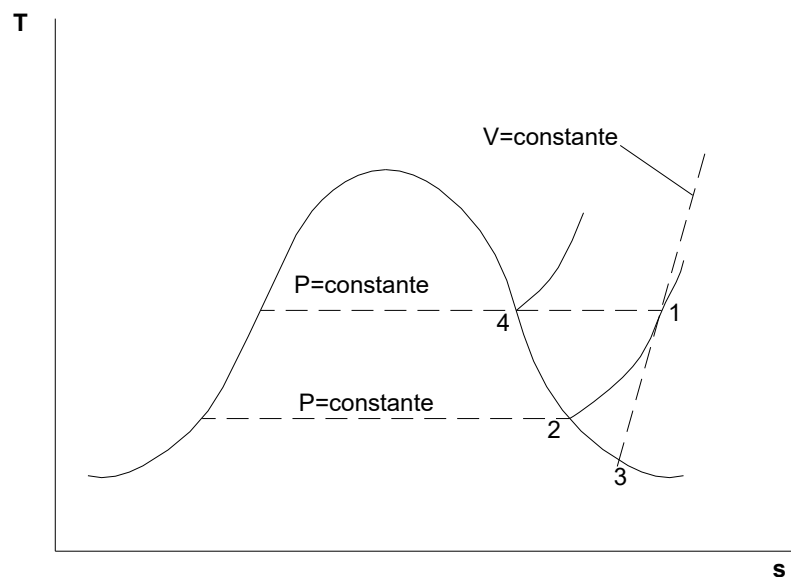


FIGURA 3.1. DIAGRAMA TEMPERATURA-ENTROPÍA

En el diagrama anterior de temperatura-entropía, supóngase que la temperatura de la mezcla gaseosa y la presión parcial del vapor en la mezcla son tales que el vapor se encuentra inicialmente sobrecalentado en el estado 1. Si la mezcla es enriada a presión constante, la presión parcial del vapor permanece constante hasta alcanzar el punto 2 y entonces la condensación inicia. La temperatura en el estado 2 es la temperatura de rocío.

$$\phi = \frac{x_v}{x_s} \bigg|_{t, p \text{ constantes}} = \frac{P_v}{P_s}$$

En términos de los números en el diagrama T – s de la figura 3.1. la humedad relativa Φ sería:

$$\phi = \frac{x_v}{x_s} \bigg|_{t, p \text{ constantes}} = \frac{P_v}{P_s} = \frac{P_1}{P_4}$$

En función de la relación de humedad, la humedad relativa queda expresada así:

$$\phi = \frac{WP_a}{0.622P_g}$$

3.5. Calefacción, confort y salud

El ser humano es muy variable en cuanto a sus gustos y sensaciones que le brinden bienestar. Cubrir las necesidades básicas es verdaderamente importante para el desarrollo del ser humano en su medio. Aún cuan variable es, se ha podido establecer que dentro de las condiciones que afectan el bienestar se encuentran: la temperatura ambiental, la humedad relativa, la vestimenta, las actividades que se realizan, el peso y la edad.

Entre las condiciones nombradas anteriormente, las que se pueden modificar para todo un grupo humano son la temperatura ambiental y la humedad relativa. Estas dos variables van de la mano en los procesos para producir confort, se considera como estándar 75° F (24° C) y el 50% de humedad relativa. Los procesos que se requieren para acondicionar el aire se los puede agrupar en dos, los que buscan el enfriamiento y aquellos cuyo objetivo es la calefacción.

La importancia de modificar la humedad del ambiente radica en que el ser humano no es inmune a adquirir enfermedades, sobre todo respiratorias, las mismas que dependen de la cantidad de agua que se encuentra dispersa en el aire. Si es muy poca nuestras mucosas se secarán y probablemente estaremos propensos a resfriados; por

lo contrario si es muy húmedo se tendría una exagerada acumulación de secreciones. En el aire también se encuentran dispersas partículas de polvo, que en su mayoría están formadas por los ácaros, pequeños parásitos responsables de alergias a las cuales se será más susceptible en lugares secos.

Encontrar condiciones de confort es necesario, puesto que el ambiente en que se desenvuelve el hombre afecta mucho en su esfuerzo (stress), es decir modificarán su eficiencia y desempeño en el trabajo, su relación con los demás seres, y finalmente su comportamiento. Crear condiciones de bienestar no está muy alejado de tratar de dar herramientas para un desarrollo de las actividades para alcanzar los objetivos trazados por una empresa.

Como cualquier elemento caliente, el cuerpo humano emite radiación, siendo su temperatura normal 36°C . Para conservarla cede calor al ambiente que le rodea. Estas pérdidas se producen por:

- Por radiación hacia los elementos más fríos (paredes, cristales, etc.) 60%
- Por convección con el aire ambiente, el 30%
- Por evaporación (respiración y transpiración) 10%

Es en consecuencia más importante la temperatura de los parámetros de la habitación que la del aire ambiente que la contiene. En experiencias realizadas (MIT BOSTON) se ha demostrado que las condiciones de confort de los individuos mejoran substancialmente con las condiciones de temperatura del aire a 0°C y paredes a 28°C que con aire a 28°C y paredes a 0°C .

Desde hace algunos años se ha venido instalando sistemas calefactores por cable y folio radiante eléctricos a baja temperatura, integrados en el suelo o en el techo, los cuales aprovechan todas las ventajas de la radiación calorífica entre cuerpos.

El funcionamiento de estos sistemas de calefacción es muy sencillo. En el momento en que la totalidad de la superficie se convierte en una superficie radiante a moderada temperatura, la energía calorífica se difunde instantáneamente por todo el local. Parte de esta energía será captada por las paredes y objetos fríos, los cuales se irán calentando. Otra parte será reflejada precisamente por estos mismos objetos y paredes en todas las direcciones y a todos los niveles. Al mismo tiempo, el aire ambiental, que no absorbe radiación alguna, se calienta poco a poco por contacto, originándose así una ligerísima corriente de convección la cual genera una temperatura constante homogénea.

Calefacción con Cable Calefactor

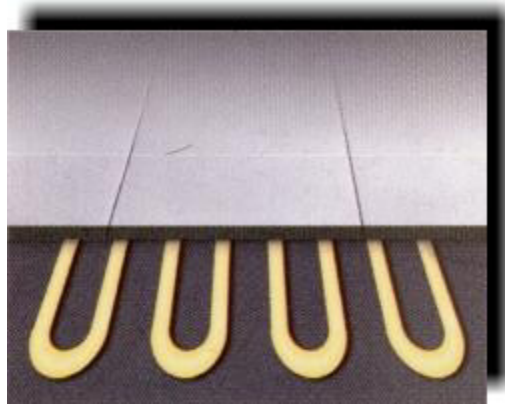


FIGURA 3.2. CABLE CALEFACTOR

En definitiva, un sistema de calefacción por radiación a baja temperatura mediante cable calefactor, consiste en la integración en los elementos constructivos (techo o suelo) de un forjado para conseguir paneles radiantes de gran superficie y baja temperatura.

Cada cable o cables instalados en una dependencia o local, quedan conectados a los circuitos eléctricos de la vivienda, previa serie con un termostato de ambiente y otro de sonda, que determinaran su funcionamiento o desconexión. Se consigue así una calefacción de alto rendimiento con regulación **UNITARIA** lo que, como veremos, supone grandes ventajas para el usuario.

El cable calefactor debe reunir una serie de características físicas que permitan y garanticen su estabilidad en el tiempo y a las condiciones de instalación a que se ve sometido.

El elemento calefactor es una unidad completamente terminada en la fábrica que se compone de:

- Cable calefactor propiamente dicho.
- Cable frío o conductor que será el extremo a conectar a la red.
- Empalme entre ambos cables.

Este es el **ELEMENTO CALEFACTOR** básico que reúne las siguientes características:

Cable calefactor: Alma metálica, utilizando distintas aleaciones (CrNi, Aceroimox, CuNi, CuSn, etc.), en función de la potencia lineal, longitud, resistividad del elemento calefactor a obtener; y capa de aislamiento de polietileno de 0,8 mm. de espesor y cubierta (2° capa) de P.V.C. de 105 ° y espesor de 0,8 mm.

Empalme: Casquillo metálico, protección con retráctil de alta calidad e inyección posterior de P.V.C. de 105° que funde sobre la cubierta del cable caliente y del frío, formando un bloque compacto o torpedo, absolutamente impermeable.

Cable frío: Alma de cobre recocido, y dos capas concéntricas exactamente iguales a las descritas para el cable calefactor.

Ventajas del sistema

1. Distribución del calor y de la temperatura homogénea dentro de una misma habitación.
2. No existen problemas de olores y corrientes de aire, evitando el levantamiento de polvo. Desaparece el problema de ennegrecimiento de paredes, techos y cortinas.
3. Mejora del aislamiento termoacústico dando una mejor calidad a la vivienda y ahorros energéticos.
4. Evita los problemas respiratorios causados por las calefacciones centrales (sistema idóneo para hospitales, clínicas, museos, etc.)
5. Aprovechamiento del calor gratuito generado por la iluminación, radiación solar, electrodomésticos, maquinarias, etc.
6. La tendencia de la arquitectura moderna es la de buscar ambientes claros, despejados y acogedores. Para este tipo de construcción, el sistema calefacción por folio radiante resulta interesante ya que el local queda totalmente libre de aparatos emisores de calor que condicionan la estética.
7. Mínimas ayudas de albañilería.

8. Supresión de sala de calderas, chimeneas, depósitos de combustible, etc.
9. Bajo mantenimiento (se descarta limpiezas de quemadores, averías en calderas y fugas de agua en conducciones, con los consabidos problemas).

3.6. Pérdidas del calor

El calor es energía en movimiento, por eso es casi imposible conservarla y más aún a que la materia prima que se va utilizar, el aire, también está en movimiento. Aunque ya se ha nombrado aquellas que producen la pérdida del calor del cuerpo humano, en esta parte de esta monografía se considerará las pérdidas de calor por ingreso y salida de aire y aquellas otras que permiten la transferencia del calor del sitio que se está modificando hacia sus alrededores por los formas conocidas: radiación, convección y conducción.

3.3.1. Por paredes

Las pérdidas de calor por las paredes se producen por radiación, convección y conducción. Todo cuerpo irradia calor en forma de ondas ahí ocurre la radiación, cuando el calor va de algún cuerpo u objeto a un fluido se produce la convección

y la última forma de transmisión de calor que se ha nombrado, no por ser la menos importante, es cuando pasa de un objeto a otro al encontrarse los dos en contacto directo.

Las pérdidas de calor dependen del material del que están fabricadas y éstas se aminoran por medio del aislamiento térmico. Las paredes de la estación son de diferente aislante en cada módulo, en el de vivienda se hallan dispuestos de afuera hacia adentro de la siguiente manera: steel panel (paneles de acero) de un espesor de 1,6 mm. (3/16 de pulg.), 2 cm. de poliuretano inyectado y madera de 4,8 mm. El módulo de laboratorios y de áreas comunales tiene: steel panel (paneles de acero) aletada con un espesor de 1,6 mm., poliuretano en plancha de 5 cm. de espesor y un elemento prefabricado llamado pycen, el mismo que es un tipo de asbesto, de 3 mm. de espesor.

El piso en cada módulo tiene diferentes materiales, es así que el de vivienda tiene en orden, desde el exterior hasta el interior: acero galvanizado de 4,8 mm. (3/16 de pulg.), un material impermeabilizante tipo brea muy fino que no incide de mayor forma en el aislamiento térmico, madera de 3 mm. de espesor y alfombra de 3 mm, de espesor. El módulo de

laboratorios y áreas comunales tiene: acero inoxidable de 3 mm., un espacio de 10 cm de aire, madera plywood de 6 mm. de espesor, asbesto prefabricado (plycen) de 12 cm. y por último una alfombra de 3 mm..

Para colocación del sistema de calefacción se requerirá colocar material sobre la madera, puede ser asbesto y sobre éste poliuretano, luego el cable con sus respectivo recubrimiento, éste puede ser baldosa. Eliminando así la alfombra que retiene gran cantidad del polvo por lo tanto de los ácaros.

3.3.2. Por puertas y ventanas

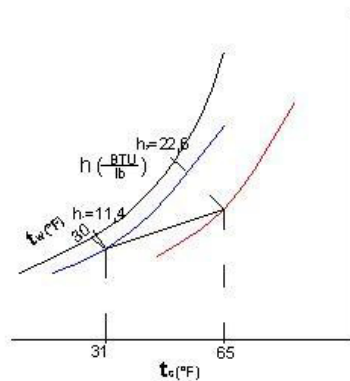
Se ha considerado una renovación y filtración de aire (a temperatura de 37 °F, equivalente a 2,77 ° C, y 96% de humedad relativa) del 10% del existente en el interior, por lo que se le debe agregar un factor de corrección al cálculo de la demanda energética para la calefacción.

3.3.3. Fugas

La cantidad de aire entrante es igual a la cantidad de aire que saldrá del conjunto habitacional, por lo que sería igual al 10%.

3.4. Cálculo de la demanda térmica

Se ha considerado inicialmente hacer el cálculo psicrométrico, de una habitación de superficie cuadrangular cuyas dimensiones son de 3 m por lado y una altura de 2,5 m., requiriendo incrementar la temperatura desde -0.4°C hasta tener 18°C y modificar la humedad relativa, disminuyéndola hasta el 50%.



DATOS

Temperatura bulbo seco: $t_s = -0.4^{\circ}\text{C} = 31.28^{\circ}\text{F}$

Temperatura bulbo húm.: $t_w = -0.6^{\circ}\text{C} = 30.92^{\circ}\text{F}$

Presión: 990 HPa

FIGURA 3.3. PROBLEMA PSICROMÉTRICO

La resolución del problema del cálculo de carga se lo hará de la siguiente forma:

1. Cálculo de la cantidad de calor de acuerdo a los cálculos psicrométricos. Con la ecuación general de los gases, calculamos la masa de aire seco a acondicionar:

$$p\forall = nRT \quad (3.1)$$

$$p\forall = \frac{m_a}{M} RT, \text{ donde } \frac{R}{M} = \bar{R}$$

$$\therefore m_a = \frac{p\forall}{\bar{R}T} \quad (3.2)$$

Datos :

$$p = 990 \text{ HPa} = 14,3587 \text{ psi};$$

$$T = 490,95^\circ R; \bar{R} = 53,44 \frac{\text{lbf} - \text{pie}}{\text{lbm}^\circ R}$$

Reemplazando los datos en (3.2)

$$m_a = \frac{14,3587 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} \cdot 794,58 \text{ pie}^3 \cdot \frac{144 \text{ in}^2}{\text{pie}^2} \cdot \frac{\text{BTU}}{\text{lbf pie}}}{53,44 \frac{\text{lbf} - \text{pie}}{\text{lbm}^\circ R} \cdot 490,95^\circ R \cdot 778 \frac{\text{BTU}}{\text{lbf} - \text{pie}}} = 8,04 \times 10^{-2} \text{ lbm}$$

$$m_a = 8,04 \times 10^{-2} \text{ lbm}$$

Leyendo los valores que corresponden a la tabla psicrométrica y que se encuentran representados en la figura 3.3.

Datos :

En la condición inicial del aire : $t_s = -0,4^\circ C (31,28^\circ F)$, $t_w = -0,6^\circ C$ que equivalen a $30,92^\circ F$.

Se tiene que la humedad relativa (ϕ) es del 96%, $h_1 = 11,4 \frac{BTU}{lb}$

Para las condiciones que se requieren obtener : $t_s = 18^\circ C (65^\circ F)$ y $\phi = 50\%$

Entonces $h_2 = 22,6 \frac{BTU}{lb}$

Reemplazando en la ecuación del calor sensible :

$$q_s = m_a \cdot (h_2 - h_1) \quad (3.3)$$

$$q_s = 8,04 \times 10^{-2} lb \cdot \left(22,6 \frac{BTU}{lb} - 11,4 \frac{BTU}{lb} \right) = 0,901 BTU$$

$$q_s = 951,09 W$$

El total resulta ser 10 veces el valor calculado = $951,09 \times 10 W = 9510,9 W$

$$q_{sTOTAL} = 9510,9 W$$

El valor total del calor sensible es igual a multiplicar por 10 el cálculo del calor sensible de un camarote.

2. Cálculo de las pérdidas de calor en el piso y paredes en el área total del módulo de vivienda, para el calcular el área de las paredes se considerará las superficies laterales.

$$q = \frac{A \cdot \Delta T}{\left(\frac{x_a}{k_a} + \frac{x_m}{k_m} + \frac{x_{ac}}{k_{ac}} + \frac{1}{h_2} \right)} \quad (3.4)$$

El denominador indica la resistencia del material a la transferencia del calor. Donde h_2 se lo obtiene después de evaluar el coeficiente de Reynolds del flujo de aire, luego el cálculo de Nusselt y Prandtl para así poder determinar el coeficiente convectivo de calor medio. Por el sentido de la localización de la estación, prevalecen flujos de viento paralelos a las paredes.

$$h_2 = h_{\text{flujo paralelo}} @ \text{velocidad del viento de 15 nudos}$$

Las propiedades del aire a $T_\infty = 272.55^\circ K$ son :

$$\alpha = 1,8497 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}, \rho = 1,297 \frac{kg}{m^3}, \mu = 1,71305 \times 10^{-5} Pa \cdot s,$$

$$\nu = 1,3231 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}, k = 2,4078 \times 10^{-2} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\text{Como } Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{1,3231 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}}{1,8497 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}} = 0,715$$

Es necesario conocer si el flujo de aire es laminar o turbulento, para esto utilizamos el número de Reynolds que en este caso se definiría:

$$Re_L = \frac{VL}{\nu}$$

Donde V es la velocidad del flujo. Como valor se consideró 15 nudos, lo que equivale a 7.716 m/s.

Por lo cual:

$$\text{Re}_L = \frac{VL}{\nu} = \frac{7.716 \frac{m}{s} \cdot 3m}{1.3231 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}} = 1749527.62452 \equiv 1.75 \times 10^6$$

$$\therefore 2 \times 10^5 < 1.75 \times 10^6 < 3 \times 10^6$$

Esto implica que la capa límite puede ser considerada laminar o turbulenta. Sin embargo, se la considerará turbulenta, debido a que al calcular con alguna ecuación no modificada por analogía de Reynolds, podría causar hasta un 25 % de error en el cálculo del coeficiente convectivo de calor.

Entonces utilizaremos para flujo turbulento la ecuación 3.5.¹:

¹ Libro “Transferencia de Calor” cuyo autor es Incropera (página 355) para el cálculo del coeficiente de Nusselt (Ecuación 7.37).

$$Nu_x = 0.0296 \cdot Re_x^{\frac{4}{5}} \cdot Pr^{\frac{1}{3}}, \text{ para } 0.6 < Pr < 60 \quad (3.5)$$

$$\Rightarrow Nu_x = Nu_L = 0.0296 \cdot (749527.62452)^{\frac{4}{5}} \cdot (0.715)^{\frac{1}{3}} = 2612.5445$$

$$\therefore \bar{h} = \frac{\bar{Nu}_L \cdot k}{L} \quad (3.6)$$

$$\Rightarrow \bar{h} = \frac{2612.5445 \cdot k}{3m} = \frac{2.4078 \times 10^{-2} \frac{W}{m \cdot K}}{m^2 \cdot K} = 20.9683 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$h_2 = 20.9683 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

En las ecuaciones anteriores (de 3.4 a 3.6) las variables representan:

V = velocidad del viento, α = difusividad térmica del aire,
 ρ = densidad del aire, μ = viscosidad de estática del aire,
 ν = viscosidad dinámica del aire, Re = Número de Reynolds,
 Pr = Número de Prandtl, Nu = Número de Nusselt.
 k = Conductividad térmica del aire.
 h_2 = Coeficiente convectivo de calor del aire.

Para facilitar el entendimiento de los cálculos de pérdida de calor, a continuación se utiliza una tabla en la cual se puede observar los valores de las longitudes, coeficientes convectivos y conductivos de calor, así como también del símbolo utilizado en la ecuación (3.4).

