

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

**“Factibilidad de uso de la energía eólica para desalinizar
agua de mar en la Bahía de Todos Santos, Baja
California, México”**

TESIS

que para obtener el título de

OCEANÓLOGO

presenta

SOFÍA GÓMEZ VALLARTA

Ensenada, B.C.

Enero de 1999

Resumen

Se analizaron 5 años de registros de rapidez del viento obtenidos con una estación meteorológica AANDERA colocada en el área de Punta Morro, Bahía de Todos Santos, con el objetivo de evaluar la factibilidad de uso de energía eólica para desalinizar agua de mar. Se calcularon distribuciones de frecuencias con el fin de obtener las probabilidades de ocurrencia del viento. Se calculó un hodógrafo para determinar las horas del día en las que el viento sopla con mayor intensidad, con el fin de restringir un horario en el que se obtenga una producción eficiente tanto de energía como de agua. Se realizó una investigación de tecnologías de energía eólica y de ósmosis inversa; analizando las especificaciones técnicas y los resultados obtenidos se decidió, para ambos casos, cuáles podrían ser las más eficientes para el área de estudio. En los años de registro se encontró que la mayor probabilidad de ocurrencia del viento es para una velocidad de 1.5 m/s, con una probabilidad igual a 17.81%. El horario en el que se presentaron los vientos más intensos fue entre las 11:00 y las 18:00 horas. La turbina que trabaja más eficientemente, con el viento analizado, resultó ser una turbina tipo WT6000 de *Proven Engineering Products Ltd.* Asimismo el sistema de ósmosis inversa que trabaja más eficientemente resultó ser del tipo *Little Wonder* de *Village Marine Tec.* Para determinar las producciones de energía y de agua potable, se analizó el año de 1992 por ser el que presentó un mejor registro y las mayores intensidades de viento. Utilizando la turbina más eficiente es posible producir una cantidad igual a 22,462.4 watts/año; y con ésta misma es posible producir 23,298.6 galones de agua potable al año por ósmosis inversa.

"Factibilidad de uso de la energía eólica para desalinizar agua de mar en la Bahía de Todos Santos, Baja California , México."

Tesis que presenta:

Sofía Gómez Vallarta

Aprobada por:



Presidente del Jurado
M.C. Ana Luz Quintanilla Montoya



Sinodal
M.C. Sergio Larios Castillo



Sinodal
M.C. Oscar Delgado González

DEDICATORIA

A mis padres.
Ma. Del Rocío y Jesús.

A mis hermanos.
Pablo y Marichu.

A mis maestros.

A mis amigos.

A Alex.

AGRADECIMIENTOS.

A Dios.

A mis padres, por haberme apoyado durante el tiempo que viví con ellos, y durante mis estudios profesionales.

A Alex, por su amor, su paciencia y por haberse quemado las pestañas conmigo durante varias horas de estar sentados frente a la computadora.

A mis profesores por su paciencia y por haber compartido su conocimiento conmigo y con mis compañeros.

A mi asesora Ana Luz Quintanilla por el apoyo económico proporcionado por medio de los proyectos 4078-20 "Fuentes Alternas de Energía de Baja California" de la Universidad Autónoma de Baja California y 4343P del CONACYT; le agradezco también su amistad, y por haberme apoyado en momentos difíciles.

Al M.C. Oscar Delgado González y al Dr. Affonso Da Silveria Mascarenhas por haber facilitado los datos para realizar el presente estudio.

A mis sinodales Sergio Larios y Oscar Delgado. A través de su paciencia pude apreciar el amor que tienen a su profesión y a la docencia.

A Eduardo Gil, por su amabilidad.

A Chelo Valle por sus porras y su cariño.

A Antonio Trujillo por la asesoría brindada para el tratamiento estadístico de los datos.

Al personal de la Revista Ciencias Marinas, por su paciencia y apoyo.

A mis compañeros de generación. Conviviendo con ellos aprendí a valorar la importancia de trabajar en equipo.

A todos mis amigos, pues ellos han sido mi familia durante los años de estudio en Ensenada.

Al Juanjo, y no solo porque me pidió que lo incluyera en los agradecimientos, sino por su amistad, y su asesoría.

INDICE GENERAL

Pag.

Resumen.....	i
Página de aprobación.....	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos.....	iv
Indice General.....	v
Indice de tablas.....	vi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	5
III. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	7
IV. OBJETIVOS.....	9
V. METODOLOGIA.....	10
VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	15
VI.1 Análisis Estadístico.....	15
VI.2 Turbinas Eólicas.....	19
VI.3 Energía calculada.....	19
VI.4 Sistemas de desalinización.....	21
VI.5 Costos.....	24
VII. CONCLUSIONES.....	26
VIII. RECOMENDACIONES	27
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	28

INDICE DE TABLAS.

	Pag.
Tabla I. Registro de datos.....	10
II. Ejemplo del cálculo para la obtención de energía.....	12
III. Ejemplo de la producción de energía en horario restringido.....	13
IV. Especificaciones técnicas del sistema de ósmosis inversa modelo <i>Little Wonder</i>	21
V. Especificaciones técnicas del sistema de ósmosis inversa modelo <i>Energy Miser</i>	22
VI. Especificaciones técnicas del sistema de ósmosis inversa modelo <i>Energy Miser</i>	22
VII. Producción de agua.....	23
VIII. Costos de los sistemas convertidores de energía eólica.....	24
IX. Costos de los sistemas de ósmosis inversa.....	24

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Localización del área de estudio.....	8
2. Histograma de datos sin corregir.....	16
3. Histogramas de A) Primavera, B) Verano, C)Otoño y D)Invierno	17
4. Histograma de de todo el periodo de medición.....	18
5. Comportamiento típico del viento durante un día.....	20

I. INTRODUCCIÓN

“Los océanos contienen el 97% del agua en el mundo, pero ésta no es apta para el consumo humano debido al gran contenido de sales que tiene disueltas “(Lewit, 1985).

En nuestro planeta existen zonas áridas que no poseen reservas naturales de agua dulce para abastecer a las comunidades que existen en éstas, un ejemplo de ello es el estado de Baja California, en el cual encontramos comunidades que se han establecido en zonas donde el recurso no se encuentra disponible. Gran parte de éstas se asientan en la zona costera en donde el agua salada de los océanos pudiera ser una respuesta a sus necesidades.

La disponibilidad de agua en Baja California depende de la existencia de pozos y acuíferos; cuando no hay disponibilidad de ninguno, es necesario transportar el recurso en barriles y/o contenedores para abastecer a las comunidades rurales. El transporte del recurso trae consigo altos costos tanto económicos como energéticos.

En la parte norte del estado de Baja California, comúnmente llueve en los meses de invierno. Esto no sucede con regularidad puesto que el clima característico es cálido y seco; aún así, cuando se presentan lluvias, los escasos arroyos y lagos se secan al cesar las mismas, permaneciendo así por largas temporadas (Wiggins, 1980).