TABLA 3.1
DATOS Y CÁLCULOS DE PÉRDIDAS DE CALOR EN EL PISO DEL
MÓDULO DE VIVIENDA

Material	Longitud (mm)	Coefficiente de calor $\left(\frac{W}{m^{\circ}K}\right)$		Resistencia $\left(\frac{m^{\circ}K}{W}\right)$
Alfombra	3	k_a	0,036	$8,33 \cdot 10^{-2}$
Madera	3,175	k_m	0,12	$2,645 \cdot 10^{-2}$
Acero Galvanizado	4,763	k_{ac}	14,9	$3,196 \cdot 10^{-4}$
Aire		h_2 $\left(\frac{W}{m^{\circ}K}\right)$	20,9683	$4,7691 \cdot 10^{-2}$
Total (suma de las resistencias)				0,15776
Área = 137,83 m ² , $\Delta T = 18,6^{\circ}K$; Producto=Área* ΔT =2563,638				
Calor de pérdida = producto/resistencia				16250,24 W

La figura 3.4. es un diagrama de los componentes del piso del módulo de vivienda, y tiene relación con la tabla 3.1., donde se muestra sintetizadamente el cálculo de las pérdidas de calor a través de estas superficies.

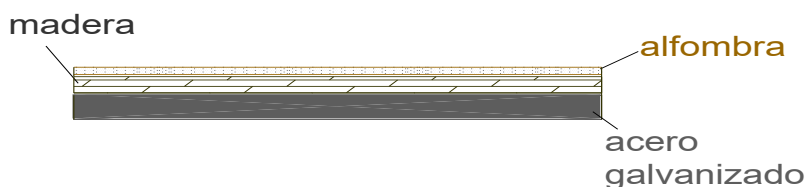


FIGURA 3.4. DIAGRAMA DE LOS COMPONENTES DEL PISO
DEL MÓDULO DE VIVIENDA

La ecuación (3.4) sufre una variante en sus términos expresándose así:

$$q = \frac{A \cdot \Delta T}{\left(\frac{x_m}{k_m} + \frac{x_{pol}}{k_{pol}} + \frac{x_{ac}}{k_{ac}} + \frac{1}{h_2} \right)} \quad (3.7)$$

TABLA 3.2.
DATOS Y CÁLCULOS DE PÉRDIDAS DE CALOR EN LAS
PAREDES DEL MÓDULO DE VIVIENDA

Material	Longitud (mm)	Coef. de calor $\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \right)$		Resistencia $\left(\frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}} \right)$
Madera	4,763	k_m	0,12	0,03968
Poliuretano	20	k_{pol}	0,026	0,7692
Acero (Steel panel)	1,588	k_{ac}	14,9	$1,065 \cdot 10^{-4}$
Aire		h_2 $\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \right)$	20,9683	$4,7691 \cdot 10^{-2}$
Total (suma de las resistencias)				0,8567
Área = $89,5 \text{ m}^2$, $\Delta T = 18,6^\circ \text{K}$; Producto= Área* $\Delta T = 1664,7$				
Calor de pérdida = producto/resistencia				1943,15 W

La figura 3.5., Diagrama de los componentes de las paredes del módulo de vivienda, tiene relación con la tabla 3.2., donde se muestra sintetizadamente el cálculo de pérdida de calor a través de estas superficies.

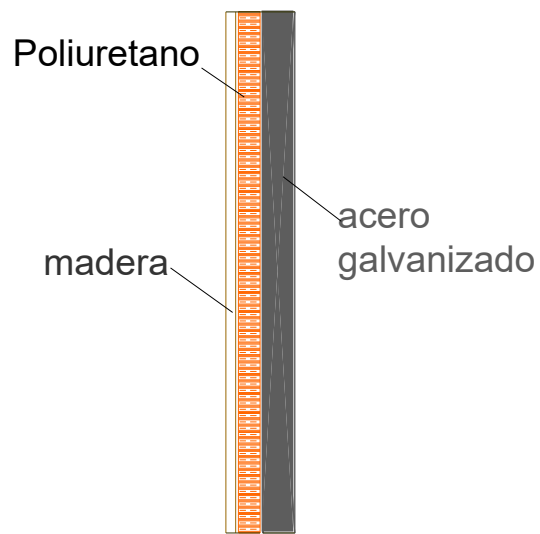


FIGURA 3.5. DIAGRAMA DE LOS COMPONENTES DE LA PARED

El cálculo de la demanda de energía para la calefacción del módulo de laboratorios se resuelve el problema psicrométrico, usando los mismos datos de temperatura de los bulbos secos y húmedos, la misma humedad relativa, lo que implica la misma figura 3.3, con la diferencia en la cantidad de masa de aire, por lo tanto se tiene:

Reemplazando en la ecuación 3.2, los datos de presión (p), temperatura (T), la constante $\bar{R}$ y el volumen ($\forall$):

$$p = 990 \text{ HPa} = 14,3587 \text{ psi};$$

$$T = 490,95^\circ \text{ R}; \bar{R} = 53,44 \frac{\text{lbf} - \text{pie}}{\text{lbm}^\circ \text{ R}}$$

$$\forall = 7,7 \times 2,5 \times 7,25 \text{ m}^3 = 134,75 \text{ m}^3 = 4928,603 \text{ pie}^3$$

$$m_a = \frac{14,3587 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} \cdot 4928,607 \text{ pie}^3 \frac{144 \text{ in}^2}{\text{pie}^2}}{53,44 \frac{\text{lbf} - \text{pie}}{\text{lbm}^\circ \text{ R}} \cdot 490,95^\circ \text{ R} \cdot 778 \frac{\text{BTU}}{\text{lbf} - \text{pie}}} = 0,4992 \text{ lbm}$$

$$m_a = 0,4992 \text{ lbm}$$

Sustituyendo $m_a = 0,4992 \text{ lbm}$ en la ecuación 3.3 se obtiene calor sensible:

$$q_s = m_a \cdot (h_2 - h_1)$$

$$q_s = 0,4992 \text{ lb} \cdot \left(22,6 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} - 11,4 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \right) = 5,591 \text{ BTU}$$

$$q_s = 5899,45 \text{ W}$$

Este es el calor que se requiere de la tercera parte del módulo de laboratorios:

$$\Rightarrow q_{sTOTAL} = 5899,45 \text{ W} \times 3 = 17698,35 \text{ W}$$

Para el cálculo de las pérdidas de calor a través del piso del módulo, se aplica la ecuación 3.8.

$$q = \frac{A \cdot \Delta T}{\left(\frac{x_{ac}}{k_{ac}} + \frac{x_{aire}}{k_{aire}} + \frac{x_m}{k_m} + \frac{x_{as}}{k_{as}} + \frac{1}{h_2} \right)} \quad (3.8)$$

De manera similar, para facilitar los cálculos, se lo tabula como se indica a continuación:

TABLA 3.3
DATOS Y CÁLCULOS DE PÉRDIDAS DE CALOR EN EL SUELO
DEL MÓDULO DE LABORATORIOS Y TÚNEL

Material	Longitud (m)	Coefficiente de calor $\left(\frac{W}{m^{\circ}K} \right)$		Resistencia $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right)$
Acero Galvanizado	$3 \cdot 10^{-3}$	k_{ac}	14,9	$2,0134 \cdot 10^{-4}$
Madera	$6 \cdot 10^{-3}$	k_m	0,12	$5 \cdot 10^{-2}$
Aire (Inter.)	0,1	k_{aire}	$24,88 \cdot 10^{-3}$	4,018
Asbesto	0,12	k_{as}	0,58	0,2069
Alfombra	$3 \cdot 10^{-3}$	k_a	0,036	$8,3333 \cdot 10^{-2}$
Aire		h_2 $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	20,9683	$4,7691 \cdot 10^{-2}$
Total (suma de las resistencias)				4,40612
Área = $187,1 \text{ m}^2$, $\Delta T = 18,6^{\circ}K$; Producto = Área * $\Delta T = 3480,84$				
Calor de pérdida = producto/resistencia				789,82 W

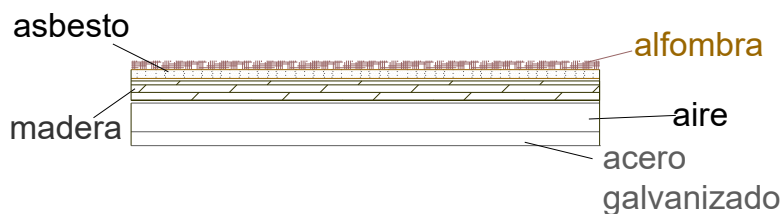


FIGURA 3.6. DIAGRAMA DE LOS COMPONENTES DEL PISO DEL MÓDULO DE LABORATORIOS Y TÚNEL

**TABLA 3.4
DATOS Y CÁLCULOS DE PÉRDIDAS DE CALOR POR LAS
PAREDES DEL MÓDULO DE LABORATORIOS Y TÚNEL**

Material	Longitud (mm)	Coeficiente de calor $\left(\frac{W}{m^{\circ}K} \right)$		Resistencia $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right)$
Acero (Steel panel)	1,587	k_{ac}	14,9	$1,0651 \cdot 10^{-4}$
Poliuretano	50	k_m	0,12	1,92307
Asbesto	4,7625	k_{as}	0,58	$8,2112 \cdot 10^{-3}$
Aire		h_2 $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	20,9683	$4,7691 \cdot 10^{-2}$
Total (suma de las resistencias)				1,9790856
Área = $1061,8 \text{ m}^2$, $\Delta T = 18,6^{\circ}K$; Producto = Área * $\Delta T = 19749,48$				
Calor de pérdida = producto/resistencia				9979,09 W

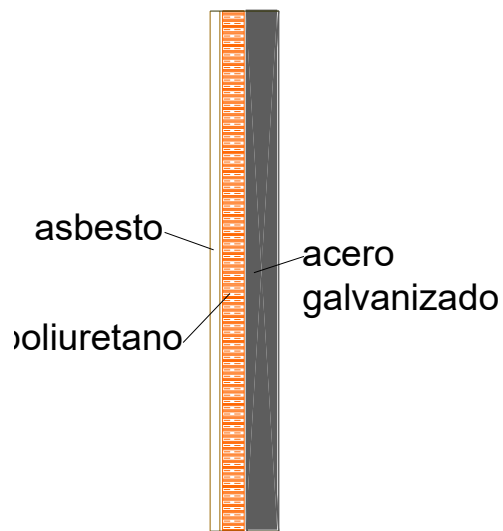


FIGURA 3.7. DIAGRAMA DE LOS COMPONENTES DE LAS PAREDES DEL MÓDULO DE LABORATORIOS

Se tomaron en consideración las áreas de todas las superficies: piso y paredes. Para facilitar esta operación se duplicó el área de las paredes frontales y posteriores de todo el módulo. Para el piso se consideró el total de la superficie.

En la siguiente tabla se muestra la acumulación de los cálculos de pérdidas y requerimientos de calor para modificar las condiciones de temperatura y humedad del aire dentro de la estación:

TABLA 3.6.
PÉRDIDAS Y REQUERIMIENTOS DE CALOR EN LA ESTACIÓN
CIENTÍFICA ANTÁRTICA ECUATORIANA

CONCEPTO	POTENCIA (W)
1. Cálculo psicrométrico módulo de vivienda	9510,90
2. Pérdidas de calor en el piso del módulo de vivienda	16250,24
3. Pérdidas de calor en las paredes módulo de vivienda	1943,15
4. Cálculo psicrométrico módulo de laboratorios	17698,35
5. Pérdidas de calor en el piso del módulo de laboratorios	789,82
6. Pérdidas de calor por las paredes del módulo de laboratorios	9979,09
7. Filtraciones y renovación del aire (20 %)	11234.31
TOTAL	67405,86

El valor total de energía para la calefacción y recuperación de pérdidas es de **67405,86 W**, sin realizar ningún cambio en la estación.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DEL RECURSO

Si se considera al viento como un recurso tal como en este caso, para transformar su energía de movimiento en eléctrica, es uno de los que en mayor cuantía se tiene en el continente Antártico. La variación de las presiones atmosféricas genera una diversidad de cambios. La meteorología cambia de un momento a otro, tan rápidamente como se mueve el aire. Las nubes, la nieve y el agua son trasladadas de un lugar a otro siguiendo la trayectoria de los vientos.

Las brisas de playa y de mar se dan en un ciclo en la isla Greenwich del Archipiélago de las Shetland del Sur, cuando el calor aumenta, la temperatura de la tierra asciende más rápido que la del agua, transfiriendo el calor hacia el aire que se encuentra sobre ella. La presión cambia con la temperatura. El aire se desplaza desde el sitio de mayor al de menor presión, o sea desde el mar hacia la playa, esto ocurre en las horas en que el sol ejerce sus influencias en las horas

cercanas al mediodía local. En las horas frías, ocurre que el aire sobre el agua se enfría más rápido que el que está sobre la playa, por lo que éste desde la playa se desplaza hacia el mar tomando el nombre de brisa de playa. Claro está que este hecho es apreciable cuando las componentes de viento en los sentidos normales a las trayectorias playa - mar y mar - playa no son de mayor magnitud.

4.1. Aspectos físicos de la Estación “Pedro Vicente Maldonado”

La Estación “Pedro Vicente Maldonado” se encuentra en la isla Greenwich del Archipiélago de las Sheetland del Sur a 400 m. de la playa y aproximadamente a 12 m. sobre el nivel medio del mar. Consta de tres módulos, uno pequeño donde se encuentran instalados los generadores, las bombas, y la unidad de tratamiento de aguas residuales. Los otros dos módulos: el de vivienda y el de laboratorios, se encuentran unidos por un túnel de 5,9 m. de longitud y 3,5 de ancho. Los dos módulos principales están dispuesto en la dirección Este a Oeste. Las dimensiones de los módulos son: el de vivienda 17,9 m. de largo y 7,5 m. de ancho; el de laboratorios es de 22 m. de largo y 7,7 m. de ancho.

Toda la estructura está elevada 1,5 m., es decir existe un espacio libre entre el piso de la estación y la superficie de la tierra.

Existe en el interior un cielo raso de madera en el módulo de vivienda, y de asbesto en el módulo de los laboratorios y túnel. El techo presenta

pendientes desde la línea central que divide la estación hacia las paredes anterior y posterior de la fachada principal de la misma. Su altura mayor es a 6,78 m. y la menor en ambas paredes, de 2,5 m.



**FIGURA 4.1. FOTOGRAFÍA DE LA ESTACIÓN
FACHADA POSTERIOR**

La orientación de la estación permite el paso del viento, y su diseño, con un espacio bajo su piso, permite que no se produzcan acumulaciones de nieve en la parte exterior de las paredes, éstas tienen dobleces en forma de “ ” recta hacia el exterior lo que permite que el aire se haga turbulento, llevando con él la nieve.



FIGURA 4.2. PARED POSTERIOR DE LA ESTACIÓN

En la figura 4.2. se puede constatar la forma de las paredes exteriores y el espacio sobre el piso. Los ductos que se encuentran en la misma fotografía, son parte del sistema de evacuación de aguas residuales, como se puede observar poseen aislamiento térmico.

Las fachadas posterior y lateral Este de la Estación están protegidas por formaciones montañosas, éstas disminuyen el efecto del viento.



FIGURA 4.3. FOTOGRAFÍA DE LA ESTACIÓN PLAYA - MÓDULOS

La fotografía de la estación, figura 4.3., fue tomada desde un bote en las cercanías de la isla, en ella se puede apreciar la distancia existente desde la playa en bajamar hasta la estación. En la playa se encuentran, en la zona más cercana al mar, los bidones de 60 galones de transporte y almacenamiento del combustible (diesel) que se utilizaron en los motores de combustión interna del motor cargador y en la generación de energía eléctrica.

Las paredes y el piso de cada uno de los módulos se describieron en el capítulo 3 de esta misma monografía.

4.2. Datos estadísticos históricos del viento y climatología

En el año de 1998 el Sr. Carlos Naranjo, del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, participó de la VII Expedición Ecuatoriana a la Antártica, para hacer un análisis meteorológico en la Estación Pedro Vicente Maldonado. Los datos obtenidos y publicados en el Acta Antártica Ecuatoriana de 1998²² son los siguientes:

TABLA 4.1.
VALORES CLIMATOLÓGICOS DE LOS MESES DE ENERO Y FEBRERO DE 1998

PARÁMETROS	ENERO	FEBRERO	PERIODO
PRESIÓN			
Presión media	987,7 HPa.	998,5 HPa.	
Máxima presión	1001,8 HPa.	1010,7 HPa.	
Mínima presión	974,6 HPa.	984,0 HPa.	36,2 HPa
Amplitud Bórica	27,3 HPa.	26,3 HPa.	
TEMPERATURA			
Temp. Med. Aire	2,7 °C	3,0 °C	
Temp. Máx. Absoluta	7,2 °C	10,6 °C	12,6 °C
Amplitud Term. Absoluta	9,2 °C	10,2 °C	
Temperatura del Mar	2,0 °C	2,6 °C	
Sensación Térmica	-5,0 °C	-7,5 °C	
Humedad Relativa	86 %	81 %	
VIENTO			
Velocidad media	12,5 Nudos	18,9 Nudos	
Dirección Dominante	W	W	
Velocidad Dirección Dominante	19,6 Nudos	23,3 Nudos	
Rachas Máximas	46,0 Nudos	60,0 Nudos	
Rachas Mínimas	0,2 Nudos	0,0 Nudos	

Los datos que se muestran del año 2003 fueron obtenidos por el personal de meteorología de la Base Naval Arturo Prat de la Armada de Chile. Esta base se encuentra a 5 kilómetros al oeste de la Estación “Pedro Vicente Maldonado”, para ese entonces operaba durante todo el año, en la actualidad fue cerrada y se abrirá en tiempo de verano. Los datos de la fuerza del viento del mes de enero del año 2004 fueron obtenidos por medio de un anemómetro manual digital marca “turbometer”, mientras que los de la dirección se los obtuvieron por ubicación geográfica

Las tablas 4.2. y 4.3 presentan los datos de las velocidades del viento en nudos, según las direcciones, del año 2003. Muestran también un promedio.

TABLA 4.2.
DATOS DE LAS VELOCIDADES Y DIRECCIONES DEL VIENTO DE
LOS MESES DE ENERO A JULIO DEL AÑO 2003

DIRECCIÓN PROMEDIO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
N	5,2	8,1	8,0	7,0	13,1	0,0	6,2
NE	8,3	7,2	6,8	7,1	9,3	15,4	9,6
E	9,4	10,5	15,6	13,7	11,8	16,9	9,4
SE	13,5	18,4	18,8	21,6	17,6	25,0	21,2
S	8,9	4,5	21,0	0,0	7,4	4,4	5,0
SW	4,4	5,3	16,0	9,8	11,1	11,8	5,3
W	4,6	8,1	12,6	10,8	14,4	11,8	10,9
NW	5,1	8,5	7,9	11,0	10,8	11,0	11,8
CALMA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	8,1	11,0	14,7	12,3	13,2	19,4	13,1

TABLA 4.3
DATOS DE LAS VELOCIDADES Y DIRECCIONES DEL VIENTO DE
LOS MESES DE AGOSTO A DICIEMBRE CON LOS PROMEDIOS
DEL AÑO 2003

DIRECCIÓN PROMEDIO	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
N	10,1	8,7	8,0	9,2	3,5	7,3
NE	12,3	10,1	10,4	8,0	6,5	9,3
E	16,8	5,3	15,3	10,8	10,6	12,2
SE	22,1	14,4	22,4	16,3	19,1	19,2
S	10,0	2,0	5,5	11,8	3,8	7,0
SW	9,4	9,5	14,4	9,4	4,5	9,2
W	17,6	11,2	15,1	15,0	9,5	11,8
NW	13,9	10,0	11,2	7,5	6,8	9,6
CALMA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	14,4	10,0	14,7	10,8	12,7	12,9

TABLA 4.4
DATOS DE LAS FRECUENCIAS DE OCURRENCIA Y
DIRECCIONES DEL VIENTO DE LOS MESES DE ENERO A JULIO
DEL AÑO 2003

DIRECCIÓN PROMEDIO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
N	4,80	4,50	0,40	2,10	4,00	0,00	6,10
NE	16,10	14,70	9,30	8,30	6,50	3,30	13,70
E	9,70	8,00	10,50	5,80	4,80	9,60	4,00
SE	25,40	24,10	31,50	21,70	25,00	55,00	32,30
S	5,70	1,80	0,80	0,00	3,20	2,10	1,20
SW	8,90	5,40	26,20	21,30	10,90	7,10	9,30
W	8,90	15,20	9,30	22,10	29,00	13,30	16,90
NW	16,10	26,30	11,70	16,30	13,30	8,80	14,90
CALMA	4,40	0,00	0,40	2,50	3,20	0,80	1,60
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100

TABLA 4.5
DATOS DE LAS FRECUENCIAS DE OCURRENCIA Y DIRECCIONES
DEL VIENTO DE LOS MESES AGOSTO A DICIEMBRE Y PROMEDIOS
DEL AÑO 2003

DIRECCIÓN PROMEDIO	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
N	3,20	3,80	2,00	2,10	0,80	2,82
NE	15,30	17,90	7,30	15,80	11,30	11,63
E	1,60	3,30	8,10	11,70	6,50	6,97
SE	6,50	5,80	21,00	20,40	46,00	26,23
S	0,40	0,40	0,80	5,00	1,60	1,92
SW	8,10	15,80	8,50	15,40	8,10	12,08
W	24,20	21,30	24,60	7,90	12,50	17,10
NW	39,10	29,60	25,80	21,30	12,10	19,61
CALMA	1,60	2,10	2,00	0,40	1,20	1,68
TOTAL	100	100	100	100	100	100

Las tablas 4.4 y 4.5 indican los datos de las Frecuencias de ocurrencia del viento, según las direcciones, del año 2003. Se muestran también un promedio del año.

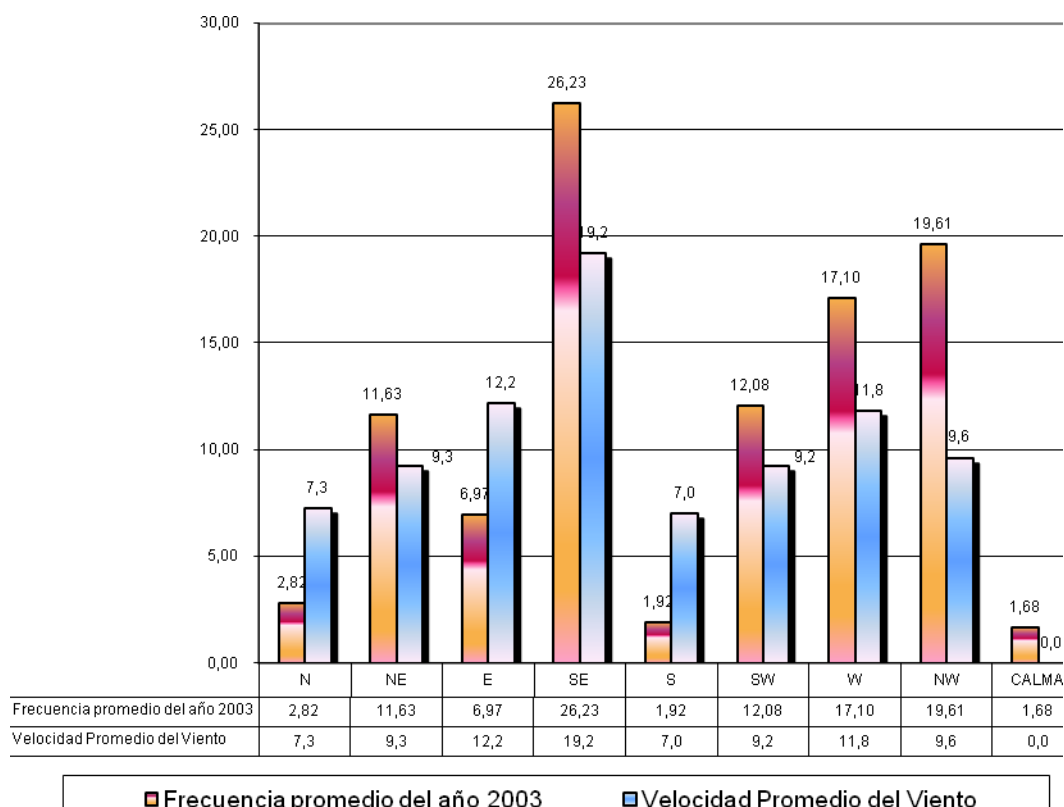
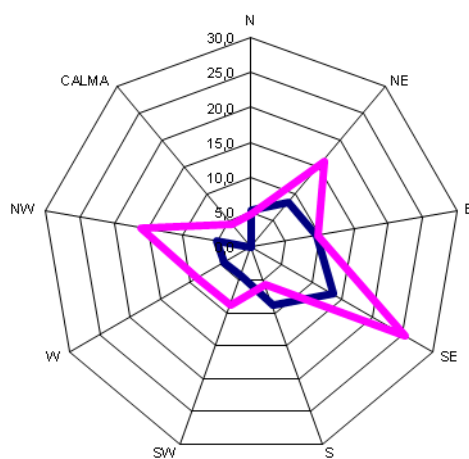


FIGURA 4.4. FRECUENCIA DE OCURRENCIA Y VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIOS EN AÑO 2003 SEGÚN SUS DIRECCIONES

La figura 4.1 muestra los valores de velocidad promedios y frecuencia de ocurrencia del viento según sus direcciones durante todo el año 2003.

Para poder tener una más clara identificación de los valores promedio de velocidades y frecuencia de ocurrencia durante los meses del año 2003 y del mes de enero de 2004 se obtuvieron los polígonos de viento, los mismos que son líneas consecutivas que unen los puntos de una gráfica radial según las direcciones y los valores porcentuales y de velocidad en nudos.

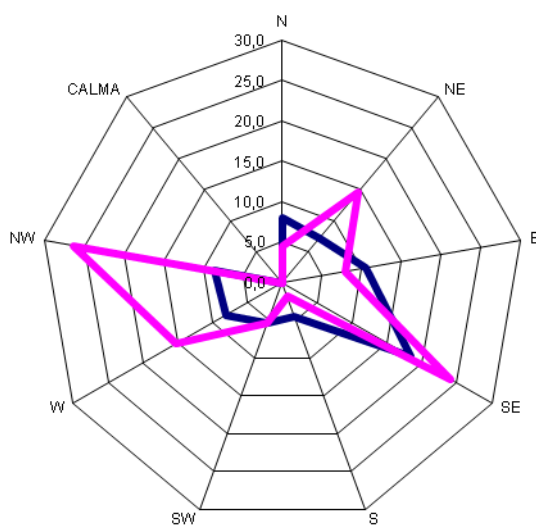
Frecuencia y Velocidad del Viento en el mes de Enero 2003



— Intensidad del viento — Frecuencia del viento

FIGURA 4.5. POLÍGONOS DE VIENTO ENERO 2003

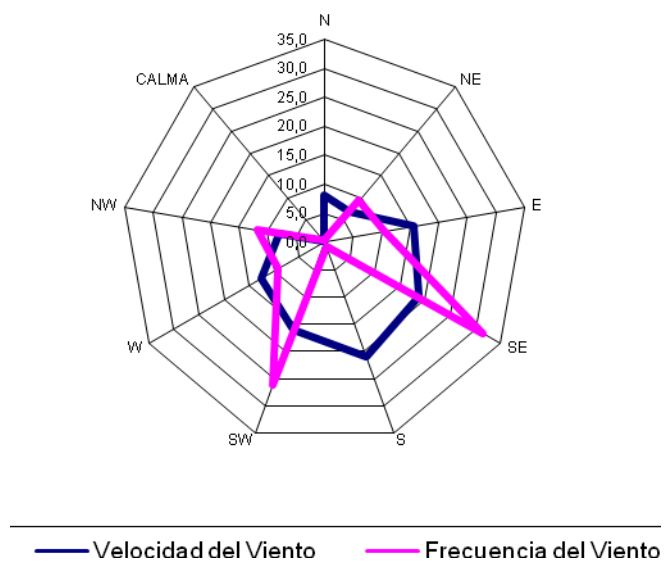
Frecuencia y Velocidad del Viento en el mes de Febrero 2003



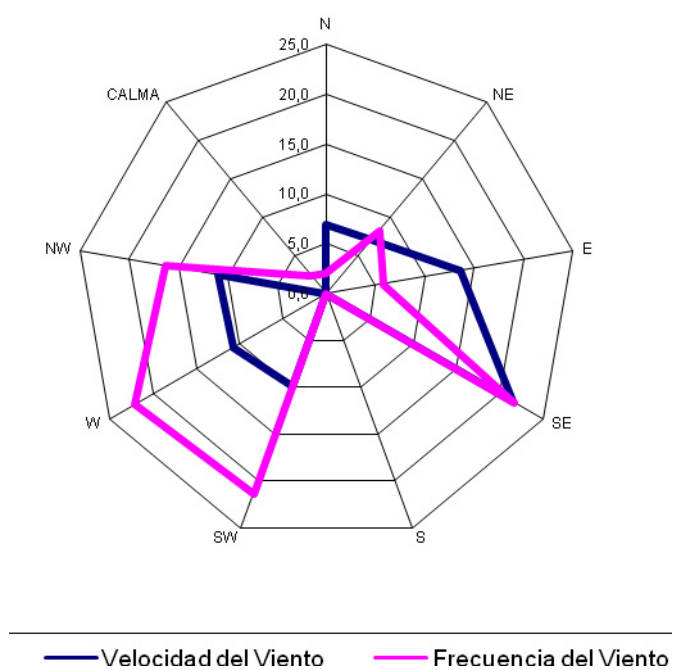
— Velocidad del viento — Frecuencia del viento

FIGURA 4.6. POLÍGONOS DE VIENTO FEBRERO 2003

Frecuencia y Velocidad del Viento del mes de Marzo 2003

**FIGURA 4.7. POLÍGONOS DE VIENTO MARZO 2003**

Frecuencia y Velocidad del Viento en el mes de Abril 2003

**FIGURA 4.8. POLÍGONOS DE VIENTO ABRIL 2003**

Frecuencia y Velocidad del Viento en el mes de Mayo 2003

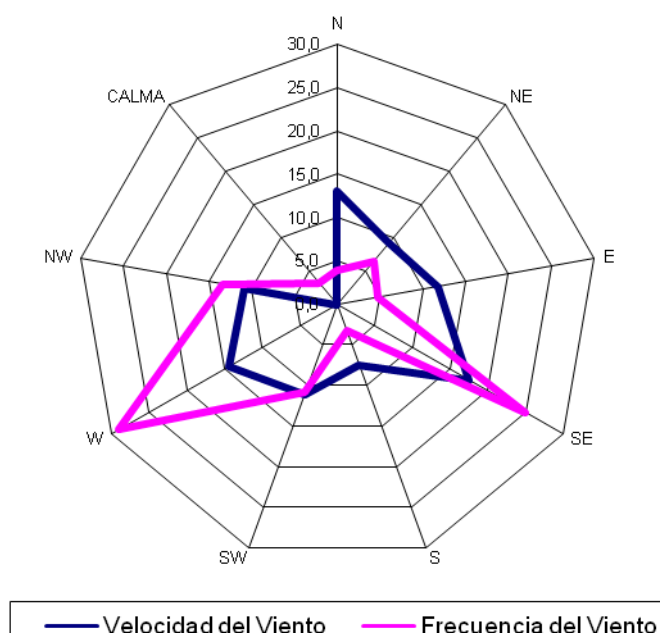


FIGURA 4.9. POLÍGONOS DE VIENTO MAYO 2003

Frecuencia y Velocidad del Viento en el mes de Junio 2003

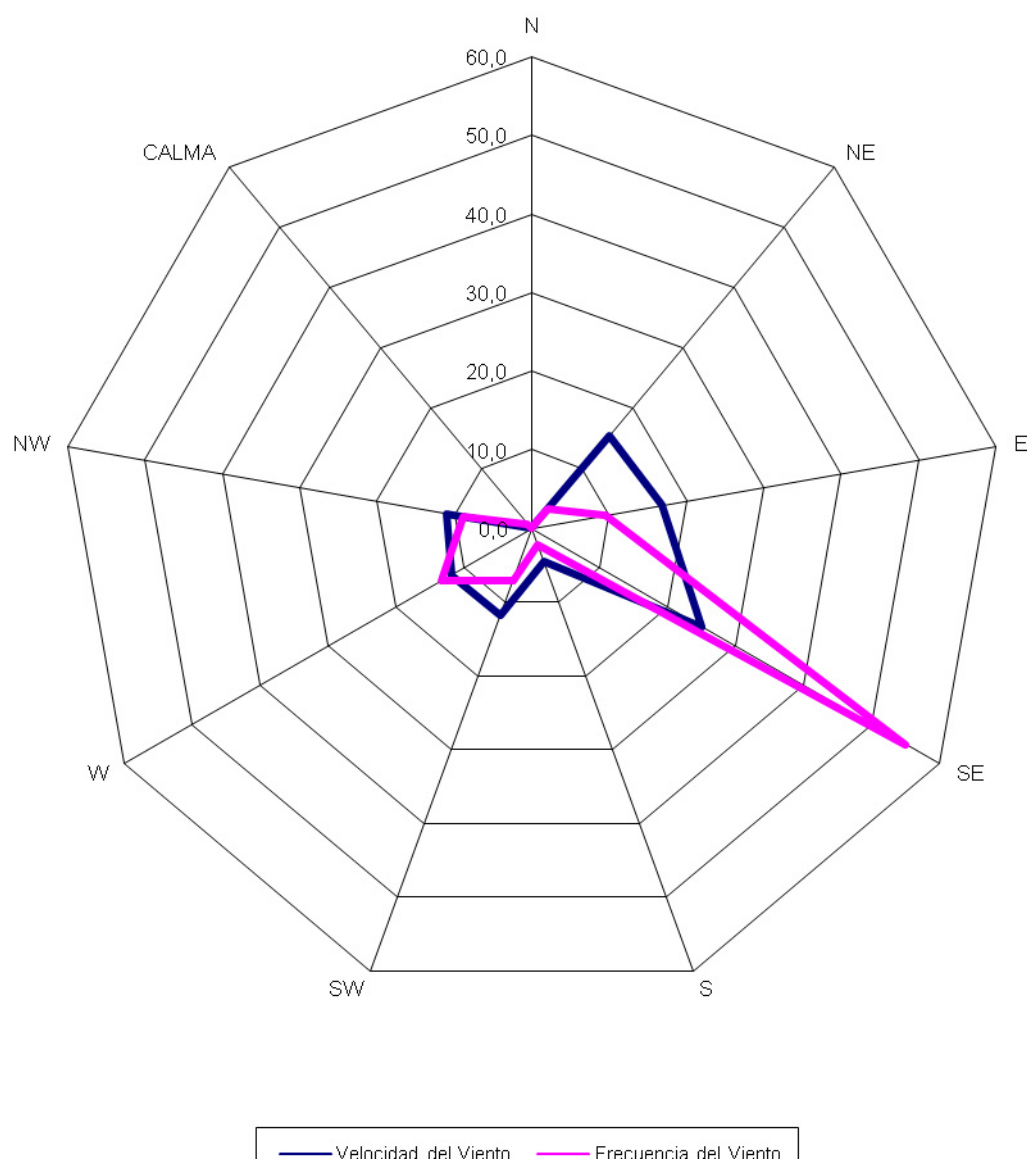


FIGURA 4.10. POLÍGONOS DE VIENTO JUNIO 2003

Frecuencia y Velocidad del Viento en el mes de Julio 2003

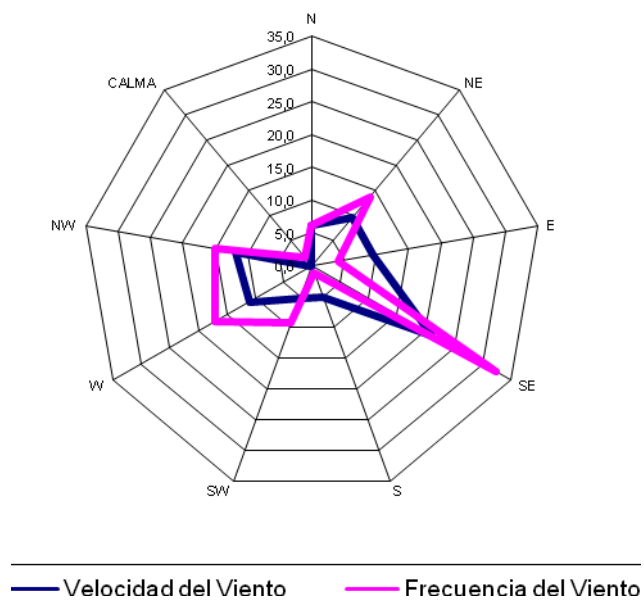


FIGURA 4.11. POLÍGONOS DE VIENTO JULIO 2003

Frecuencia y Velocidad del Viento en el mes de Agosto 2003

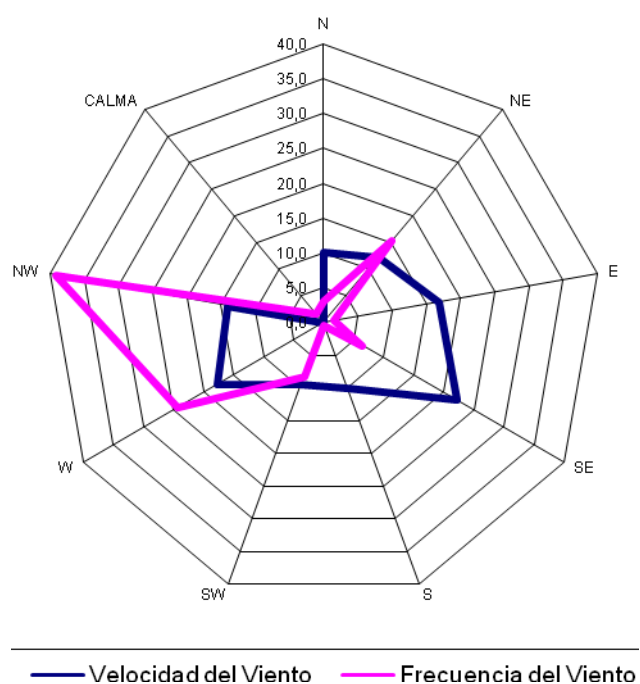


FIGURA 4.12. POLÍGONOS DE VIENTO AGOSTO 2003

Frecuencia y Velocidad del Viento en el mes de Septiembre 2003

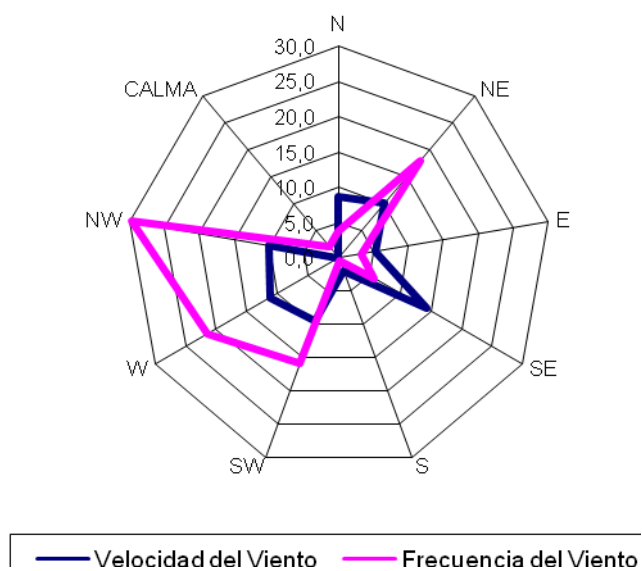
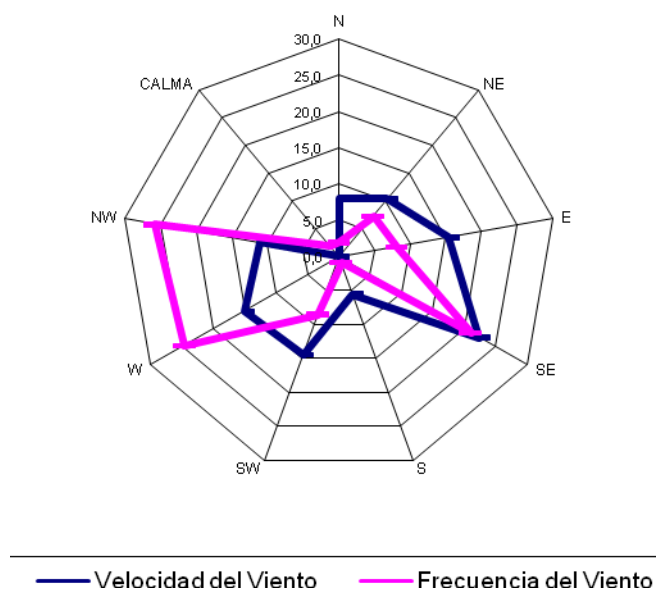
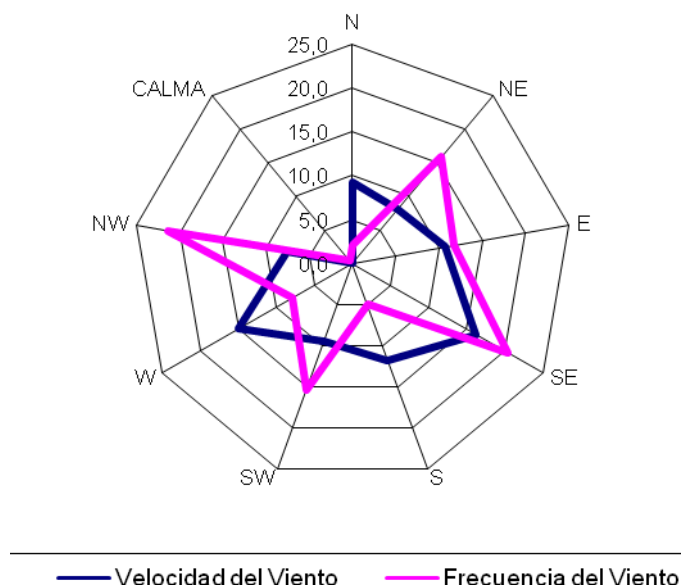