En las regiones rurales de Baja California el agua de mar podría ser un recurso importante para el abastecimiento de agua dulce, sin embargo, para su uso necesita ser sometida a procesos de desalinización.

Las técnicas para desalar presentan las siguientes ventajas: son aplicables a toda el agua que se encuentra sobre o debajo de la superficie terrestre que presente un alto grado de minerales. Se elimina la necesidad de transportar agua, se puede producir agua pura, elimina las necesidades de otro tipo de tratamientos los cuales generalmente son caros (Levine, 1968).

Una de las técnicas para desalinizar agua de mar que ha funcionado con éxito es la ósmosis inversa (O.I.), la cual es costeable debido a la eficiencia del uso de la energía durante el proceso (Unione *et al*, 1980). La O.I. opera de la misma forma que la ósmosis; solamente es necesario ejercer una presión mayor a la presión osmótica que regula el proceso natural, para hacer que el fluido se transporte del medio más concentrado al menos concentrado.

En el presente, la energía que se utiliza en los procesos de desalinización se produce a partir de la combustión de hidrocarburos, los cuales se consideran una fuente de contaminación al medio ambiente.

La ósmosis inversa puede funcionar con energía del viento, ya que los requerimientos básicos de la misma son compatibles con la potencia producida por las

turbinas de viento que se han desarrollado durante los últimos veinte años (Unione *et al*, 1980; Habali and Saleh, 1994).

En Baja California existe la posibilidad de utilizar la energía proveniente de sol (Huacuz, 1995), viento (Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, 1996) y oleaje (Cerca Martínez, 1995). A estas fuentes renovables de energía, entre otras, se les ha denominado "Fuentes alternas de energía".

El proponer hacer uso de fuentes alternas de energía, descarta la posibilidad de que el medio ambiente sufra impactos negativos importantes - como sucede con la quema de hidrocarburos -, y ofrece otras bondades.

El uso de la energía eólica también presenta ventajas: es uno de los recursos naturales más abundantes, es renovable, no contamina, es accesible universalmente y es gratis. Si se pudiera extraer el 10% de la energía global del viento, sería posible abastecer de energía los requerimientos básicos del planeta slo con viento (Rodale, 1982).

En éste trabajo, se evalúa la factibilidad de utilizar un sistema para desalinizar agua de mar el cual está constituido de una turbina eólica, una bomba y un sistema de ósmosis inversa . Para tal fin se analiza la cantidad de energía teórica que es posible extraer del viento haciendo uso de ocho diferentes turbinas. Se utilizaron datos horarios de velocidad de viento para obtener dicha energía. El sistema analizado se propone como una opción viable para resolver el problema de escasez de agua dulce, si se utiliza un horario restringido de las 11:00 a las 18:00 horas, intervalo en el cual los

vientos soplan con suficiente intensidad para producir la energía necesaria para hacer funcionar un sistema de O.I. Situación importante para las comunidades rurales que no se encuentran incluidas en las redes de abastecimiento de electricidad.

II. ANTECEDENTES

Las técnicas para desalinizar agua de mar son ancestrales, datan del siglo IV a. C. cuando los navegantes griegos utilizaban la evaporación para obtener agua potable (Bates, 1995).

Algunas naciones como Arabia Saudita y Malta, desalan agua de mar para producir agua potable para consumo doméstico, público e industrial. Existen hospitales, hoteles, maquiladoras, barcos, veleros, etc., alrededor del mundo que utilizan la tecnología de desalinización. En los últimos cinco años se han realizado investigaciones científicas en países como Australia, Jordania, Egipto y Canadá para la obtención de agua mediante éste proceso y utilizan fuentes alternas de energía para tal fin.

Se dice que los antiguos egipcios y minoans del Atlántico, utilizaban máquinas de viento hace 4000 años; los persas utilizaron un molino de viento con eje vertical para moler granos en el año 700 a. C. En Babilonia aparentemente se utilizaba la energía del viento en el siglo XVII antes de nuestra era. Los molinos de viento medievales son llevados de Europa a China en el 1200 a. C. En Europa el molino más antiguo reportado se encuentra en Arles (sur de Francia) y data del año 1105. En 1893 se utilizó en Dinamarca la generación de energía eléctrica mediante el viento. (Charlier y Justus, 1993).

Se han realizado escasos estudios que demuestren que es factible utilizar energía eólica para desalinizar agua de mar. Unione (*et al.*, 1980), propone un análisis

en donde evalúa la ósmosis inversa para desalinizar agua de mar con salinidades medias, haciendo uso de la energía del viento para producir agua potable.

Martin (1982) encontró que las localidades del Golfo Árabe en donde el viento sopla con rango de velocidad media anual entre 2.7 y 5.4 m/s, son adecuadas para colocar bombas de irrigación, generadores eléctricos o bien pequeñas plantas desaladoras de agua de mar que utilicen un sistema de O.I.

Radhwan (1994) investigó el potencial de la energía del viento en áreas remotas de Arabia Saudita. Indica que puede ser viable económicamente colocar una pequeña turbina (2 – 6 Kw) en áreas remotas, y que la energía producida es posible utilizarla para hacer funcionar pequeñas unidades de ósmosis inversa con el fin de desalinizar agua.

Habali y Saleh (1994) proponen un sistema de ósmosis inversa que funciona únicamente con la energía producida por un convertidor de energía eólica con el fin de desalinizar agua del subsuelo que presenta una gran cantidad de sólidos totales disueltos. Realizaron también un análisis económico preliminar y demostró que los costos son inferiores a los involucrados en sistemas que utilizan diesel como fuente energética.

No existen estudios referentes a la evaluación del potencial energético del viento como fuente alterna de energía en la Bahía de Todos Santos; es por eso que este estudio intenta contribuir en el conocimiento para la posible explotación futura del recurso eólico en Baja California, específicamente en el área de Punta Morro, Bahía de Todos Santos, por ser el sitio en el cual existe disponibilidad de registros.

III. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

La Bahía de Todos Santos se encuentra localizada en la parte noroccidental de la península de Baja California entre los $31^{\circ}44' N$ y $31^{\circ}54' N$ y $116^{\circ}37' W$ y $116^{\circ}45' W$. Es una Bahía abierta con forma de herradura que cubre un área aproximada de 180 km². Al norte se encuentra limitada por Punta San Miguel, al sur por Punta Banda, y al oeste por las Islas Todos Santos (Figura 1).

Las aguas de la bahía son poco profundas; cerca del 80% del área del fondo se encuentra a menos de 50 m. (Alvarez Sanchez, 1971)

El clima de la región es de tipo Mediterráneo, las características del mismo son controladas por un centro de alta presión semipermanente que se localiza en el Pacífico Norte Subtropical, el cual se intensifica en verano migrando hacia el norte y se debilita en el invierno (US, Navy, 1983).