FIGURA 4.13. POLÍGONOS DE VIENTO SEPTIEMBRE 2003

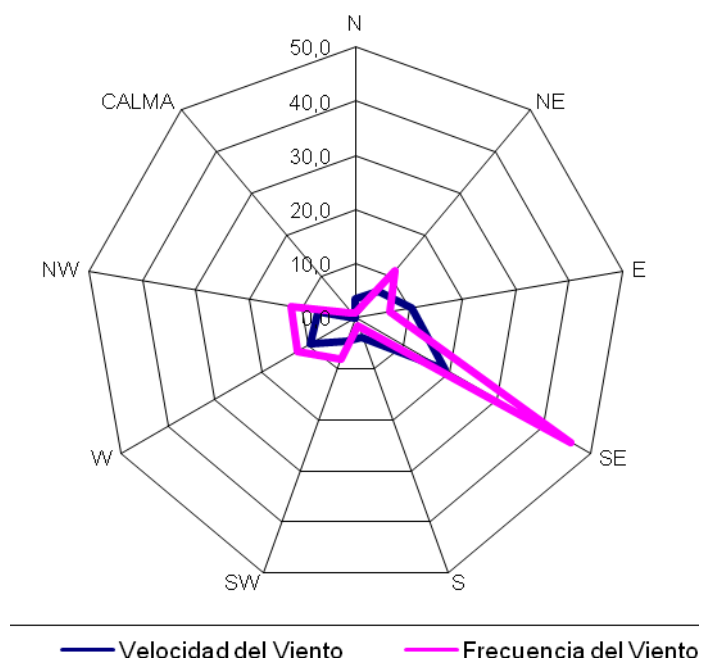
Frecuencia y Velocidad del Viento en el mes de Octubre 2003

**FIGURA 4.14. POLÍGONOS DE VIENTO OCTUBRE 2003**

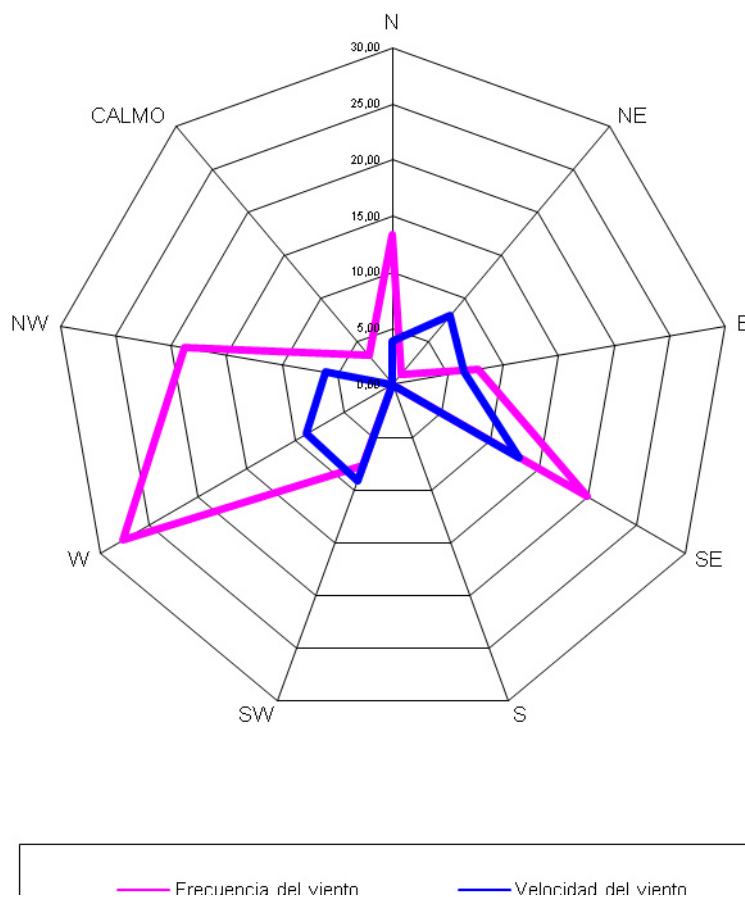
Frecuencia y Velocidad del Viento en el mes de Noviembre 2003

**FIGURA 4.15. POLÍGONOS DE VIENTO NOVIEMBRE 2003**

Frecuencia y Velocidad del Viento en el mes de Diciembre 2003

**FIGURA 4.16. POLÍGONO DE VIENTO DICIEMBRE 2003**

Frecuencia y Velocidad del viento - Dirección en el mes de Enero 2004

**FIGURA 4.17. POLÍGONOS DE VIENTO ENERO 2004**

Del año 1998 se pudo rescatar los polígonos de viento del mes de Enero. Como se puede observar en la Figura 4.14 los datos no distan de los que se obtuvieron en el mismo mes de los años 2003 y 2004, todos presentan valores de velocidad muy semejantes. Esto indica que es muy adecuado utilizar al viento como un recurso para transformar su energía cinética en energía eléctrica.

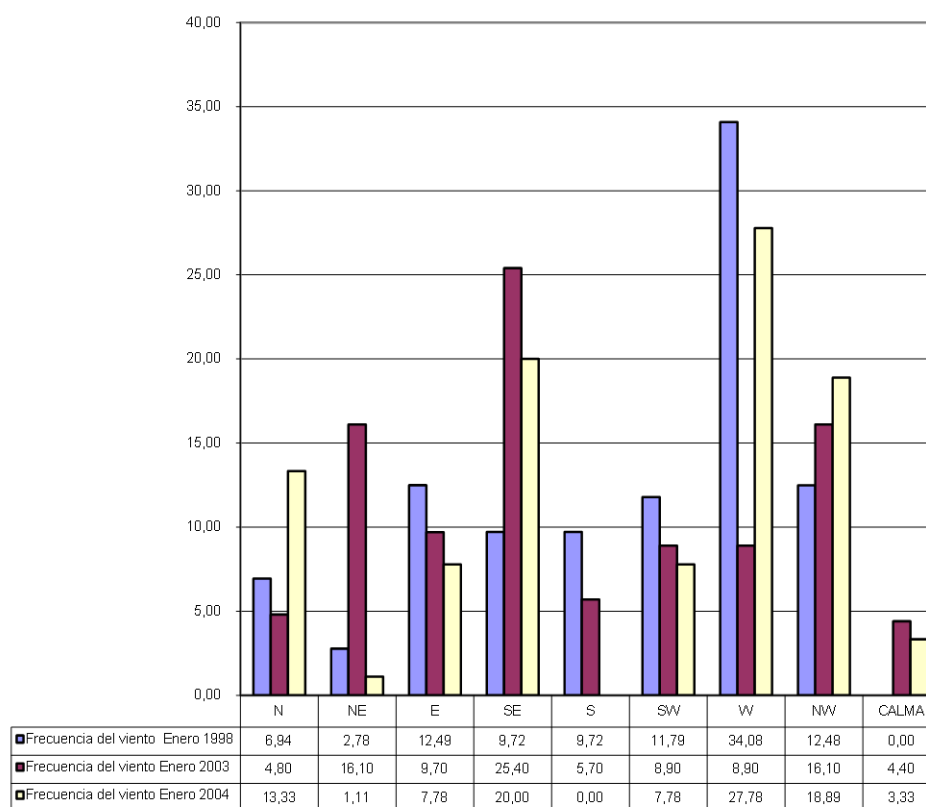


FIGURA 4.18. POLÍGONOS DE VIENTO ENERO 1998

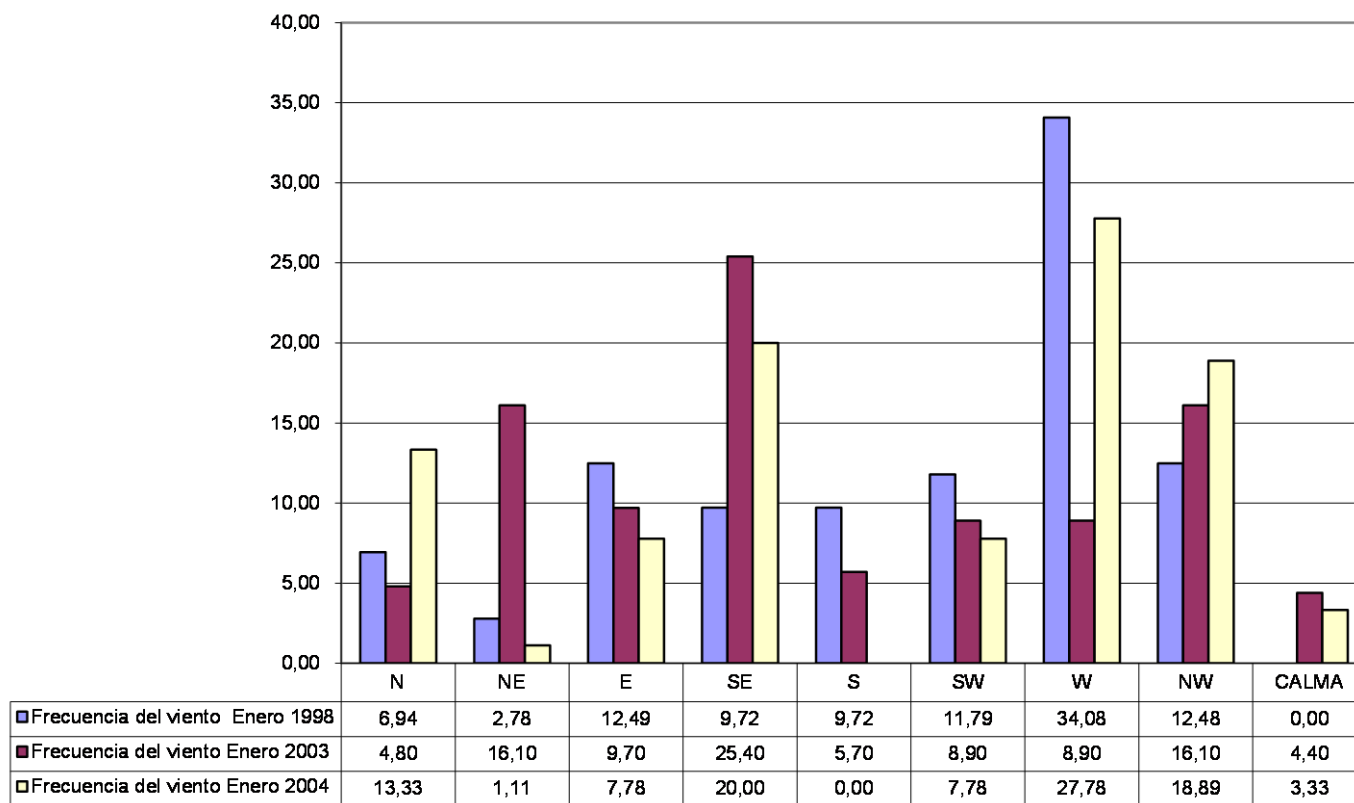


FIGURA 4.19. COMPARACIÓN DE FRECUENCIA DE VIENTOS DE LOS MESES DE ENERO DE LOS AÑOS 1998, 2003 Y 2004

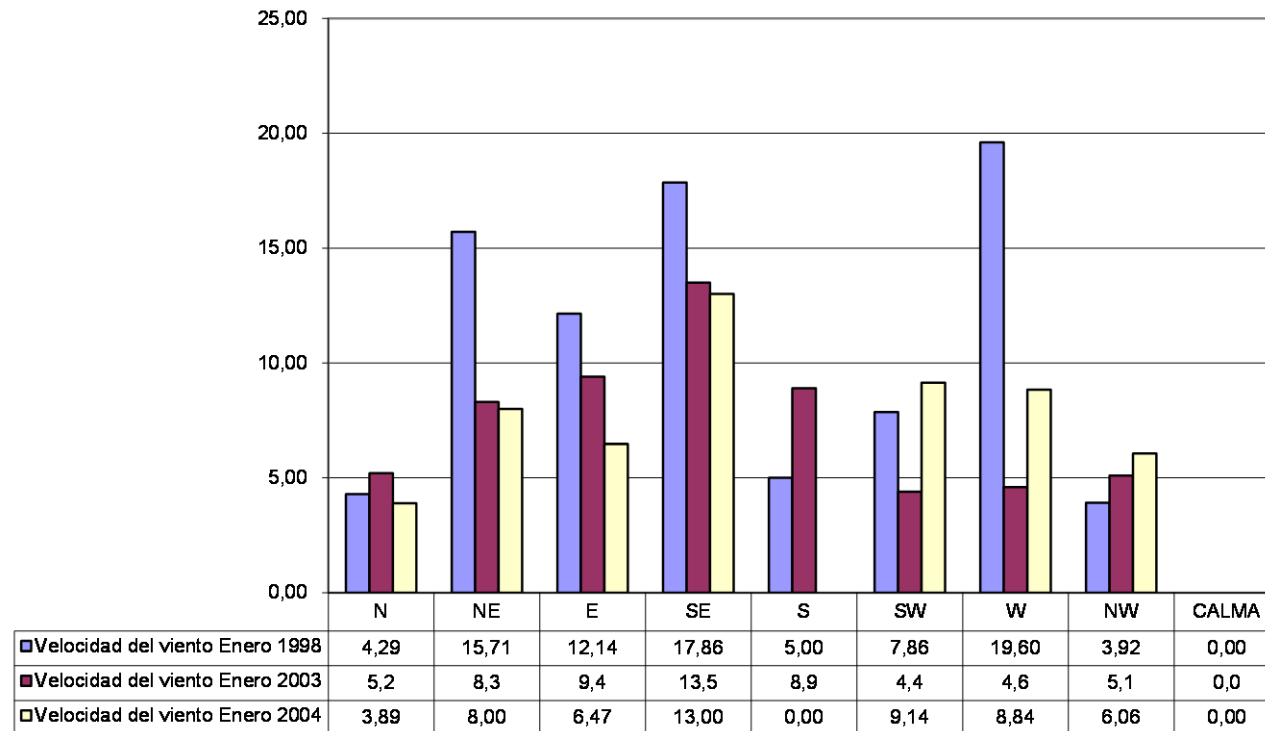


FIGURA 4.20. COMPARACIÓN DE LAS VELOCIDADES DEL VIENTO DE LOS MESES DE ENERO DE LOS AÑOS 1998, 2003 Y 2004

En los datos obtenidos se puede ver que la frecuencia de las direcciones del viento de los meses de enero de los años 1998 y 2004 el mayor valor del oeste, mientras que en el 2003 del sureste. Los valores de viento calmo en el mismo mes del año de 1998 fue 0%, mientras que en el del año 2003 de 4,40% y en el del 2004 de 3,33%. Esto indica que en frecuencia el viento calmo ocurre muy poco.

4.3. Propiedades psicrométricas del aire en la Estación “Pedro Vicente Maldonado”

Se realizaron 181 mediciones, tres mediciones diarias, de los siguientes parámetros: temperatura de bulbo húmedo, temperatura de bulbo seco y presión atmosférica durante el verano austral en los meses de Diciembre 2003 y Enero 2004.

El barómetro aneroide Chelsea, instalado en el laboratorio de meteorología fue el instrumento con el cual se midió la presión atmosférica a nivel medio del mar.

La correlación de la diferencia de las temperaturas obtenidas, con el valor de la del bulbo seco en las tablas correspondientes a la presión de 990 hPa. y a la altitud con respecto al nivel medio del mar, proporcionan el valor de la humedad relativa. Para esto se utilizó la Tabla de

Humedad Relativa que la Dirección Meteorológica de Chile publicó en 1995.

Se consideró entonces para el cálculo los valores donde la humedad relativa fue mayor (96%) y la temperatura de bulbo seco más baja ($-0,4^{\circ}\text{C}$) en los meses de diciembre del 2003 y enero del 2004, de tal forma de considerar el valor más alto de energía requerida para alcanzar la temperatura de 18°C y 50% de humedad relativa, como consta en el capítulo 3 de esta misma tesis.

4.3.1. Temperatura

La determinación de las temperaturas de bulbo seco y de bulbo húmedo se la realizó por medio de un termómetro y un psicrómetro de onda de ventilación natural, cuyo elemento sensible es el mercurio.

En el mes de diciembre de 2003 se lograron realizar 50 mediciones de temperatura de bulbo seco y de bulbo húmedo. El resumen de las observaciones se encuentran en la tabla 4.6.

TABLA 4.6. DATOS DE TEMPERATURA MES DE DICIEMBRE 2003

	Temperatura Bulbo seco	Temperatura de Bulbo húmedo
Temperatura Máxima	5,2	3,6
Temperatura Mínima	-0,6	-1,9
Temperatura Promedio	1,3	0,0

En el mes de enero del año 2004 se obtuvieron 90 mediciones de temperaturas de bulbo seco y de bulbo húmedo. El resumen de las observaciones se encuentran en la tabla 4.7.

TABLA 4.7. DATOS DE TEMPERATURA MES DE ENERO 2004

	Temperatura Bulbo seco	Temperatura de Bulbo húmedo
Temperatura Máxima	5,8	4,2
Temperatura Mínima	0,2	-1,0
Temperatura Promedio	2,5	1,1

4.3.2. Presión

La presión atmosférica promedio del mes de Diciembre del 2003 fue de 997,4 HPa., en el mes de Enero del 2004 fue de 989,8 HPa.

Las tablas de presión de la región contemplan a 990 HPa. como la presión base y característica, de acuerdo a esto se han tabulado los valores de humedad relativa.

4.3.3. Humedad

Debido a que la Estación “Pedro Vicente Maldonado” se encuentra en una isla, la humedad es considerablemente alta.

Con la presión promedio en el mes de Diciembre, que fue de 994.9 HPa, y las temperaturas promedio de bulbo seco y bulbo húmedo de ese mes, la humedad relativa tuvo un valor de 81%; mientras que con la presión promedio en el mes de Enero de 2004 fue de 989.8 HPa, y con las temperaturas promedio de bulbo seco y bulbo húmedo mencionadas anteriormente se tuvo que la humedad relativa fue del 78%.

4.4. Posibilidades de aprovechamiento

Para poder obtener una mayor apreciación de las condiciones de temperatura y viento se pudo obtener mediante el Internet los datos estadísticos de diez años. Estos datos fueron tomados en la Base Naval Chilena “Arturo Prat”, la misma que se encuentra hoy bajo la jurisdicción de la Gobernación de Punta Arenas, y dista 5 kilómetros de la Estación Pedro Vicente Maldonado en la isla Greenwich.

Dentro de los datos también se halla información acerca de las humedades relativas, éstas ayudan a confirmar que el promedio utilizado es correcto.

En base a las mediciones realizadas en la Estación Científica Ecuatoriana, se pudo comprobar con las obtenidas por Internet que el periodo que permaneció la IX Expedición se encuentran representando valores que permiten confirmar la particularidad de las mediciones de las características ambientales.

Así por ejemplo, el mes de Diciembre del 2003 fue el mes más frío en un periodo de diez años, y las condiciones de viento estuvo siempre sobre los niveles mínimos de diseño de un sistema de aprovechamiento eólico.

Los datos que se muestran a continuación fueron obtenidos de la base de datos de la Base Chilena “Arturo Prat” establecida en la Isla Greenwich a 5 kilómetros de la Estación Ecuatoriana. Estos son medias y promedios, en algunos se obtiene los valores máximos. La búsqueda de un modelo matemático comparativo con la temperatura se podría decir que es una curva cosenoidal, tal como se muestra en los gráficos que son resultado del uso de la herramienta Excel.

TABLA 4.8. DATOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Datos climáticos: BASE ARTURO PRAT, Antártida

Estación meteorológica: **890570**

Latitud: **-62.5**

Longitud: **-59.68**

Altitud: **5**

TABLA 4.9.
ABREVIATURAS DE LOS DATOS OBTENIDOS

Significado de las columnas de datos:	
T	Temperatura media (°C)
TM	Temperatura máxima (°C)
Tm	Temperatura mínima (°C)
SLP	Presión atmosférica a nivel del mar (mb)
H	Humedad relativa media (%)
V	Velocidad media del viento (Km/h)
VM	Velocidad máxima sostenida del viento (Km/h)
v	Velocidad media del viento (m/s)
vm	Velocidad máxima sostenida del viento (m/s)

TABLA 4.10
DATOS ENERO 1994 – 2003

ENERO										
	T	TM	Tm	SLP	H	V	VM	v	vm	
1994	1,6	3,4	0,3	985,7	87,2	19,3	36,7	5,4	10,2	
1995	2,4	4,4	1,4	992,6	91,9	14,1	24,8	3,9	6,9	
1996	1,8	3,4	0,7	991,1	89	18,4	31,8	5,1	8,8	
1997	2,4	4,4	0,9	988,3	92	12,2	25,7	3,4	7,1	
1998	2,3	4,2	0,9	985,1	90,9	11,1	21,5	3,1	6,0	
1999	2,1	3,7	0,8	989,5	88,5	14	25,9	3,9	7,2	
2000	2	3,9	0,5	981,5	90,3	16,3	30,3	4,5	8,4	
2001	1,2	3	0	989,7	91,6	19,9	32,3	5,5	9,0	
2002	2,4	4,2	1,2	988,6	87,4	16,4	26,2	4,6	7,3	
2003	1,9	4	0,4	993,5	86,8	15,5	26,1	4,3	7,3	
PROM	2,0	3,9	0,7	988,6	89,6	15,7	28,1	4,4	7,8	

TABLA 4.11
DATOS FEBRERO 1994 – 2003

FEBRERO									
	T	TM	Tm	SLP	H	V	VM	v	vm
1994	1,5	3,5	0,4	986,4	90,3	22,6	38,4	6,3	10,7
1995	2,3	4,3	0,9	991,9	88,5	14,5	26,9	4,0	7,5
1996	2,5	4,3	1,1	990,4	89,5	13,3	25,4	3,7	7,1
1997	1,9	4,1	0,6	993,6	88,5	15,1	25,0	4,2	6,9
1998	2,9	5,3	1,2	994,6	86	13,6	28,2	3,8	7,8
1999	1,9	3,4	0,7	984,9	88	17,5	30,0	4,9	8,3
2000	2	3,7	0,8	995,8	90,6	13	24,8	3,6	6,9
2001	0,7	2,5	-0,7	988,5	86,1	19,6	34,6	5,4	9,6
2002	2,6	4,3	1,3	987,1	88,9	20,7	33,2	5,8	9,2
2003	1,9	3,7	0,4	987,2	90	19,8	31,8	5,5	8,8
PROM	2	3,9	0,7	990,0	88,6	17,0	29,8	4,7	8,3

TABLA 4.12.
DATOS MARZO 1994 – 2003

MARZO									
	T	TM	Tm	SLP	H	V	VM	v	vm
1994	1,1	3	-0,2	993,4	90,4	17,9	31,3	5,0	8,7
1995	0,2	1,9	-1,4	983,8	85	19,4	36,8	5,4	10,2
1996	1,4	3,2	-0,1	986,2	87,7	15,4	28,0	4,3	7,8
1997	1,6	3,5	0	990,5	88,2	21,4	34,0	5,9	9,4
1998	1,2	3,1	-0,5	990,8	90	15,2	30,9	4,2	8,6
1999	1,6	3	0,5	995,2	91,7	16,5	29,6	4,6	8,2
2000	1,3	2,9	0,2	1002,6	90,3	19,8	35,6	5,5	9,9
2001	0	2,2	-2	988,2	93,4	21,5	39,3	6,0	10,9
2002	0	1,9	-1,7	992,5	86,1	16,9	29,6	4,7	8,2
2003	0	2,1	-1,4	997,9	86	26,7	44,4	7,4	12,3
PROM	0,8	2,7	-0,7	992,1	88,9	19,1	34,0	5,3	9,4

TABLA 4.13
DATOS ABRIL 1994 – 2003

ABRIL

	T	TM	Tm	SLP	H	V	VM	v	vm
1994	-1,2	0,4	-2,6	995,0	94,1	23,8	39,4	6,6	10,9
1995	-1,6	0,5	-4,1	992,2	90,4	24,4	42,6	6,8	11,8
1996	1,3	0,8	-2,9	996,9	88,5	17,1	28,7	4,8	8,0
1997	-1,7	0,6	-3,6	986,4	88,2	22,7	37,9	6,3	10,5
1998	1,2	2,6	-0,4	995,5	88,0	21,4	35,9	5,9	10,0
1999	0,9	2,4	-0,5	988,3	89,5	19,2	31,9	5,3	8,9
2000	0,3	1,8	-1,1	988,8	89,7	24,3	39,8	6,8	11,1
2001	-2,5	0,1	-5,0	988,0	91,0	21,3	36,9	5,9	10,3

TABLA 4.14.
DATOS MAYO 1994 - 2003

MAYO

	T	TM	Tm	SLP	H	V	VM	v	vm
1994	-3,5	-1,3	-5,6	996	90,2	25,1	41,4	7,0	11,5
1995	-2,4	-0,2	-4,2	992,3	90,1	25,2	40,9	7,0	11,4
1996	-2,2	0,1	-4,1	986,6	91,5	24,9	39,5	6,9	11,0
1997	-1,6	0,5	-4	999,2	89,3	18,7	34,3	5,2	9,5
1998	-1,3	1,2	-3,3	999,2	82,8	13,9	27,4	3,9	7,6
1999	0,7	0,9	-2	993,2	91,3	16,9	31,0	4,7	8,6
2000	-1,3	0,4	-2,8	998,3	91,6	19,5	33,6	5,4	9,3
2001	-1,2	0,5	-3	999,2	93,1	19,3	32,9	5,4	9,1
2002	-5,4	-2,5	-8,3	994,1	84,6	24,5	40,2	6,8	11,2
2003	2,5	0,2	-5,8	991,5	93,9	24,7	40,0	6,9	11,1
PROM	-1,6	0,0	-4,3	995,0	89,8	21,3	36,12	5,9	10,0

TABLA 4.15
DATOS JUNIO 1994 – 2003

JUNIO									
	T	TM	Tm	SLP	H	V	VM	v	vm
1994	-3,9	-1,8	-7,0	996,4	94,4	22,9	41,9	6,4	11,6
1995	-6,2	-3,4	-9,0	989,7	83,5	20,2	36,5	5,6	10,1
1996	-4,8	-2,1	-7,9	993	90,3	28,8	47,3	8,0	13,1
1997	-4,6	-1,8	-6,7	1002,6	88	20,7	38	5,8	10,6
1998	-1,2	0,7	-3,3	997,1	91,4	13,4	27	3,7	7,5
1999	-3,6	-1,7	-5,6	997,1	90,5	26,8	41,7	7,4	11,6
2000	-2,1	-0,5	-3,8	997,7	92	22,5	38,8	6,3	10,8
2001	-5	-2,3	-7,7	992,8	90,1	26,4	44,7	7,3	12,4
2002	-8,6	-5,1	-12,2	990,3	84,7	27,5	46,5	7,6	12,9
2003	-7,2	-4	-10,1	998,1	88,5	36,6	52,8	10,2	14,7
PROM	-4,7	-2,2	-7,3	995,5	89,3	24,6	41,52	6,8	11,5

TABLA 4.16
DATOS JULIO 1994 - 2003

JULIO									
	T	TM	Tm	SLP	H	V	VM	v	vm
1994	-10,3	-7	-13,9	995,4	90,9	32,8	53,8	9,1	14,9
1995	-11,9	-8,9	-15,4	990,3	92,3	32,9	56,6	9,1	15,7
1996	-3,6	-0,9	-6,6	990,7	91,5	27,8	44,6	7,7	12,4
1997	-6,5	-3,2	-9,9	990,3	87,1	21,2	37,3	5,9	10,4
1998	-5,5	-2,7	-8,4	979,3	93,4	30,2	47,2	8,4	13,1
1999	-3,4	-1,2	-6,2	990,3	92,0	23,4	38,4	6,5	10,7
2000	-3,0	-0,7	-5,2	1005,3	92,6	14,8	26,0	4,1	7,2
2001	-6,3	-3,2	-9,2	996,5	87,1	21,0	38,8	5,8	10,8
2002	7,1	-3,0	-10,3	996,1	89,3	18,9	37,7	5,3	10,5
2003	-5,5	-2,6	-8,0	985,0	91,9	24,3	41,1	6,8	11,4
PROM	-6,3	-3,3	-9,3	991,9	90,8	24,7	42,2	6,9	11,7

TABLA 4.17
DATOS AGOSTO 1994 - 2003

AGOSTO									
	T	TM	Tm	SLP	H	V	VM	v	vm
1994	-4,0	-1,1	-7,9	989,0	91,3	27,9	48,6	7,8	13,5
1995	-11,1	-7,3	-15,1	994,6	90,8	21,0	39,8	5,8	11,1
1996	-4,1	-2,0	-6,7	990,1	87,6	21,1	33,1	5,9	9,2
1997	-5,6	-2,0	-9,3	985,8	88,6	25,0	44,2	6,9	12,3
1998	-7,0	-4,0	-9,5	986,2	90,2	29,1	44,8	8,1	12,4
1999	-5,2	-2,5	-8,2	989,7	90,9	27,6	45,3	7,7	12,6
2000	-5,9	-3,3	-8,5	992,6	91,3	24,7	39,1	6,9	10,9
2001	-2,8	-0,5	-5,7	982,4	89,8	25,8	40,1	7,2	11,1
2002	-5,0	-2,3	-8,1	999,5	86,4	18,6	31,0	5,2	8,6
2003	-2,1	0,1	-4,5	988,5	92,0	26,8	43,4	7,4	12,1
PROM	-5,3	-2,5	-8,4	989,8	89,9	24,8	40,9	6,9	11,4

TABLA 4.18
DATOS SEPTIEMBRE 1994 - 2003

SEPTIEMBRE									
	T	TM	Tm	SLP	H	V	VM	v	vm
1994	-3,7	-1,3	-6,0	981,2	90,1	29,7	53,4	8,3	14,8
1995	-6,8	-3,4	-10,7	988,0	93,2	20,6	40,0	5,7	11,1
1996	-2,5	-0,4	-4,6	996,0	93,3	23,0	39,8	6,4	11,1
1997	-7,1	-3,3	-10,5	994,0	87,3	20,9	38,8	5,8	10,8
1998	-7,9	-5,1	-11,1	990,4	89,3	23,1	43,2	6,4	12,0
1999	-5,6	-3,0	-8,1	991,5	92,8	22,6	41,4	6,3	11,5
2000	-5,8	-2,7	-8,9	1002,2	90,1	24,2	39,2	6,7	10,9
2001	-2,4	-0,3	-4,9	991,4	89,7	23,0	37,9	6,4	10,5
2002	-3,0	-0,9	-5,1	1002,8	91,0	19,3	32,1	5,4	8,9
2003	-3,2	-0,7	-5,4	992,1	93,4	18,9	31,4	5,3	8,7
PROM	-4,8	-2,1	-7,5	993,0	91,0	22,5	39,7	6,3	11,0

TABLA 4.19
DATOS OCTUBRE 1994 - 2003

OCTUBRE

	T	TM	Tm	SLP	H	V	VM	v	vm
1994	-5,4	-2,9	-8,2	989,4	90,8	28,2	48,6	7,8	13,5
1995	-1,5	0,5	-3,7	993,1	93,3	16,6	30,8	4,6	8,6
1996	-1,7	0	-3,6	985,6	88,4	24,6	38,6	6,8	10,7
1997	-3,3	-1,1	-5,2	992,4	90,1	23,2	36,6	6,4	10,2
1998	-2,2	0	-4,2	981,4	89,1	21,4	38,0	5,9	10,6
1999	-1,6	0,1	-3,3	985,6	93,2	22,6	37,6	6,3	10,4
2000	-1,7	0,1	3	989,5	91	20,8	34,5	5,8	9,6
2001	-0,8	0,7	-2,5	985	90,5	28,7	44,3	8,0	12,3
2002	-5,8	-2,6	-8,3	989,8	87,6	29,7	42,8	8,3	11,9
2003	-2,5	-0,3	-4,5	985,1	92,7	27,4	42,9	7,6	11,9
PROM	-2,7	-0,6	-4,1	987,7	90,7	24,3	39,5	6,8	11,0

TABLA 4.20
DATOS NOVIEMBRE 1994 – 2003

NOVIEMBRE

	T	TM	Tm	SLP	H	V	VM	v	vm
1994	0,1	2	-1,2	993,9	92,1	15,3	31,6	4,3	8,8
1995	-1,1	0,6	-2,6	982,3	93	19,4	35	5,4	9,7
1996	-0,5	1,1	-1,9	978,2	89,4	25,3	41,7	7,0	11,6
1997	-1,8	0	-3,4	995,8	87,4	21,0	34,4	5,8	9,6
1998	-0,5	1	-2	984,4	87	17,5	29,9	4,9	8,3
1999	0,1	1,4	-1,1	987,8	95,2	17,0	30,6	4,7	8,5
2000	-0,9	1,3	-2,4	994,8	87,7	14,7	24,7	4,1	6,9
2001	-0,1	1,4	-1,6	981,2	88,6	23,3	33,6	6,5	9,3
2002	-1,4	0,6	-3,1	990,3	84,4	15,5	27,6	4,3	7,7
2003	-1,7	0,4	-4	985,3	90,8	19,9	34,9	5,5	9,7
PROM	-0,8	1,0	-2,3	987,4	89,6	18,9	32,4	5,2	9,0

TABLA 4.21
DATOS DICIEMBRE 1994 - 2003

DICIEMBRE									
	T	TM	Tm	SLP	H	V	VM	v	vm
1994	0,9	2,7	-0,4	989,0	91,6	12,9	25,4	3,6	7,1
1995	0,8	2,3	-0,6	986,1	93,1	17,0	27,9	4,7	7,8
1996	0,7	2,9	-0,6	989,1	91,6	16,8	30,9	4,7	8,6
1997	0,4	2,4	-1,0	999,5	83,8	8,4	19,7	2,3	5,5
1998	0,4	1,7	-0,9	980,9	86,9	21,1	34,2	5,9	9,5
1999	1,3	3,0	0,3	982,7	94,0	14,6	26,0	4,1	7,2
2000	0,4	2,1	-0,7	989,1	87,6	18,5	30,0	5,1	8,3
2001	1,4	3,2	0,1	983,3	88,2	21,4	34,3	5,9	9,5
2002	0,4	2,0	-1,1	990,8	90,1	20,9	36,8	5,8	10,2
2003	-1,2	1,2	-2,8	995,7	93,3	23,1	37,3	6,4	10,4
PROM	0,6	2,4	-0,8	988,6	90,0	17,5	30,3	4,9	8,4