La costa en Punta Morro se encuentra orientada en sentido NW-SE de tal manera que la brisa generada, perpendicular a la interfase mar - tierra es predominantemente SW (brisa marina) y NE (brisa terrestre); lo que se refleja en la variación diurna que se observa en las componentes u y v del viento. (Pares Sierra, 1981). Una excepción importante ocurre durante el fenómeno conocido como condición de Santana que se caracteriza por vientos provenientes del Este y que se presentan en ésta zona principalmente entre octubre y enero (Alvarez Sanchez, 1977).

Para una mejor comprensión del comportamiento de las brisas, se recomienda consultar Neshyba (1987).

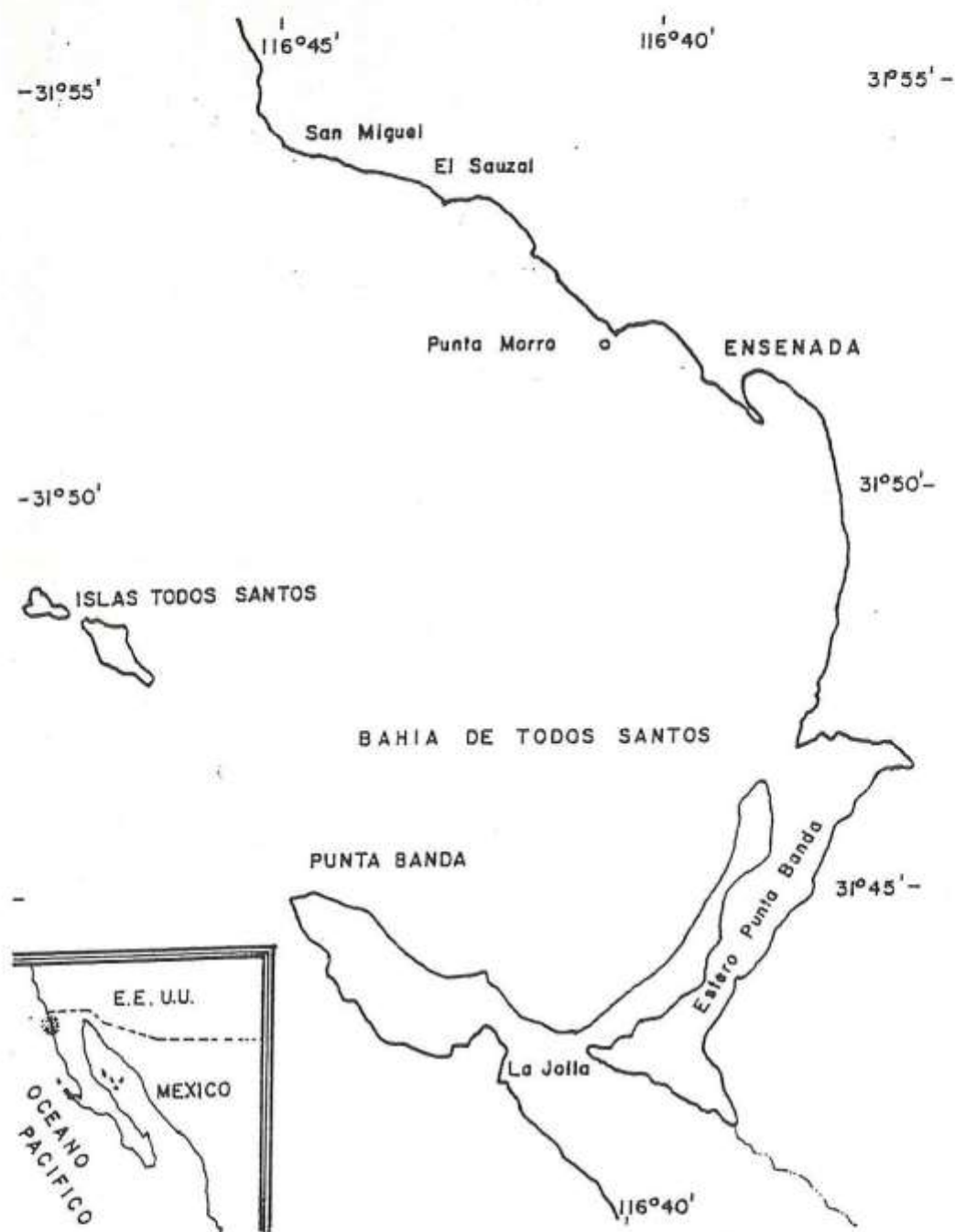


Figura 1. Localización del Area de Estudio. (Tomada de Aguilar Rosas, 1982).

IV. OBJETIVO

Evaluar la factibilidad de uso de la energía eólica para desalinizar agua de mar, en Punta Morro, Bahía de Todos Santos, Baja California, México.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Calcular la probabilidad de ocurrencia del viento utilizando distribuciones de frecuencia.
- Calcular la energía que es posible producir a partir del viento con base en las probabilidades calculadas y en las especificaciones técnicas de las turbinas de viento .
- Calcular la cantidad de agua que es posible producir con base en la energía calculada y las especificaciones técnicas de los sistemas de ósmosis inversa.
- Incluir los costos de las tecnologías analizadas

V. METODOLOGÍA

Los datos de rapidez de viento que se utilizaron fueron proporcionados por el personal de la División de Oceanografía Física del Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California. Los datos obtenidos pertenecen a los años de 1992 - 1995 y 1997 con una estación meteorológica AANDERAA. El año de 1996 no se incluye pues no existe registro de datos meteorológicos para ese año. Esta estación mide velocidad y dirección del viento, cada hora, a una altura aproximada de 10 metros sobre el nivel del mar.

Los datos se ordenaron por estaciones del año. En la tabla 1, se muestran los días de medición en los cuales se obtuvo registro.

Tabla I. Registro de datos.

	1992	1993	1994	1995	1997
Enero	C	12	C	C	1 - 7, 17 - 27
Febrero	C	C	22 - 28	C	5, 6, 8 - 10, 17 - 19, 23
Marzo	C	24 - 31	F	C	23-24,30
Abril	25, 27 -30	1 - 13	F	C	11 - 14, 6, 27
Mayo	C	29 - 31	F	C	3
Junio	C	F	C	C	15
Julio	C	F	C	7 - 10	3 - 7,31
Agosto	C	F	C		1
Septiembre	14	F	19 - 30	18 - 19	7 - 9, 20 - 21,26-28
Octubre	C	F	1 - 6	C	C
Noviembre	C	F	C	C	C
Diciembre	C	1 - 15	C	C	C

Para la tabla I, - = no hay registro de datos, C = mes completo, # = un día sin registro.