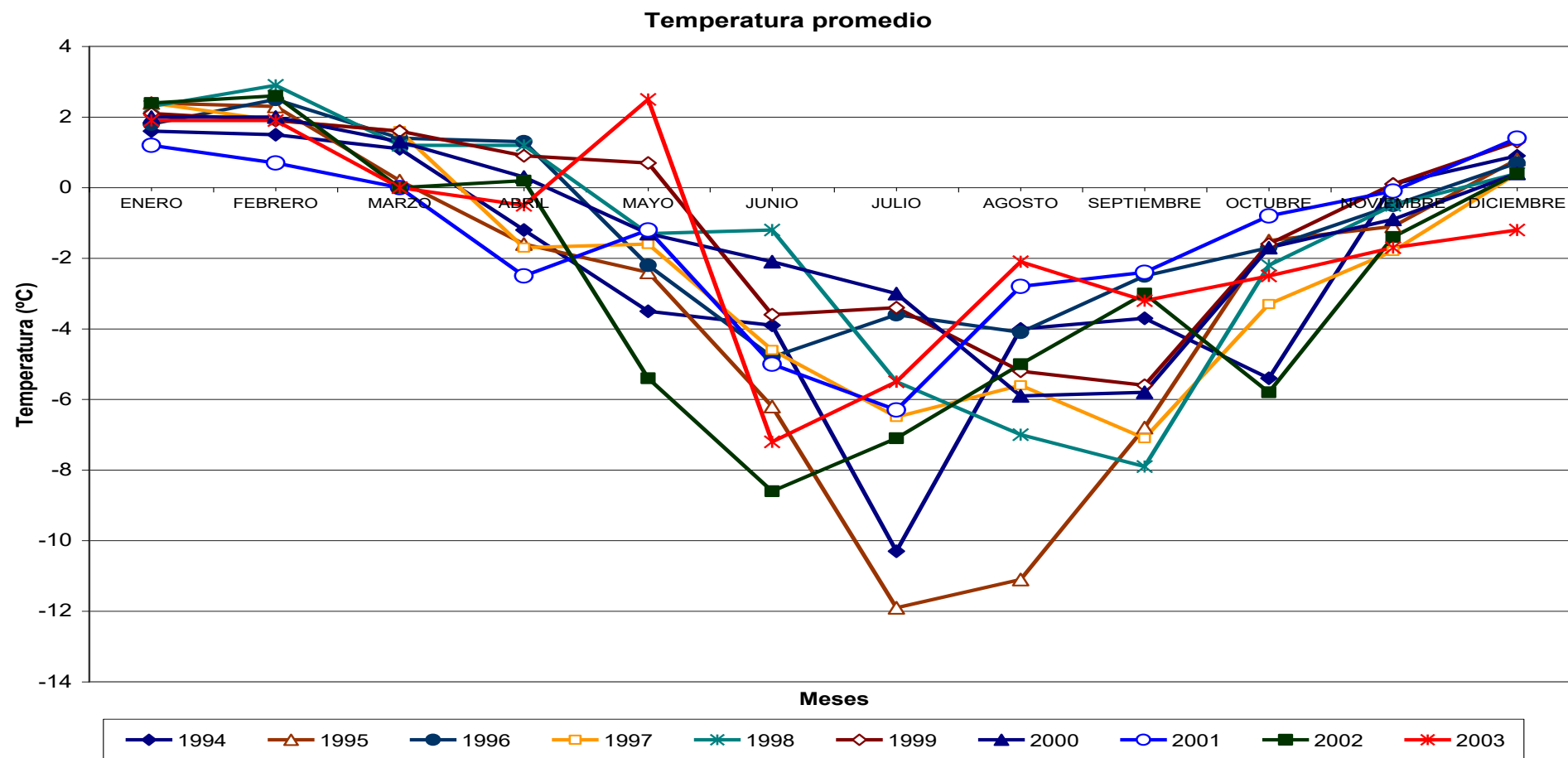


FIGURA 4.21. TEMPERATURAS MEDIAS 1994-2003

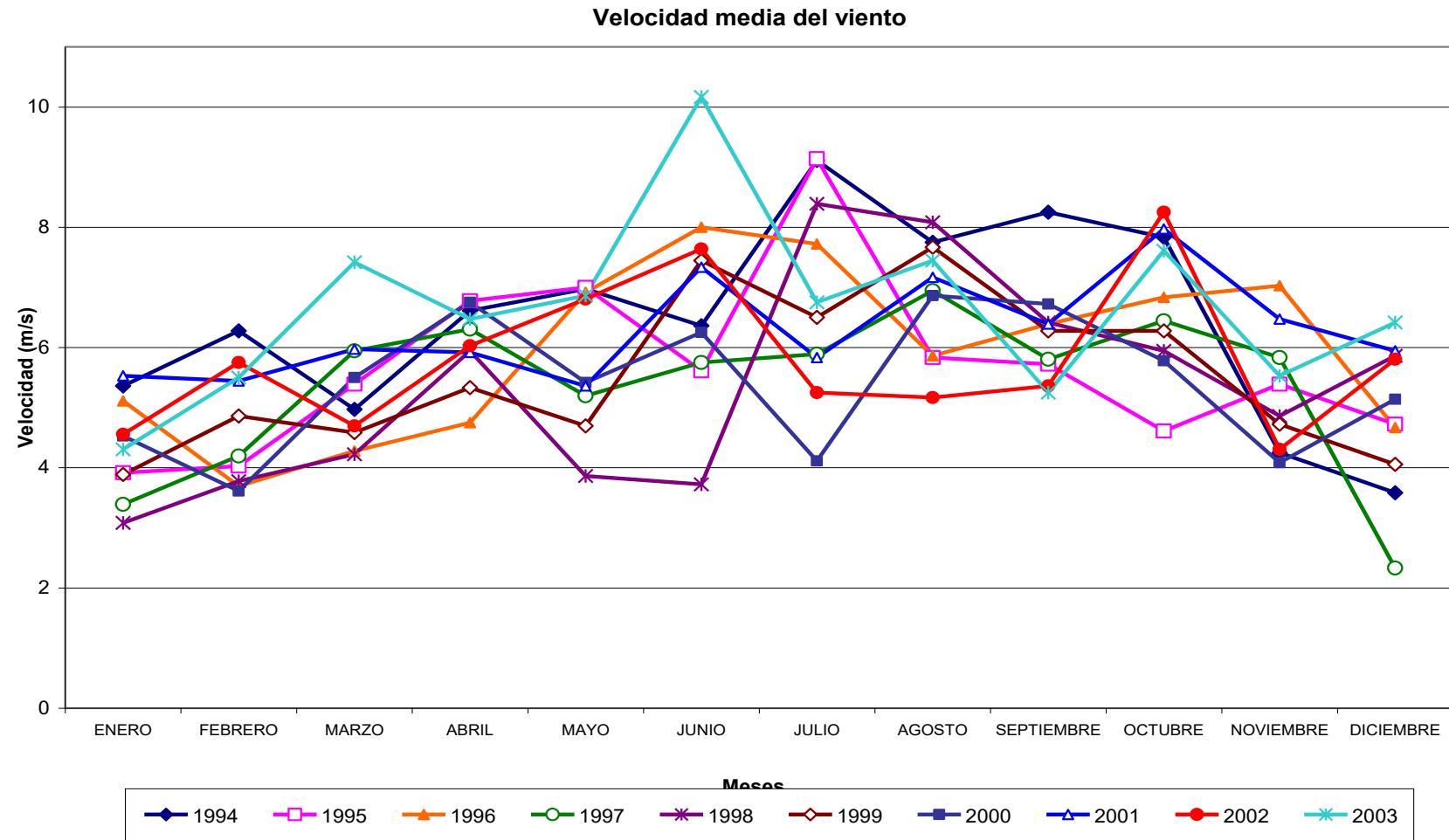


FIGURA 4.22. VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO

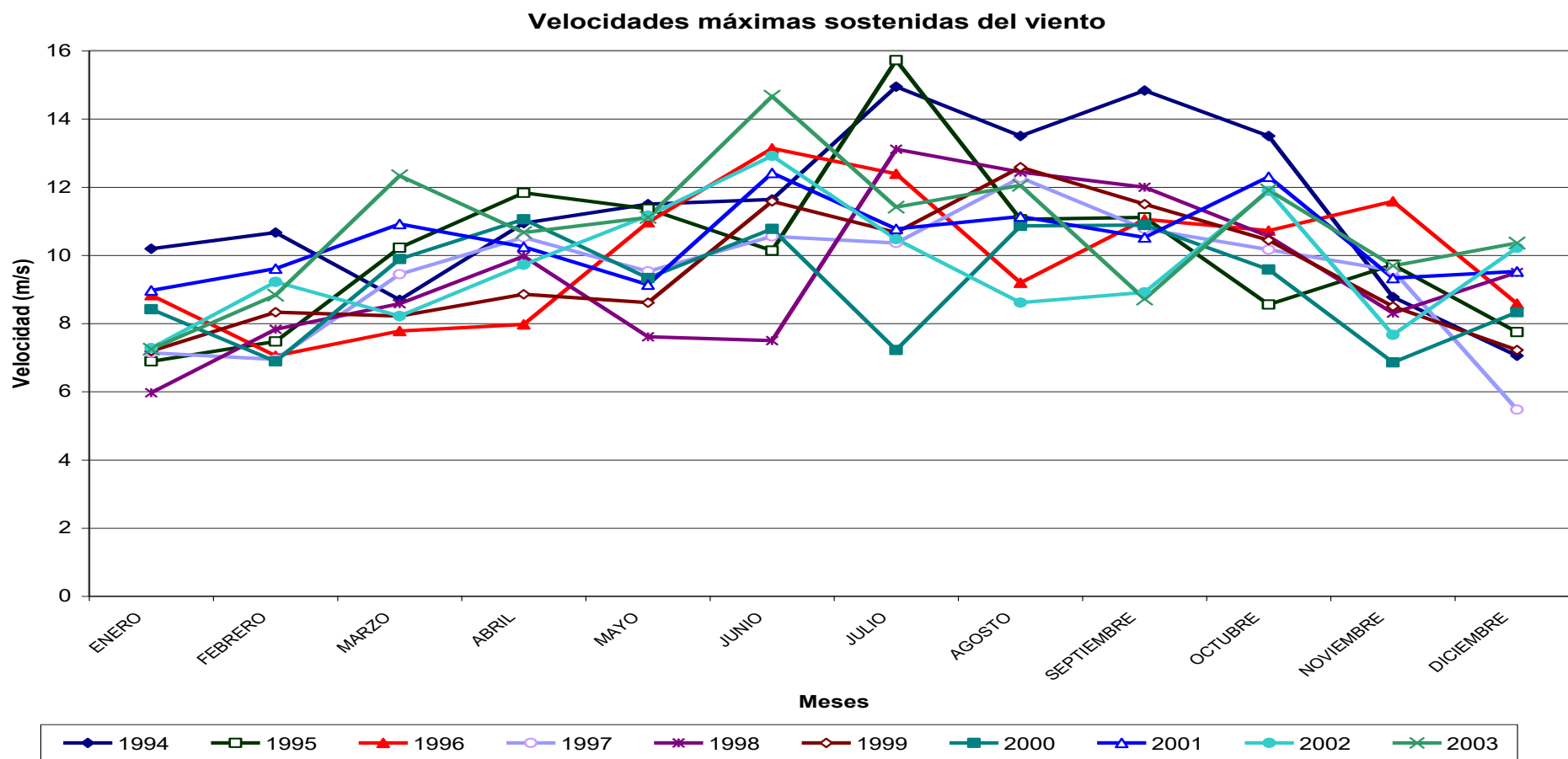


FIGURA 4.23. VELOCIDADES MÁXIMAS SOSTENIDAS DEL VIENTO 1994 - 2003

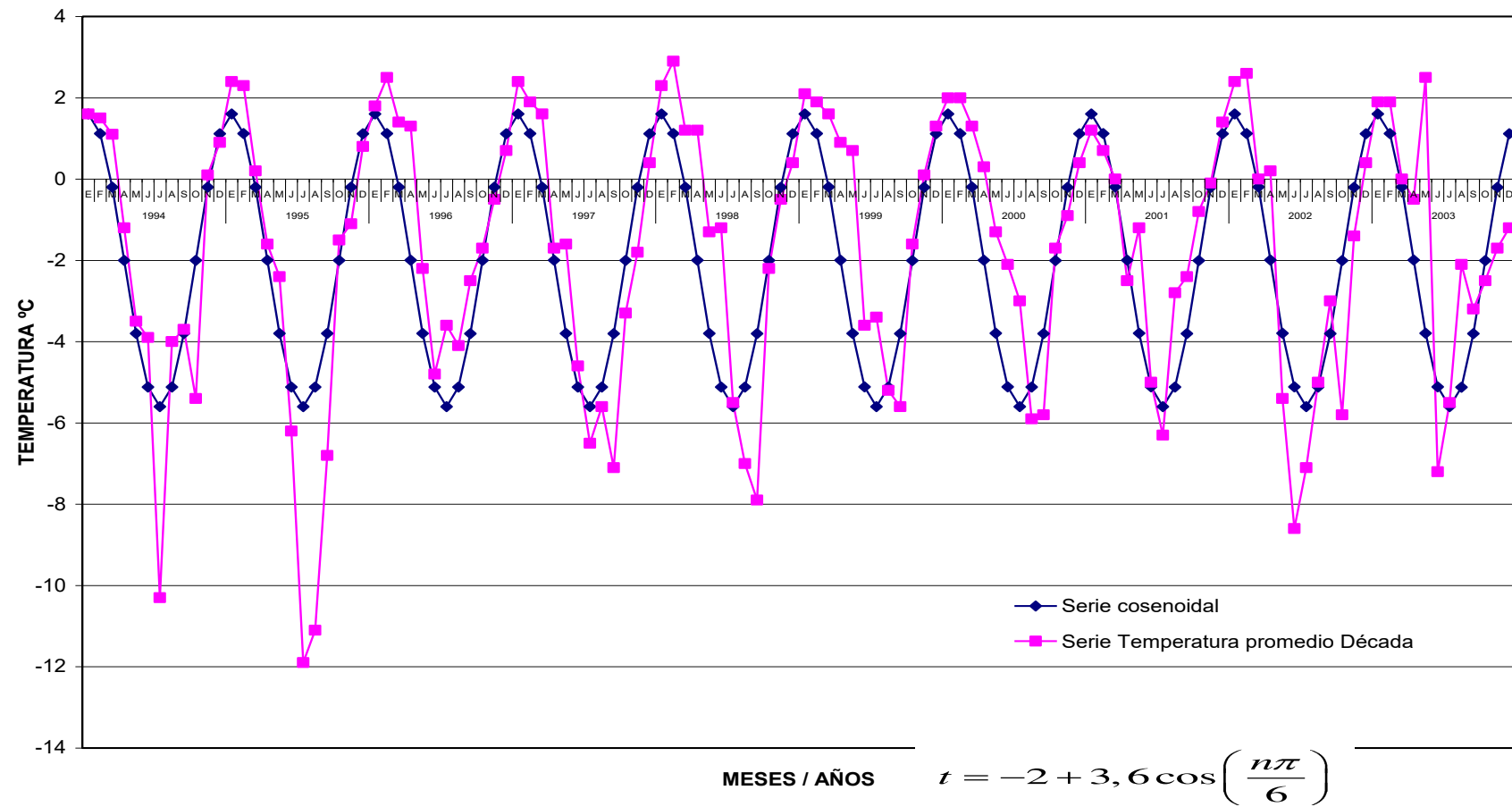


FIGURA 4.24. SERIE DE LA TEMPERATURA PROMEDIO CON MODELO MATEMÁTICO APROXIMADO

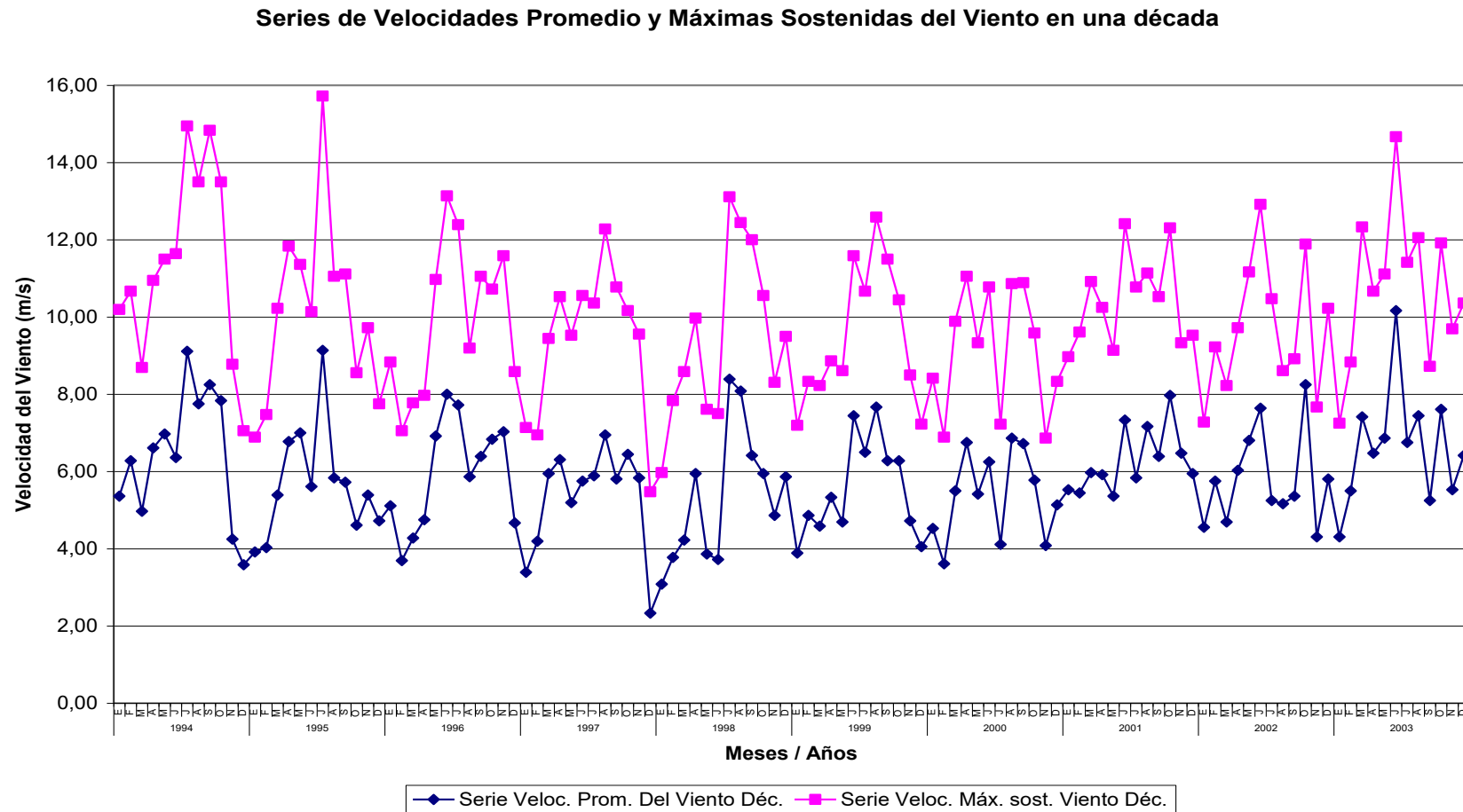


FIGURA 4.25. SERIES DE VELOCIDADES PROMEDIO Y MÁXIMAS SOSTENIDAS 1994 - 2003

TABLA 4.22.
DATOS PROMEDIOS POR MES 1994 – 2003

DATOS PROMEDIOS POR MES EN UNA DÉCADA

MES	T	TM	Tm	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

De acuerdo a las 181 mediciones de la fuerza del viento realizadas en los meses de diciembre 2003 y enero 2004, sólo 8 fueron de vientos calmos (velocidad del viento 0), lo que representa menos del 5% de existencia, es decir, existe una posibilidad sobre el 95% que se esté transformando energía del viento en energía eléctrica que podría ser acumulada en un banco de baterías.

Considerando la potencia necesaria para satisfacer las necesidades de calefacción dentro de la estación igual a 23 KW, siendo la potencia total para cubrir la calefacción y servicios básicos de 27 KW, y el consumo de combustible era de 70 galones por hora, se podría ahorrar más allá

del 50% del consumo del mismo en el generador Perkins de 70 KVA que se encuentra instalado en la Estación Científica “Pedro Vicente Maldonado”, utilizando la energía transformada por las turbinas eólicas.

Es importante mencionar que el diseño preliminar propuesto en esta monografía tiene como valor agregado la disminución de los riesgos de contaminación por el uso, traslado y dependencia del combustible diesel.

Almacenamiento y distribución de la Energía

El almacenamiento de la energía eléctrica se lo haría en un conjunto de 90 baterías Modelo Vision 6FM75X. Estas se colocarían en tres ramales de diez grupos de tres baterías en paralelo, cada una de 12 Voltios y 75 AH. Los grupos tendrían 225 AH y la suma de los diez grupos en serie es de 120 V. Las baterías que se mencionan son utilizadas en sistemas de acumulación de la energía eléctrica fotovoltaica, de características apropiadas para el trabajo requerido en las condiciones existentes.

Baterías :

Voltaje : 12 V

Capacidad almacenamiento : 75AH

Conexión en paralelo :

Ley de Ohm indica que la corriente se suma, entonces tres baterías :

$$3 \times 75 = 225 \text{ AH}$$

Conexión en serie :

Ley de Ohm indica que la diferencia de potencial se suma, entonces los diez grupos se suman :

$$10 \times 12 = 120 \text{ Voltios}$$

La potencia acumulada será : $P = V \times I$

$$P = 120 \times 225 = 27.000 \text{ W (Cada ramal)}$$

$$P_{total} = 27.000 \times 3 = 81.000 \text{ W} = 81 \text{ KW (Tres ramales)}$$

La forma como se conectarán las baterías se encuentra descrito en la Figura 4.21. Cada unidad se encuentra representada con la simbología de batería. El diagrama muestra los tres ramales numerados I, II y III y los grupos de tres baterías en paralelo como indica el recuadro con línea roja entrecortada de la misma figura, los mismos que se encuentran con números ordinales colocados en la parte superior.

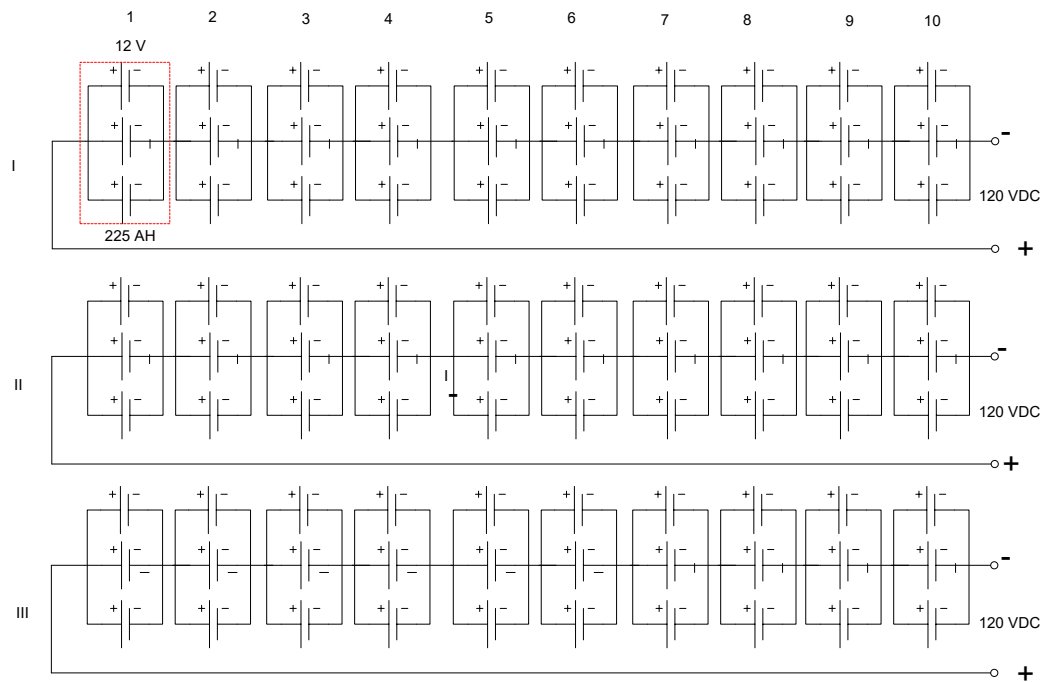


FIGURA 4.26. DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE LAS BATERÍAS

El sistema poseerá un supervisor de fase y controlador de voltaje y corriente para evitar que las baterías se sobrecarguen. Este dispositivo enviará la energía en exceso a una serie de resistencia que se encontrarán en los tanques de agua para precalentar el agua que será enviada a la estación.

Para regular el balance de la carga existirán supervisores de fase y control monitoreado, ante alguna falla se obtendrá cargas adicionales que simularán la carga que se tendrá en cada una de las fases y barras de distribución, los mismos que se encontrarán lo más balanceado posible en cuanto a la carga de los equipos eléctricos conectados dentro

y fuera de las áreas de vivienda, laboratorios y módulo de generadores diesel.

A las barras de distribución eléctrica se conectarán los calentadores oleoeléctricos, el sistema de protección catódica de las estructuras de la estación, de la torre de las turbinas y de la antena de radio, las resistencias para precalentar el agua y las líneas con trazeado que llevarán el agua hacia la estación para evitar la pérdida de calor, el congelamiento del fluido y el rompimiento y colapso de las tuberías.

Por otro lado se podría hacer pozos o tanques que almacenen el agua a los cuales se les puede proveer de resistencias para fundir la nieve y hielo que puedan formarse.

CAPÍTULO 5

5. CÁLCULOS, DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS Y EQUIPOS DEL SISTEMA

Este capítulo reúne en sí todos los aspectos mencionados en los capítulos anteriores, por lo que resulta ser la conjunción de los datos, observaciones y cálculos. El dimensionamiento de los equipos y elementos constitutivos se encuentran de acuerdo a lo que se considera un diseño preliminar, esto quiere decir que cumple con las especificaciones necesarias, pero que podrían ser modificadas de acuerdo a lo que exista en el mercado, dependiendo de los recursos y los requerimientos de los usuarios de este sistema cuando vaya a ser instalado.

5.1. Cálculo de la demanda energética para calefacción

En concordancia con el capítulo 3 de esta monografía se resumirá en la siguiente tabla los resultados obtenidos:

TABLA 5.1.
REQUERIMIENTOS DE CALOR EN LA ESTACIÓN CIENTÍFICA
ANTÁRTICA ECUATORIANA

CONCEPTO	POTENCIA (W)
1. Cálculo psicrométrico	27209.25
2. Pérdidas de calor en el piso	17040,06
3. Pérdidas de calor en las paredes	11922,24
4. Filtraciones y renovación del aire (20 %)	11234.31
TOTAL	67405,86

Es importante mencionar que los resultados mostrados en la anterior tabla son un resumen de los cálculos obtenidos en el capítulo 3, y que en realidad no muestran específicamente los diferentes requerimientos de calefacción existente entre los módulos, fundamentalmente por la diferencia de los materiales que forman parte de sus pisos y paredes. Para mejorar las condiciones y disminuir la energía es necesario hacer modificaciones en las paredes de los dos módulos.

5.2. Dimensionamiento de las turbinas eólicas

Es necesario aprovechar la energía del viento para transformarla en sesenta y ocho (68) kilovatios de potencia eléctrica, por lo que se requerirá instalar un parque eólico o una sola turbina que tenga esta capacidad.

Las turbinas se instalarían en la zona adjunta al módulo generadores, a una distancia de 10 metros. En ese sitio se dispone de un área de aproximadamente de cien metros cuadrados.



FIGURA 5.1. FOTOGRAFÍA DE ÁREA DE INSTALACIÓN DE TURBINAS EÓLICAS (ENTRE LÍNEAS ROJAS)

De acuerdo a potencia requerida establecer las siguientes alternativas:

**TABLA 5.2.
ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA**

ALTERNATIVA	DISPOSICIÓN
A	1 TURBINA DE 70 KVA
B	2 TURBINAS DE 35 KVA
C	7 TURBINAS DE 10 KVA
D	5 TURBINAS DE 15 KVA
E	4 TURBINAS DE 20 KVA
F	2 GENERADORES DE 20 KW Y 2 TURBINAS DE 20 KVA
G	2 GENERADORES DE 40 KVA ENCABINADOS

El sistema debe poseer:

- Protecciones de auto freno para evitar las ráfagas grandes de viento capacidad de embanderamiento.
- Capacidad de trabajar en condiciones extremas de frío y de mal ambiente. Generalmente las aspas están provistas de resistencias que evitan que la nieve se aglomere y aumente su peso.
- Capacidad para montarse y desmontarse, según se requiera y con poco personal.
- Versátil, es decir que posea capacidad de usarse con pequeñas y altas velocidades de viento.
- Que sea auto ajustable, aquí se podría pensar en dos posibilidades, con variación del ángulo de ataque y con la utilización del stall, de acuerdo a la situación.

Las torres deberán tener un sistema de protección catódica, si son metálicas, para evitar la corrosión, producido por el ambiente salino y la gran humedad en el área de la estación; con tirantes de acero inoxidable y de gran resistencia.

Las baterías deben poder ser cargadas y descargadas constantemente, con baja producción de hidrógeno y de descarga lenta. Para el efecto se utilizarán el grupo de baterías de las características y de la forma como se indicó en el capítulo 4, numeral 4.5., del modelo Visión

6FM75X, de 12 V y 75 AH. El costo de este sistema sería alrededor de 130 dólares americanos por batería con sus rack, cables y conectores, con un total aproximado de 12000 dólares americanos, las baterías podrían ser obtenidas en Argentina. La potencia almacenada sería de 81 KW.

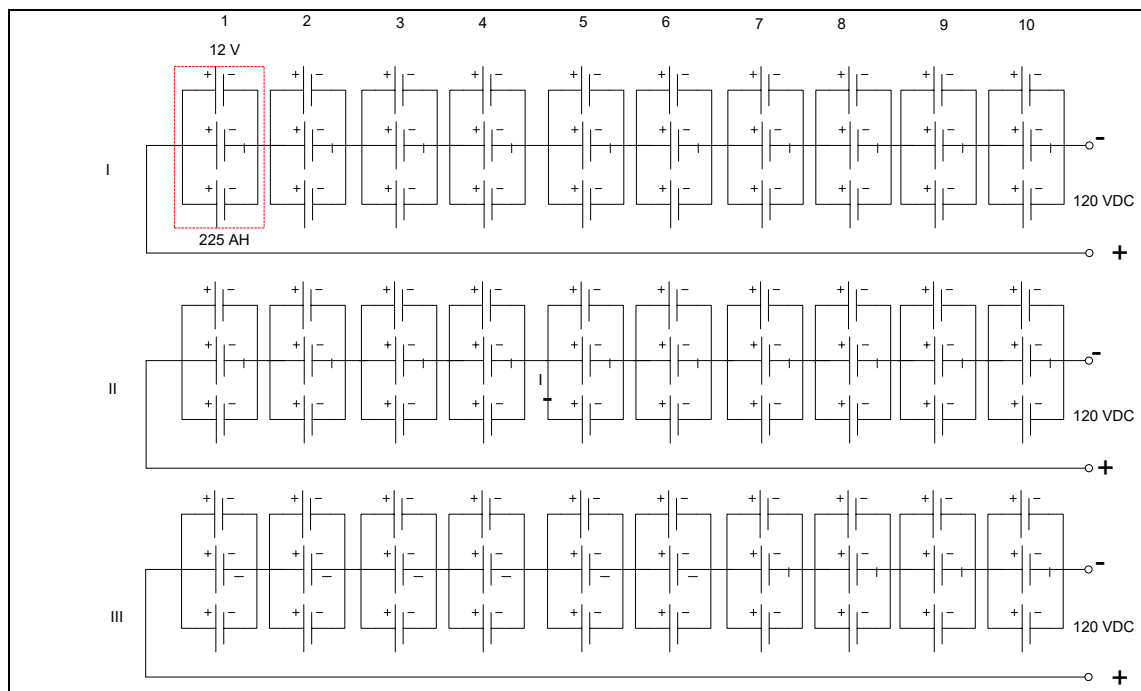


FIGURA 5.2. DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE BATERÍAS

5.3. Costo de los elementos y equipos del sistema

En el mercado se encuentra una cantidad considerable de equipos. Los precios de las turbinas eólicas fluctúan de acuerdo a su capacidad de transformación, sin embargo se presentará como dato el costo promedio en dólares por vatio como 1,04 (USD/W).

El precio de las torres donde van colocadas las turbinas tienen un precio de relación proporcional a la altura, potencia requerida, al tamaño (peso) de la turbina y a la fuerza de viento entre otras variables, es necesario puntualizar que la dichas torres deben ser desmontables y con capacidad de soportar hasta 80 nudos de fuerza de viento, por lo cual requerirán de pernos especiales y tirantes de soporte. Para todas las torres se tomará como altura 20 metros.

De manera sencilla se han determinado ciertos costos como son el de adquisición en el año inicial o año cero, costos de mantenimiento, costos fijos y costos variables de manera anual, considerados en la primera década. En los costos actuales se ha considerado una tasa de interés del 20%.

La determinación del costo equivalente y el promedio de éste desde el año inicial hasta el año 10, nos permitirán seleccionar la disposición más conveniente.

5.4. Cuadros de costos, comparación de alternativas planteadas y selección

El criterio que determinará la mejor opción estará dado por la comparación del costo equivalente y corroborada por otro tipo de criterios importantes que se deben considerar.

El **Costo total Anual** (CT_n) será la suma del costo de mantenimiento, del costo fijo y del costo variable. El Costo Fijo Anual (CF_n) será aquel que existe se tenga o no producción durante el año, mientras que el Costo Variable Anual (CV_n) será aquel que dependerá de la producción. Para encontrarlo se utilizará la Ecuación 5.1.

$$CT_n = C_{mn} + CF_n + CV_n \quad (5.1)$$

Para determinar el **Valor Actual Anual** (VA) se aplicará la Ecuación 5.2 donde la tasa de interés anual r se la considerará de acuerdo a la que se establezca en el mercado, para los cálculos de este diseño se utilizará el 20%, y el periodo a considerarse será n que estará en años.

$$VA = CT_n \times (1 + r)^{-n} \quad (5.2)$$

El **Costo Total Acumulado** (CTA) será la sumatoria, en un periodo específico, de los valores actuales y el costo de adquisición, tal cual indica la Ec. 5.3

$$CTA = C_{ad} + \sum_{n=1}^{10} VA_n \quad (5.3)$$

La producción para este diseño será considerado la **Potencia Anual**, para determinar ésta, se utilizará al valor nominal de los generadores eólicos o de los generadores diesel o su combinación sea la alternativa planteada. Para determinar por hora se realiza la multiplicación por 365 y por 24, de la forma como lo indica la Ecuación 5.4.

$$PA = P \times 365 \times 24 \quad (5.4)$$

El **Costo Equivalente (CE)** es la relación que proveerá el criterio para indicar cual es la mejor alternativa, o por lo menos, la mejor configuración. Éste es el cociente entre el costo y la producción actual total acumulada. En la siguiente sección se encontrará puntos de vista que permitirán corroborar con la mejor solución al problema planteado a los cuales se les ha llamado **otros aspectos a considerarse**. Se podría interpretar como cuanto capital requiero para producir un Kw por hora. Se utilizará la Ecuación 5.5.

$$CE = \frac{CTA}{\sum_{n=1}^{10} \frac{PA}{(1+r)^n}} \quad (5.5)$$

Las abreviaciones tienen la siguiente nomenclatura en todas las ecuaciones presentadas en esta sección, en forma sucinta se presenta a continuación a manera de resumen:

$$CT_n = C_{mn} + CF_n + CV_n \quad (5.1)$$

$$VA = CT_n \times (1 + r)^{-n} \quad (5.2)$$

$$CTA = C_{ad} + \sum_{n=1}^{10} VA_n \quad (5.3)$$

$$PA = P \times 365 \times 24 \quad (5.4)$$

$$CE = \frac{CTA}{\sum_{n=1}^{10} \frac{PA}{(1 + r)^n}} \quad (5.5)$$

CT_n : Costo total anual

C_{mn} : Costo mantenimiento anual

CF_n : Costo fijo anual

CV_n : Costo variable anual

C_{ad} : Costo de adquisición

n : año (1 a 10)

r : Tasa de interés anual, 20%

CTA : Costo total acumulado

VA : Valor Actual

PA : Producción anual (Kw/h)

CE : Costo Equivalente

El orden de las alternativas con los respectivos valores de costo equivalente es:

TABLA 5.10
ALTERNATIVAS POR COSTO EQUIVALENTE

Orden	ALTERNATIVAS	Costo Equivalente USD/ (KW/hora)
1	G: 2 GENERADORES DE 40 KVA ENCABINADOS	0,118
2	E: 4 TURBINAS DE 20 KVA	0,126
3	D: 5 TURBINAS DE 15 KVA	0,134
4	B: 2 TURBINAS DE 35 KVA	0,143
5	C: 7 TURBINAS DE 10 KVA	0,144
6	A: 1 TURBINA DE 70 KVA	0,151
7	2 GENERADORES DE 20 KW Y 2 TURBINAS DE 20 F: KVA	0,167

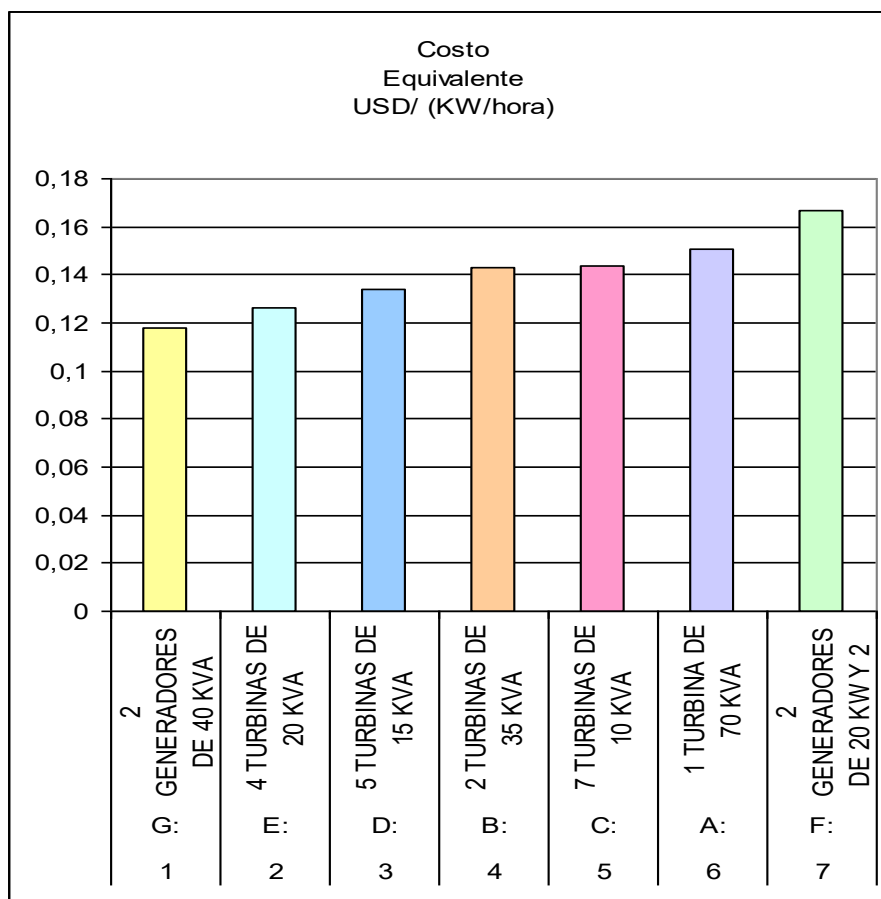


FIGURA 5.2. ALTERNATIVAS POR COSTO EQUIVALENTE

5.5. Otros aspectos a considerarse en la selección

De lo anteriormente mostrado nos permitiría visualizar que la mejor alternativa es el adquirir e instalar motores generadores a diesel.

Siendo el diesel un derivado del petróleo no permitiría estimar cien por ciento que ese será el costo equivalente, puesto que el valor del crudo a nivel mundial está influenciado por una serie de aspectos geopolíticos,

economías de las grandes naciones, los intereses empresariales de las transnacionales, cantidad de las reservas mundiales, situación de las relaciones entre los países, etc.

La considerable distancia de nuestro país hasta la estación (9.500 km. aprox.), aumenta considerablemente los costos logísticos de proveer a la estación de diesel, aumenta el riesgo de derrames en el traslado.

La utilización del diesel, además, acarrearía la instalación de sistemas de almacenamiento, ductos de transportación para llevar el fluido desde el buque que lo transporta hasta los tanques que deberían construirse o en su defecto crear la infraestructura necesaria en la isla para trasladar los tanques, este último hará que se dependa mucho del temporal.

El riesgo de derrame en las maniobras de aprovisionamiento es más alta conforme aumenta la cantidad de combustible necesario para poder utilizar los grupos electrógenos (moto generadores a diesel) durante el tiempo en que duren las expediciones. Entonces, quedarían limitadas las temporadas de permanencia en la estación, disminuyendo el tiempo de toma de muestra e investigación.

Finalmente, el mantener el diesel como el combustible fundamental para producir la electricidad y así el calor dentro de la estación provocaría una dependencia externa que limitaría en algún momento el desarrollo de las actividades en el continente antártico.

Luego de estas observaciones queda desechado la alternativa G (2 generadores de 40 KVA) y se podría aceptar la siguiente alternativa, la E (4 turbinas de 20 KVA).

Es importante mencionar que dentro de los cálculos se ha ingresado un coeficiente de seguridad, considerando que la base de los datos obtenidos del año 2003 fueron particulares y que la mayor carga en la estación es debido a la necesidad de calefacción, por lo que con mucha seguridad la cantidad de energía que se podría obtener con las 4 turbinas de 20 KVA cada una, sería suficiente para mantener las cargas resistivas de la estación. Las cargas inductivas se las puede abastecer con un pequeño generador de 10 KVA, el mismo que está encabinado y adaptado para el trabajo en la estación.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos en el capítulo 3 muestran específicamente los diferentes requerimientos de calefacción existente entre los módulos, fundamentalmente por la diferencia de los materiales que forman parte de sus pisos y paredes. Para mejorar las condiciones y disminuir la energía es necesario hacer modificaciones en las paredes de los dos módulos.
2. Las torres deberán tener un sistema de protección catódica, si son metálicas, para evitar la corrosión, producido por el ambiente salino y la gran humedad en el área de la estación; con tirantes de acero inoxidable y de gran resistencia.
3. El almacenamiento de la energía eléctrica se la hará de mejor forma con los tres ramales conformados por 10 grupos en serie de 3 unidades en paralelo de baterías de 75Ah y 12V, hasta que

se desarrolle estudios para la utilización del hidrógeno producido por la electrólisis del agua para celdas de combustible.

4. El criterio de comparación del costo equivalente de cada alternativa permitió un acercamiento para determinar la mejor de ellas, pero la dependencia externa de otro país, el cambiante y manipulable costo del diesel afectado por el costo del petróleo, el riesgo de producir impactos al medio en el proceso de transporte y manipulación del combustible líquido... etc., y por la consecución del objetivo de esta monografía permiten señalar que la mejor opción es el uso de 4 turbinas eólicas de 20 KVA con un banco de baterías diseñados de acuerdo a lo mencionado en el capítulo 5.
5. El coeficiente de seguridad utilizado debido a la consideración de los datos obtenidos del año 2003 fueron particulares y que la mayor carga en la estación es debido a la necesidad de calefacción, por lo que con mucha seguridad la cantidad de energía que se podría obtener con las 4 turbinas de 20 KVA cada una, sería suficiente para mantener las cargas resistivas de la estación. Las cargas inductivas se las puede abastecer con un pequeño generador de 10 KVA, el mismo que está encabinado y adaptado para el trabajo en la estación.

6. El uso de la energía eólica para calefacción permitiría el ahorro del 84% del consumo de combustible.
7. El sistema diseñado de manera preliminar permite suplir a más de las necesidades de calefacción, la de la transformación a energía eléctrica, protección galvánica a la estructura de la estación, con la cualidad de poder aceptar el incremento de otros accesorios (arquitectura abierta) que faciliten el uso adecuado de la energía transformada, así como también puede ser desarrollado de manera modular (por etapas).

RECOMENDACIONES

1. Mejorar el aislamiento térmico de las paredes y piso de la estación.
2. Reducir los espacios habitables para evitar la pérdida de energía y el requerimiento de la misma para calefacción.
3. Buscar el balance de las cargas eléctricas en la estación.
4. Iniciar con la aplicación de los convenios de colaboración con el fin de disminuir los costos y promover el uso de la energía eólica.

5. Utilizar como base el diseño preliminar establecido en esta monografía para la instalación del un sistema de calefacción ecológico.

BIBLIOGRAFÍA

Grima R., Rosales R., 1996. Manual de Diseño de Calefacción, Ventilación, y Aire Acondicionado HVAC, McGraw Hill, España, Traducción al español de la 1ª edición, Volumen 1 p.: 1.1-2.9.

Incorpera F., 1999. Transferencia de Calor, Prentice Hall, México D.F.-México, 4ª Edición, p: 355.