Uno de los métodos utilizados para estimar la cantidad de energía que es posible extraer del viento, es el propuesto por Habali y Saleh (1994); para realizar dicha estimación se debe calcular la distribución de frecuencias de la velocidad del viento del sitio de interés (en este caso Punta Morro, Bahía de Todos Santos), y se debe contar con las especificaciones técnicas de la turbina eólica que se pretenda utilizar. La cantidad de energía teórica que es posible producir se obtiene multiplicando la cantidad de energía que la turbina puede producir para una determinada rapidez del viento (dato proporcionado por el fabricante de la turbina), por la probabilidad de ocurrencia del viento estimada asociada a dicha rapidez.

Debido a lo mencionado en el párrafo anterior, se calcularon las distribuciones de frecuencia del viento con el fin de conocer las probabilidades de ocurrencia del viento que sopla en Punta Morro, Bahía de Todos Santos.

Para la obtención de la información sobre las especificaciones tecnológicas de distintas turbinas eólicas, se realizó una búsqueda en bancos de información de las compañías que los fabrican, para que por medio de ellas se tuviera acceso a especificaciones técnicas de los aparatos que fabrican.

La información que se buscó debía contener las siguientes especificaciones: rapidez a la cual comienzan a girar las aspas de la turbina, rapidez a la cual la turbina comienza a enviar energía eléctrica (watts), energía máxima que es posible generar, rapidez a la cual se produce la energía máxima, curva de energía de las turbinas y la tabla de datos para generar la curva de energía.

La energía que es posible producir con las turbinas analizadas se calculó, como ya se mencionó, a partir de los datos para generar las curvas de energía proporcionadas por el fabricante y la probabilidad de ocurrencia de la rapidez del viento estimada. Por ejemplo, en la tabla II, podemos observar las especificaciones técnicas de una turbina tipo *WT 2500* de *Proven Engineering Products Ltd.*, las probabilidades de ocurrencia del viento de un sitio hipotético y la cantidad de energía que es posible producir.

Tabla II. Ejemplo del cálculo para la obtención de energía.

Marca de clase (m/s)	Energía producida (watts)	Probabilidad de ocurrencia del viento	Energía producida para cada marca de clase (watts/hr)
1	0	0.0021	0
2	0	0.1773	0
3	59	0.1246	7.3514
4	178	0.0492	8.7576
5	357	0.0322	11.4954

Las dos primeras columnas de la tabla II muestran las especificaciones técnicas de la turbina; la cuarta columna se obtuvo multiplicando la columna 2 por la columna 3.

Lo anterior se hizo para cada una de las cuatro turbinas seleccionadas, para cada estación y para todo el período de medición.

El viento en Punta Morro se encuentra fuertemente influenciado por un régimen de brisas cuyas intensidades adquieren sus máximos valores a las horas del medio día (Pares Sierra, 1981; Pavía López 1979; Pavía López y Reyes Coca 1983). De los años analizados, la serie de tiempo de 1992, es la más completa. Con el propósito de

identificar las horas en que se encuentran dichos valores, y determinar un horario de máxima rapidez del viento, se analizaron los datos de velocidad del viento haciendo uso de hodógrafos (Delgado González, 1994).

Para determinar la cantidad de energía que se puede producir en el horario restringido, se utilizaron los datos obtenidos con el hodógrafo y se buscó la cantidad de energía asociada a dicha velocidad, de acuerdo con las especificaciones técnicas de las turbinas. Por ejemplo, si a las 14:00 horas de un día representativo del mes de mayo, se midieron 4.57 m/s, se busca en la tabla II la cantidad de energía que se puede producir para la marca de clase igual a 4 m/s (la marca de clase es un intervalo que va de 4 a 5 m/s), se observa que el valor es igual a 178 watts/hr. A partir del cálculo anterior se obtuvieron datos similares a los que se muestran en la tabla III.

Tabla III. Ejemplo de la producción de energía para horario restringido (watts).

Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril
11:00	125	125	350	125
12:00	125	350	350	465
13:00	350	465	125	465
Suma	600	940	825	1,055

Posteriormente se sumaron los valores de energía correspondientes a todas las horas incluidas en el horario restringido, de cada mes, como se observa en el último renglón de la tabla III; lo anterior se hizo con el fin de elegir la turbina más eficiente de acuerdo con los datos utilizados en el presente estudio.

Por otro lado se buscaron las especificaciones técnicas de distintas tecnologías de ósmosis inversa disponibles en el mercado local.

Se realizó un análisis de las especificaciones técnicas de los sistemas de O.I. encontrados y se determinó cuál de ellos puede producir el mayor volumen de agua con el menor requerimiento energético.

El siguiente ejemplo ilustra la forma en la que se calculó el volumen de agua que es posible producir con la turbina eólica elegida y con el sistema de O.I. elegido:

Supongamos que se eligió un sistema de O.I. tipo *Energy Miser*, el cual requiere de 246.18 watts para operar y produce 5 galones/hr. Al requerimiento energético del sistema se le suma un factor de seguridad del 10% de su valor debido a las pérdidas de energía por fricción (Sergio Larios, 1998; comunicación personal) igual a 24.618, en éste caso. Al valor obtenido, se le suman 48 watts que se requieren para bombear el agua de mar, obteniéndose una cantidad igual a 318.798 watts.

Para conocer el volumen de agua que es posible producir, es necesario saber el número de horas que el sistema puede operar; para conocer éste número, se divide la suma de watts/hr obtenidas en un mes, por ejemplo febrero (de la tabla III), que es de 940 watts/hr, entre el total de watts que se requieren para que el sistema opere (318.798 watts). En este caso, en el mes de febrero, el sistema operaría solamente durante 2.94 horas. El número de horas se multiplica por 5 gal/hr, que es la capacidad de producción del sistema de O.I., para obtener el volumen de agua que es posible producir, es decir, 14.70 galones por día.

Por último, se investigaron los costos de las tecnologías utilizadas en el estudio, y se calculó el costo del sistema que resultó ser el más eficiente.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES

VI.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Al procesar los datos crudos de rapidez de viento, se obtuvieron histogramas como el que se muestra en la figura 2. La distribución obtenida en dicho histograma no corresponde con la forma típica de la distribución de Weibull, la cual es comúnmente utilizada para el procesamiento de datos de velocidad del viento (Pavía E.G. y J.J. O'Brien, 1986; Habali and Saleh, 1994).

Se observa que el valor de porcentaje para la segunda marca de clase es extremadamente alta. Al analizar los datos de la marca de clase anómala, se observó que existía un gran número de datos iguales a 0.4. Al eliminar estos datos se corrigió el error, por lo cual se asumió que el valor igual a 0.4 representa un error de medición del aparato. (Eduardo Gil, 1998; comunicación personal).

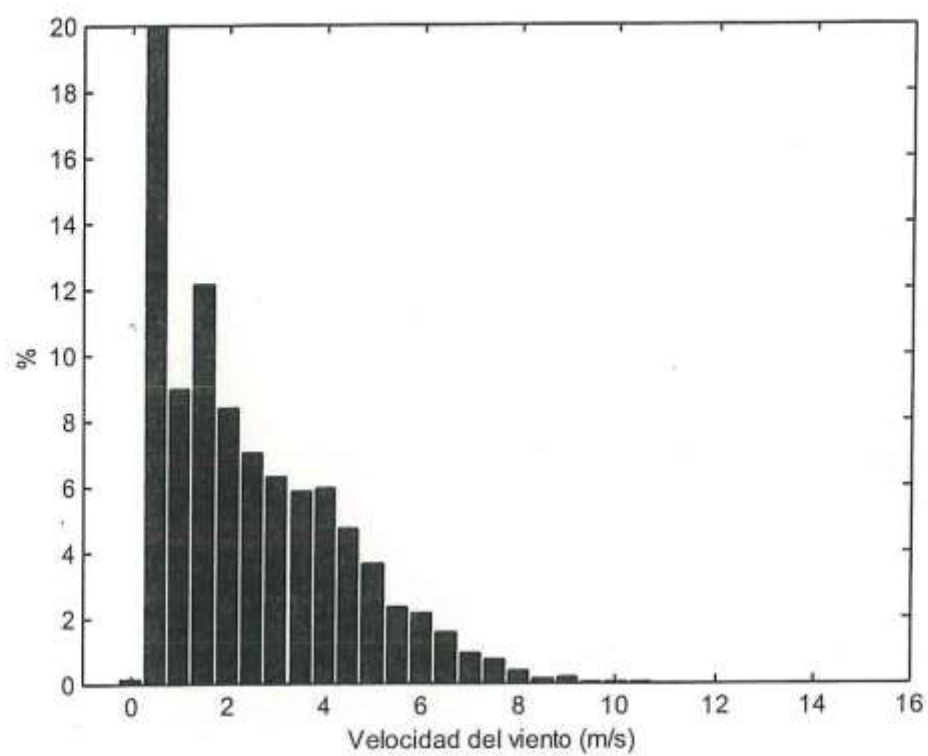


Figura 2. Histograma de datos sin corregir.

En la figura 3 se muestran los histogramas por estación para todo el periodo de medición (1992 - 1995 y 1997). En la figura 3.A se observa que la mayor probabilidad de ocurrencia del viento se presentó para las marcas de clase de 1 a 3 m/s, se observa el mismo comportamiento en las demás figuras (3.B, 3.C y 3.D)

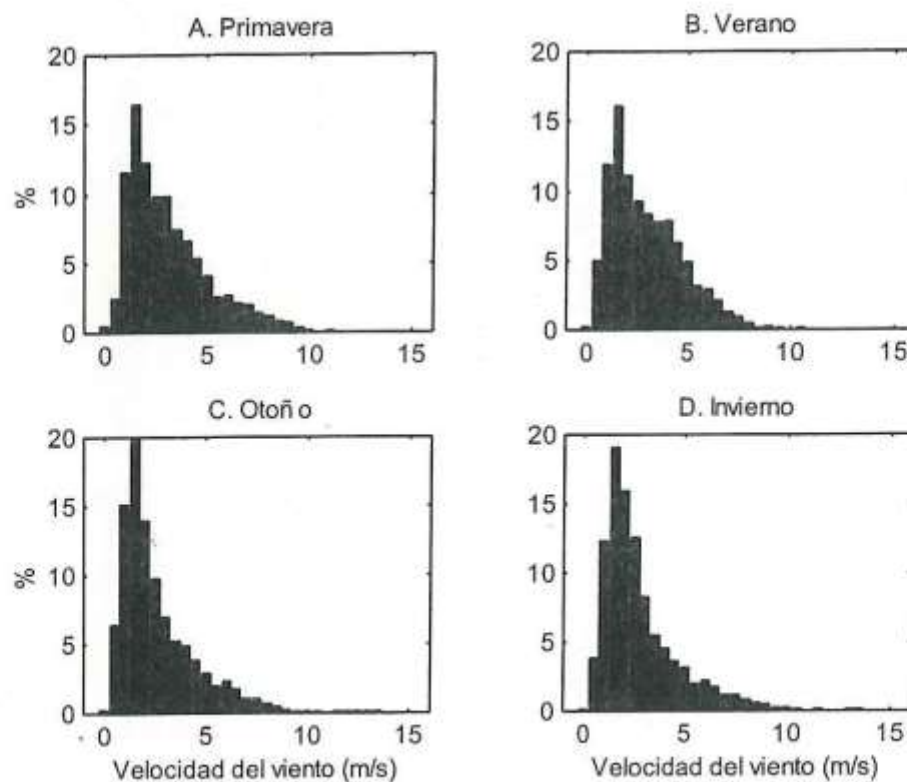


Figura 3. Histogramas de A) Primavera, B) Verano. C) Otoño e D) Invierno

En la figura 4, podemos observar que la mayor probabilidad de ocurrencia del viento se presentó a los 1.5 m/s, en todo el periodo de medición y para todas las estaciones del año

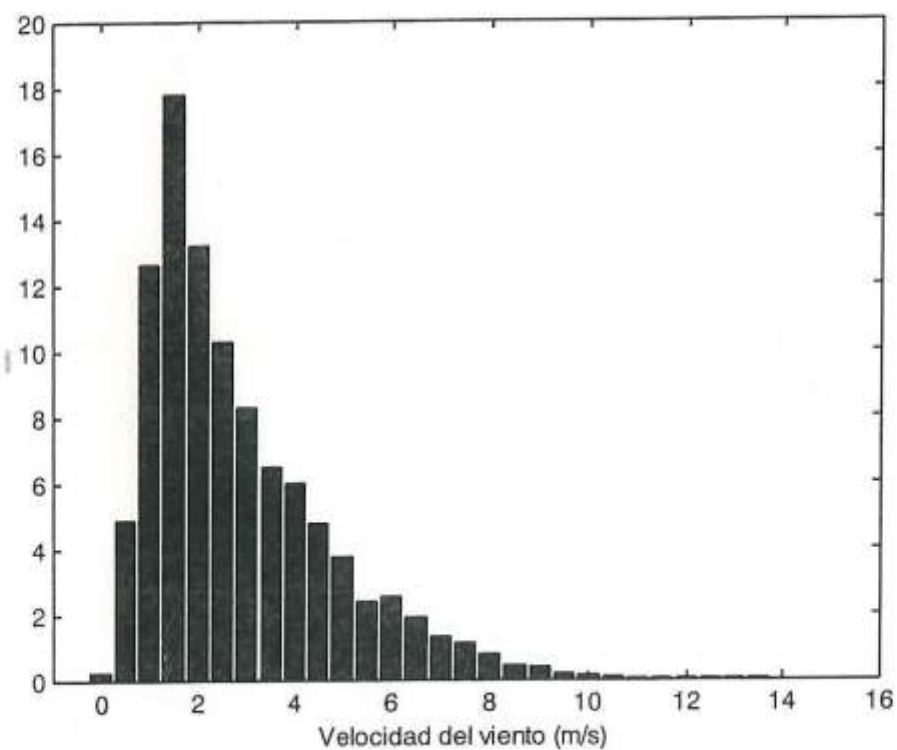


Figura 4. Histograma de todo el periodo de medición.