McAdams, 1942. Heat transmission- McGraw Hill, New York-USA, 2nd Edition, 134.

Shamesl., 1977. La Mecánica de los Fluidos, McGraw Hill, México D.F.-México, 1ª Edición, p.: 226.

Van Wylen G., Sonntag R., 1986. Fundamentos de Termodinámica, Editorial Limusa, México D.F.- México, 12ª Edición, p: 267.

Welty J., 1993. Transferencia de Momento, Calor y Masa, Editorial Limusa, México D.F.-México, 5ª Edición, p.: 143-150, 203-211, 381-397.

Acta Antártica Ecuatoriana 1998, Armada del Ecuador

APÉNDICES

1. Esquema del diseño de calefacción con Energía Eólica.
2. Planos Arquitectónicos
3. Planos Arquitectónicos secciones 1 -1; 2-2
4. Plano de la Estación, Elevación Principal y Elevación Lateral
5. Plano de la Estación, Instalaciones Sanitarias
6. Plano de la Estación, Instalaciones Eléctricas
7. Vision Rechargeable Products Sealed Lead Acid Battery, 6FM75-X
8. Discharge Data, 6FM75 – X (BATTERY)

Esquema del diseño de Calefacción con energía Eólico

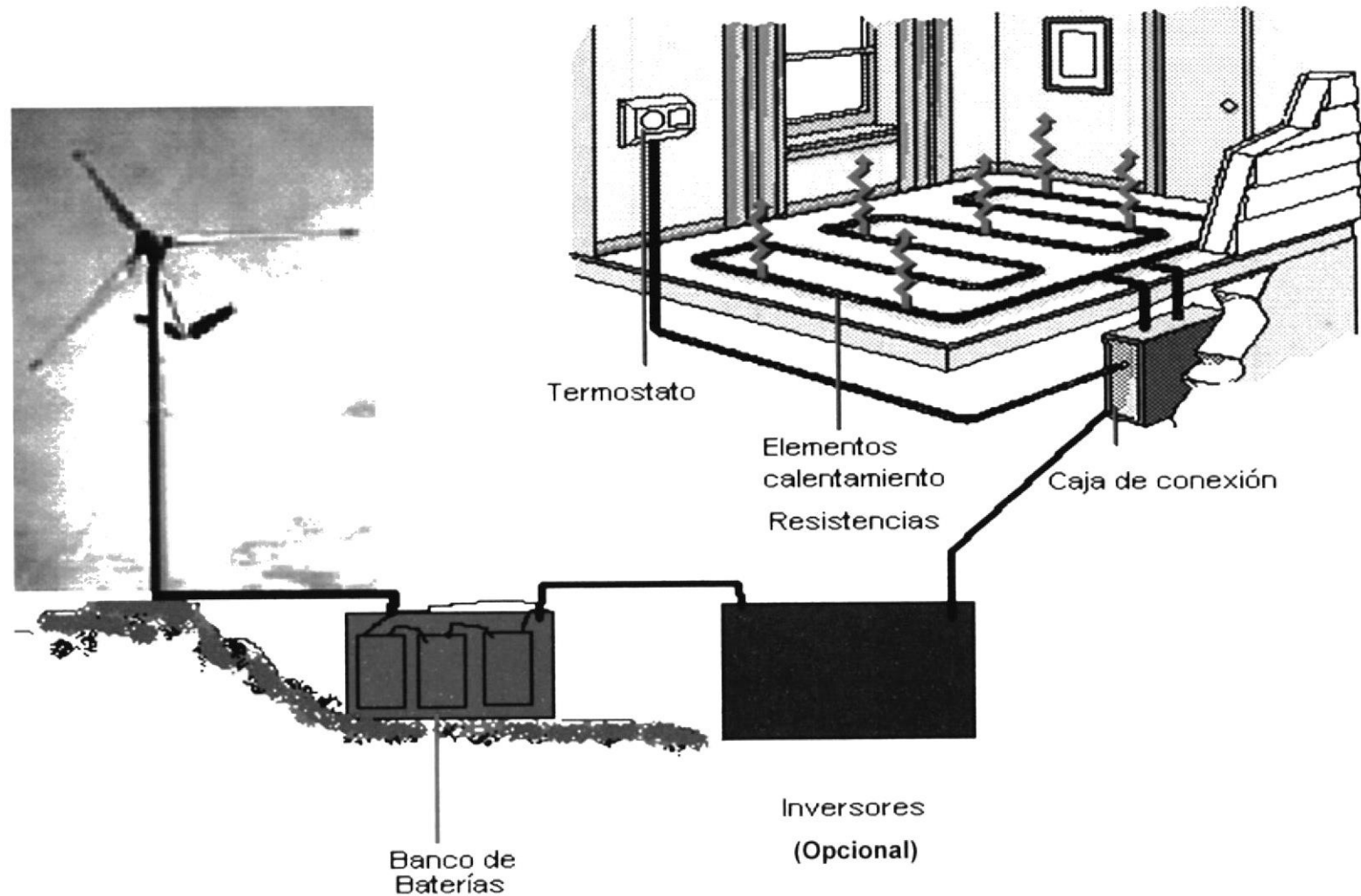
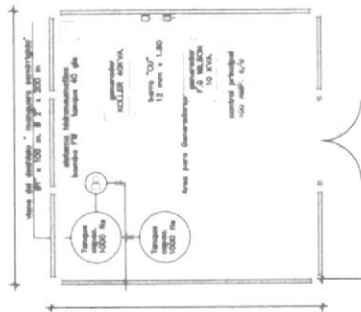


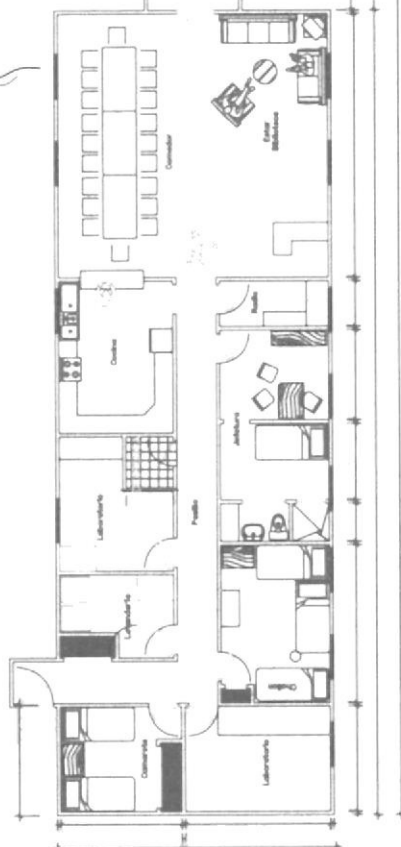


GRAFICO DE UBICACION

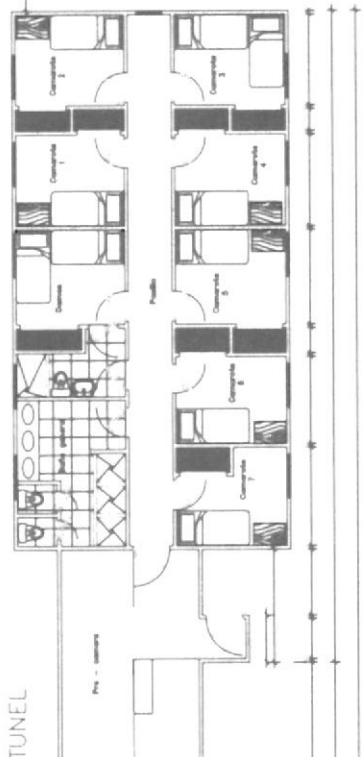


MODULO GENERADORES

MODULO ESTAR TRABAJO

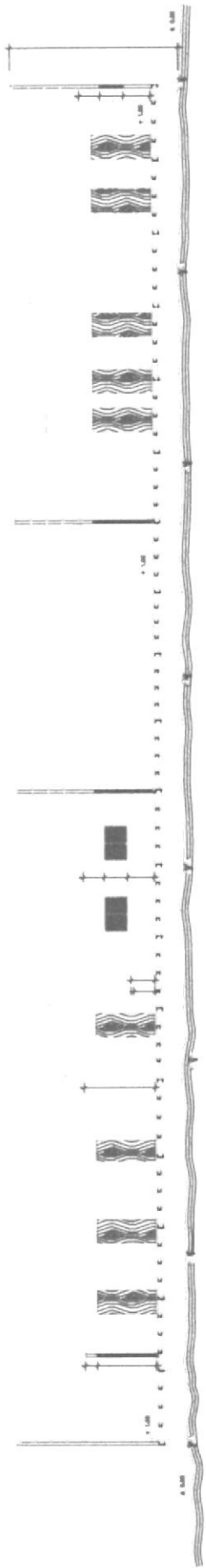


TUNEL



MODULO HABITACIONAL

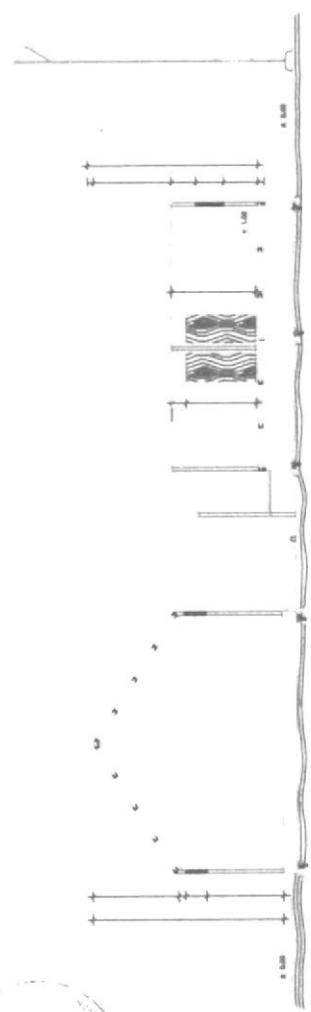
	REPÚBLICA DEL ARGENTINA PROGRAMA ANTITRÁFICO INSTITUTO NACIONAL DE DROGAS	ESTADÍSTICA PEDRO VICENTE MALDONADO	100	100	100
100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	100



SECCION 1 - 1

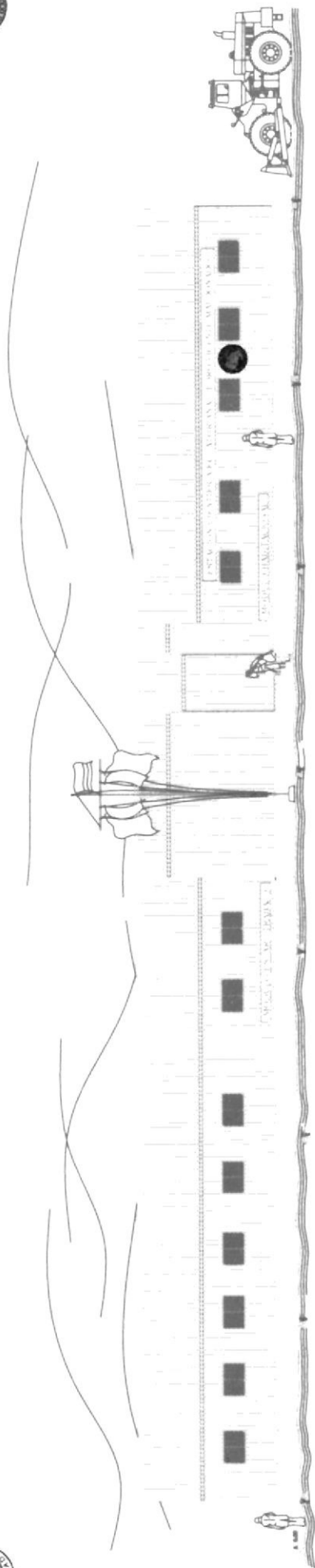


CIB-ESPOL

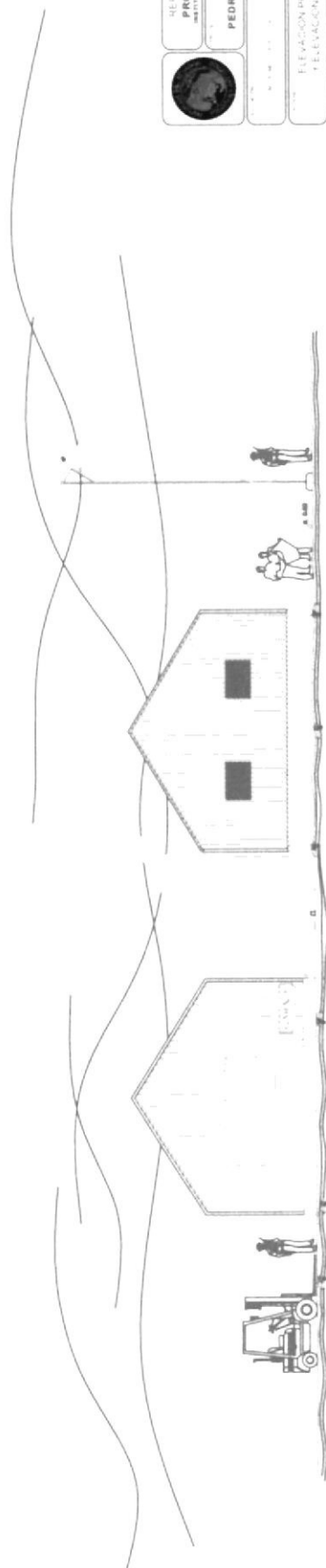


SECCION 2 - 2

	DIRECCIÓN DEL EJECUTOR PROGRAMA ANTARTICO INSTITUTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS DE LA ARMADA	
	AUTOR DEL DISEÑO PEDRO VICENTE MALDONADO	
PLANO DE ARQUITECTURA SECCIONES 1, 2, 3		ESCALA 1:100
FECHA 1960		HOJA A 2/3



ELEVACION PRINCIPAL



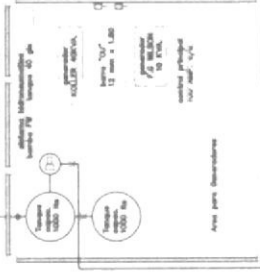
ELEVACION LATERAL

[illegible]



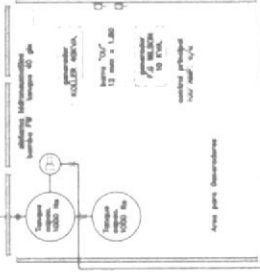
MODULO GENERADORES

MODULO GENERADORES



MODULO HABITACIONAL

MODULO HABITACIONAL

At our meetings members of the $\mathbb{R}^n$ and $\mathbb{C}^n$ [illegible]



VISION Rechargeable Products Sealed Lead Acid Battery

www.vision-batt.com

FM Series

General purpose application

VISION FM series are designed for general purpose applications, such as UPS, telecom, electrical utilities.

With 10 years design life, the batteries comply to the most popular international standards, such as IEC896-2, BS6290-4, Eurobat Guide.

The battery container and cover are available both in V0 class flame retardant ABS or HBOABS plastics.

Shenzhen Center Power Tech Co., Ltd. has come to obtain wide recognition from customers all over the world. This is not only due to the fact that our products are featured by reliable stability in quality, but also because we attach great importance to our communication with customers and our perfect understanding of customers' requirements as well.

Shenzhen Center Power Tech. Co., Ltd

6FM75-X 12V 75Ah

(Edition June 2004)

General Features

- Positive and negative plates in lead-calcium-tin alloy
- Stable Quality & High Reliability
- Sealed Construction
- Long Service Life
- Maintenance-Free Operation
- Low Pressure Venting System
- Low Self Discharge
- U. L. Component Recognition
- Six months shelf life at 20°C
- Design life 10 years



Dimensions and Weight

	SI Units	English Units
Length	258mm	10.2inch
Width	166mm	6.54inch
Height	206mm	8.11inch
Total Height	215mm	8.46inch
Approx. Weight	24.0Kg	52.9lbs

Performance Characteristics

- Nominal Voltage 12V
- Number of cell 6
- Nominal Capacity 77°F(25°C)
 - 10 hour rate (7.50A, 10.8V) 75.0Ah
 - 5 hour rate (13.5A, 10.5V) 67.5Ah
 - 1 hour rate (50.2A, 9.60V) 50.2Ah
- Internal Resistance
 - Fully Charged battery 77°F(25°C) 5.7mOhms
- Self-Discharge
 - 3% of capacity declined per month at 20°C(average)
- Operating Temperature Range
 - Discharge -20~60°C
 - Charge -10~60°C
 - Storage -20~60°C
- Max. Discharge Current 77°F(25°C) 700A(5s)
- Short Circuit Current 1800A
- Charge Methods: Constant Voltage Charge 77°F(25°C)
 - Cycle use 14.4-14.7V
 - Maximum charging current 22.5A
 - Temperature compensation -30mV/°C
- Standby use 13.6-13.8V
 - Temperature compensation -20mV/°C



Center Power Industrial Park, Tongfu Industrial District Dapeng Town, 518120 Shenzhen, China
Tel: 86 755 84318088 Fax: 86 755 84318038 E-mail: sales@vision-batt.com
Website: <http://www.vision-batt.com>

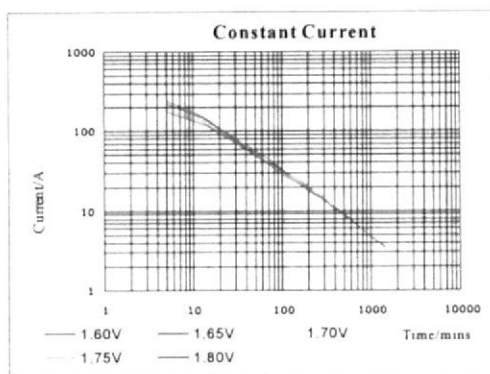
6FM75-X 12V 75Ah

Discharge Data

Constant Current Discharge Data (Amperes at 25°C)																									
End Voltage Per cell / V	5min	10min	15min	20min	25min	30min	35min	40min	45min	50min	55min	1h	1.5h	2h	2.5h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	12h	24h
1.60	240	178	137	109	92.9	81.8	73.2	66.7	61.7	57.1	53.4	50.2	36.0	28.9	24.6	21.8	17.1	14.3	12.1	10.5	9.33	8.41	7.67	6.54	3.52
1.65	222	169	131	104	88.8	78.3	68.9	61.9	56.4	52.8	49.9	47.5	34.5	27.9	24.0	21.4	16.8	14.1	12.0	10.4	9.26	8.37	7.65	6.51	3.50
1.70	206	158	122	99.4	86.0	77.0	67.6	60.5	55.0	51.8	49.1	46.9	33.9	27.5	23.6	21.0	16.6	13.9	11.8	10.3	9.18	8.30	7.60	6.46	3.48
1.75	195	151	117	96.1	83.4	73.6	65.9	59.0	53.7	50.3	47.6	45.3	33.0	26.8	23.1	20.6	16.2	13.5	11.5	10.1	9.04	8.21	7.55	6.42	3.46
1.80	180	139	112	92.6	80.9	73.1	64.6	58.3	53.3	49.3	46.1	43.4	31.6	25.7	22.2	19.8	15.7	13.3	11.4	9.99	8.95	8.14	7.50	6.38	3.43

Constant Power Discharge Data (Watts per cell at 25°C)																									
End Voltage Per cell / V	5min	10min	15min	20min	25min	30min	35min	40min	45min	50min	55min	1h	1.5h	2h	2.5h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	12h	24h
1.60	413	314	246	202	175	158	142	129	120	110	102	95.7	67.9	54.1	45.7	40.2	31.8	26.8	22.9	20.1	18.0	16.4	15.1	12.8	6.90
1.65	403	300	241	197	170	153	138	127	118	108	100	93.6	66.4	52.8	44.6	39.2	31.3	26.6	22.6	19.8	17.7	16.0	14.7	12.5	6.74
1.70	375	290	237	191	163	145	131	120	111	103	95.7	89.8	64.4	51.6	44.0	38.9	30.8	26.0	22.1	19.4	17.3	15.7	14.4	12.3	6.61
1.75	356	274	223	183	158	142	129	119	111	101	93.2	86.5	62.4	50.3	43.1	38.3	30.6	26.0	22.1	19.3	17.2	15.5	14.2	12.0	6.48
1.80	341	261	212	176	155	141	126	115	106	97.5	90.3	84.2	61.1	49.6	42.6	38.0	30.4	25.8	21.8	18.9	16.8	15.1	13.8	11.7	6.30

Performance drawings



CIB-ESPOL