VI.2 TURBINAS EÓLICAS.

Las siguientes compañías enviaron información sobre las turbinas que fabrican:

- A) *Bergey Windpower Co. (BWC)* .Esta compañía se encuentra ubicada en los Estados Unidos de Norteamérica. Nos enviaron información de tres turbinas: *BWC 850, BWC 1500 y BWC EXCEL.*
- B) *G.P. & G.F. Hill Pty.Ltd.* Compañía australiana la cual nos envió información sobre tres turbinas: *Light wind model 2.5 Kw, Light wind model 10 Kw y Standard model 10 Kw.*
- C) *Proven Engineering Products Ltd.* Estos fabricantes se ubican en Escocia, nos enviaron información sobre dos turbinas: *WT6000 y WT2500.*

Los datos sobre cada una de ellas se encuentran incluidos en el apéndice A.

VI.3 ENERGÍA CALCULADA

Las cuatro turbinas que pueden trabajar de forma más eficiente resultaron ser turbinas tipo: *BWC EXCEL, WT6000, STD. Model 10 Kw, y LW Model 10 KW* . La cantidad de energía (en watts) que es posible producir con cada una de ellas, se encuentra incluida en el apéndice A. Es posible observar en todas que la energía que es posible generar es baja, de acuerdo con los requerimientos energéticos de los sistemas de ósmosis inversa. La producción máxima calculada, fue con base en los datos de la turbina *WT6000 de Proven Engineering Products Ltd*, durante el verano, con 108.30 watts.

En la figura 5 se observa el comportamiento típico del viento durante el día, estimado con un hodógrafo, cuando éste es influenciado por un régimen de brisas. La curva con los valores más altos, representa el final de la primavera y el verano; la curva intermedia representa los meses de otoño y el primer mes de invierno; y por último, la curva que presenta los valores bajos, representa los últimos meses del invierno y los primeros de la primavera. En la misma figura, también se observa la forma en que varía la velocidad de acuerdo con las horas del día.

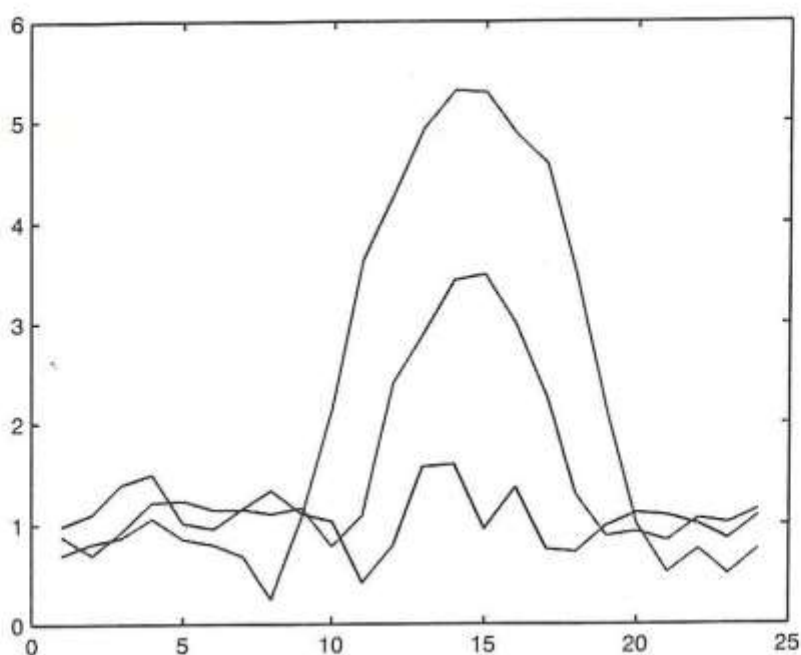


Figura 5. Comportamiento típico del viento durante un día.

El año de 1992 es el que presentó el mejor registró, además es el año en el que se midieron las mayores velocidades durante el periodo, por lo cual este año se eligió para el cálculo de la energía.

El horario en donde los vientos presentaron mayores velocidades durante 1992 fue entre las 11:00 y 18:00 horas. Este comportamiento se observa en la tabla incluida en el apéndice B, en el cual también es posible apreciar las tablas que nos indican la energía producida por las cuatro turbinas que se eligieron, para el horario establecido.

La turbina con la cual fue posible obtener una cantidad mayor de watts fue la turbina tipo WT6000 de *Proven Engineering Products Ltd.*, (ver apéndice 4).

VI.4 SISTEMAS DE DESALINIZACIÓN (POR OSMOSIS INVERSA)

Con base en los resultados obtenidos, se eligieron sistemas de ósmosis inversa disponibles en el mercado local, fabricados por *Village Marine Tec.* En las tablas IV, V y VI se mencionan las especificaciones de los sistemas.

Tabla IV. Especificaciones técnicas del sistema de ósmosis inversa modelo *Little Wonder*.

MODELO	Producción (gal/hr)	Producción (gal/día)	Requerimiento energético (watts)
LW150	5 - 6	120 - 144	186.5
LW200	8.3	200	186.5

Tabla V. Especificaciones técnicas del sistema de ósmosis inversa modelo *Energy miser*.

MODELO	Producción (gal/hr)	Producción (gal/día)	Requerimiento energético (watts)
EM200	8.3	200	373
EM350	14.5	350	559.5
EMB150	6.2	150	246.18
EMB200	8.3	200	373
EMB350	14.5	350	559.5

Tabla VI. Especificaciones técnicas del sistema de ósmosis inversa modelo *The squirt*

MODELO	Producción (gal/hr)	Producción (gal/día)	Requerimiento energético (watts)
SPW200	8.3	200	1,119
SPW400	16.6	400	1,119
SPW600	25	600	1,119
MPW200	8.3	200	1,119
MPW400	16.6	400	1,119
MPW600	25	600	1,119

Estos tres sistemas es posible alimentarlos con una bomba de 48 watts, la cual tiene la capacidad de producir el flujo requerido por los mismos (Sergio Larios ,1988; comunicación personal).

De los sistemas de ósmosis inversa, se eligió el LW200 por ser el que produce mayor volumen de agua, con menor requerimiento de energía.

VI.5 PRODUCCIÓN DE AGUA

Con la turbina tipo *WT6000* de *Proven Engineering Products Ltd*, y con el sistema de osmosis inversa tipo *LW200* de *Village Marine Tec.*, se puede producir la cantidad de agua indicada en la tabla VII. La producción es mensual y está dada en galones por día.

Tabla VII. Producción de agua.

Mes del año	Producción de agua (gal/día)
Enero	--
Febrero	--
Marzo	26.7
Abril	133.4
Mayo	128
Junio	176.1
Julio	85.4
Agosto	85.4
Septiembre	16
Octubre	58.7
Noviembre	16
Diciembre	10.7

Como se mencionó anteriormente, los valores observados en la tabla VII se obtuvieron analizando los datos del año de 1992. Una de las características observadas para dicho año fue que presentó las mayores velocidades de todo el periodo de medición, lo cual significa que para años en los que el viento sople con menor intensidad, no será posible obtener resultados como los que se obtuvieron para dicho año.

VI.6 COSTOS

En las tablas VIII y IX se indican los costos (en dólares) y modelos de las tecnologías que analizó el presente estudio.

Tabla VIII. Costos de los sistemas convertidores de energía eólica

MODELO	COSTO (Dólares)
BWC EXCEL	\$ 28,320
BWC 1500	\$ 8,125
BWC 850	\$ 4,445
Light wind model 2.5 kw	\$ 13,004
Light wind model 10 kw	\$ 33,468
Standard model 10 kw	\$ 33,468
WT6000	\$ 11,550
WT2500	\$ 5,174.4

Tabla IX. Costos de los sistemas de ósmosis inversa.

MODELO	COSTO (Dólares)
Little wonder	
LW150	\$ 3,195
LW200	\$3,695
The squirt	
SPW200	\$ 4,995
SPW400	\$ 5,795
SPW600	\$ 6,695
MPW200	\$ 4,495
MPW400	\$ 5,295
MPW600	\$ 6,195
Energy miser	
EM200	\$ 5,195
EM350	\$ 5,995
EMB150	\$ 3,695
EMB200	\$ 3,895
EMB350	\$ 4,695

La bomba para bombear el agua de mar que alimentará el sistema tiene un costo de 150 dólares (Sergio Larios 1998; comunicación personal).

VIII. CONCLUSIONES.

- La máxima probabilidad de ocurrencia del viento en la región de Punta Morro, Bahía de Todos Santos, se presentó para la marca de clase de 1.5 m/s, con un porcentaje promedio de 17.81%.

- La turbina que produce la mayor cantidad de energía, en el horario restringido, para el año de 1992, es la turbina tipo *WT6000* de *Proven Engineering Products Ltd* con un total de 22,462.4 watts/año.

- Con la turbina elegida y el sistema de ósmosis inversa tipo *LW200*, es posible producir un total de 23,298.6 galones/año. La máxima producción de agua se obtuvo en el mes de junio, con 176.1 galones/día.

- El costo del sistema propuesto, es de 15,395.00 dls.

VII. RECOMENDACIONES.

Se recomienda llevar a cabo estudios en donde se evalúe la utilización de sistemas híbridos, utilizando energía eólica y solar, en la península de Baja California, que extraigan energía tanto del viento como de la radiación solar u oleaje, para obtener así resultados más eficientes.

Implementar una red de estaciones meteorológicas que midan constantemente la velocidad del viento y la radiación solar, entre otras variables, para así poder contar con disponibilidad de datos. Esto es necesario para poder evaluar los potenciales energéticos de éstas fuentes alternas de energía, las cuales son de gran importancia en la península debido al aislamiento en el que se encuentran las comunidades humanas asentadas a lo largo de la costa.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar Rosas, L.E. (1982). Ocurrencia de algas cafés (phaeophyta) en la Bahía de Todos Santos en Baja California. *Ciencias Marinas* 8(2) : 25 – 34.

Alvarez Sánchez (1971). Medición de corrientes superficiales en la Bahía de Todos Santos, B. C. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada B. C. México. 54 pp.

Alvarez Sánchez (1977). Vientos en la Bahía de Todos Santos, Baja California. *Ciencias Marinas*. 4 (1) : 81-89.

Bates Lincoln (1995). Water Issues Prompt New Look at Desalination. *American City & County*. pp. 36 - 48.

Cerca Martínez, Luis Mariano (1995). Evaluación del Potencial de Extracción de Energía Eléctrica a partir del oleaje, como posible fuente alterna en Rosarito, B, C. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas. Ensenada, Baja California. 51 pp.

Charlier R. H., Justus J. R. (1993). Ocean energies: environmental, economic, and technological aspects of alternative power sources. Elsevier. Amsterdam. 534 pp.

Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (1996). Informe de labores 1995. Secretaría de Energía y minas. 63 pp.

Delgado-González O. E, F. J. Ocampo-Torres, Larios-Castillo S. I. (1994). Las brisas durante algunos meses de primavera y el verano en el noroeste del Golfo de California. *Ciencias Marinas* 20 (3) : 421 – 440.

Habali S.M , Saleh I. A. (1994). Design of stand-alone brackish water desalination wind energy system for Jordan. *Solar Energy*. 52 (6) : 525-532.

Huacuz Jorge (1995). Non-fossil fuel based energy sources. In: Energy and Environmental in the California-Baja California Border Region. Edited by: Sweeder A., Ganster

Lewit (1985). Water condensation using ocean thermal energy. Tesis de maestría. Florida Institute of Technology. 110 pp.

Martin, P. (1982). On the potential of wind energy in the Arabian Gulf. Symposium on Environmental Studies in the Arabian Gulf Region, Baharain 9 –12 May, 1982.

Neshyba, Steve (1987). Oceanography: perspectives on a fluid earth. Wiley. New York. P. pp 469 – 475 .

Pares Sierra (1981). Análisis de componentes principales de los vientos superficiales sobre la Bahía de Todos Santos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada B. C. México. 50 pp.

Pavía López (1979). Brisas en la Bahía de Todos Santos, B. C. durante los meses de marzo a agosto 1978. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada B. C. México. 52 pp.

Pavía, E. G., and J.J. O'Brien (1986). Weibull statistics of wind speed over the ocean, *J. Clim. Appl. Meteorol.*, 25: 1324 – 1332.

Pavía E. y Reyes Coca (1983). Variaciones espaciales y estacionales del viento superficial en la Bahía de Todos Santos, B. C. *Ciencias Marinas*. 9 (1): 151-167.

Radhwan A. M. (1994) Wind energy applications in remote areas of Saudi Arabia. *International Journal of Ambient Energy*. 5 (3) : 123 - 130.

Rodale Robert (1982). The new wind power. Penguin. E.U.A. pp. 19-59

Unione A., McLlymont A. et al (1980). Wind Powered Reverse Osmosis for Self Contained Village Applications. A Design Study. In: Proceedings of the International Symposium on Fresh Water from the Sea. (2) : 319 - 330.

U.S., Navy (1983). Climatic study of the southern California operating area near coastal zone. Naval Oceanography Command Detachment. Asheville, NC. 201 pp.

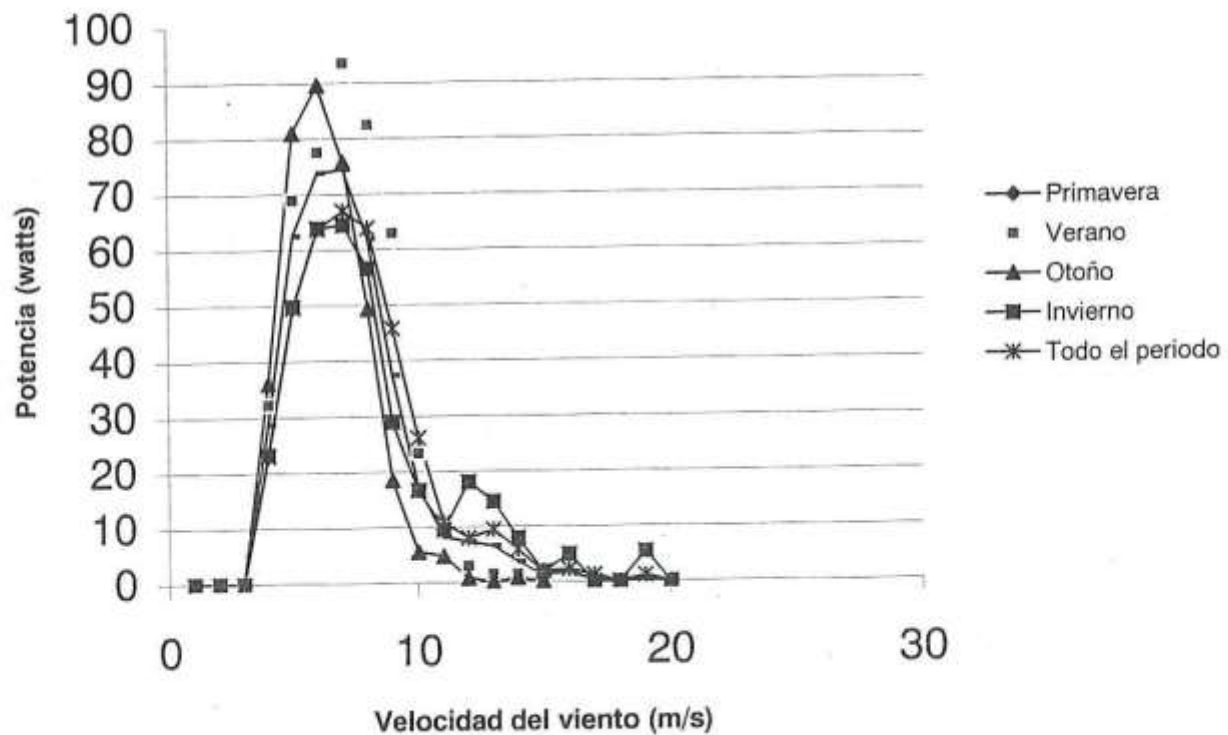
Wiggins, Ira L. (1980) Flora of Baja California. Stanford University Press. E.U.A. 1025 pp.

APENDICE A

BWC EXCEL Datos de la curva de energía

Marca de clase (m/s)	Watts producidos
1	0
2	0
3	0
4	230
5	730
6	1500
7	2310
8	3310
9	4400
10	5557
11	6800
12	7250
13	7250
14	7250
15	6340
16	4530
17	2450
18	2720
19	2720
20	2720

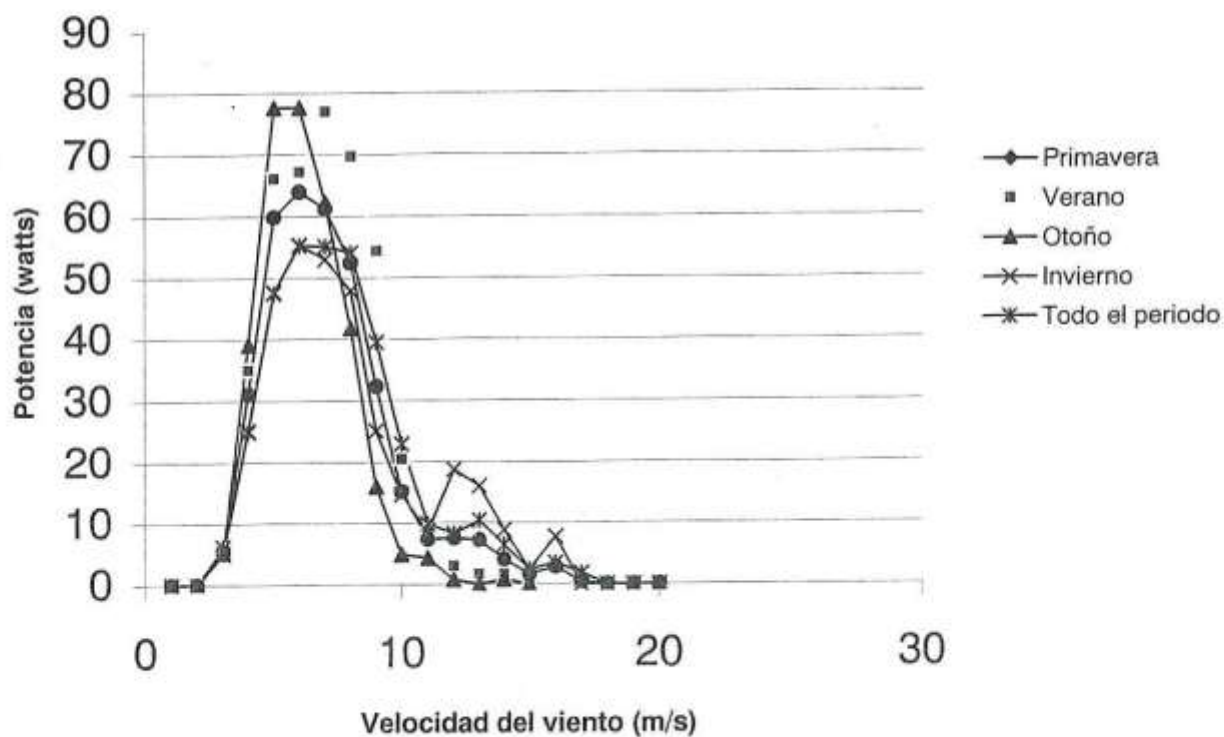
Producción de energía para todas las estaciones y para todo el periodo de medicion.



LW model 10Kw, Datos de la curva de energía

Marca de clase (m/s)	Watts producidos
1	0
2	0
3	30
4	250
5	700
6	1300
7	1900
8	2800
9	3800
10	4880
11	6150
12	7500
13	8000
14	8000
15	8000
16	7000
17	3500
18	0
19	0
20	0

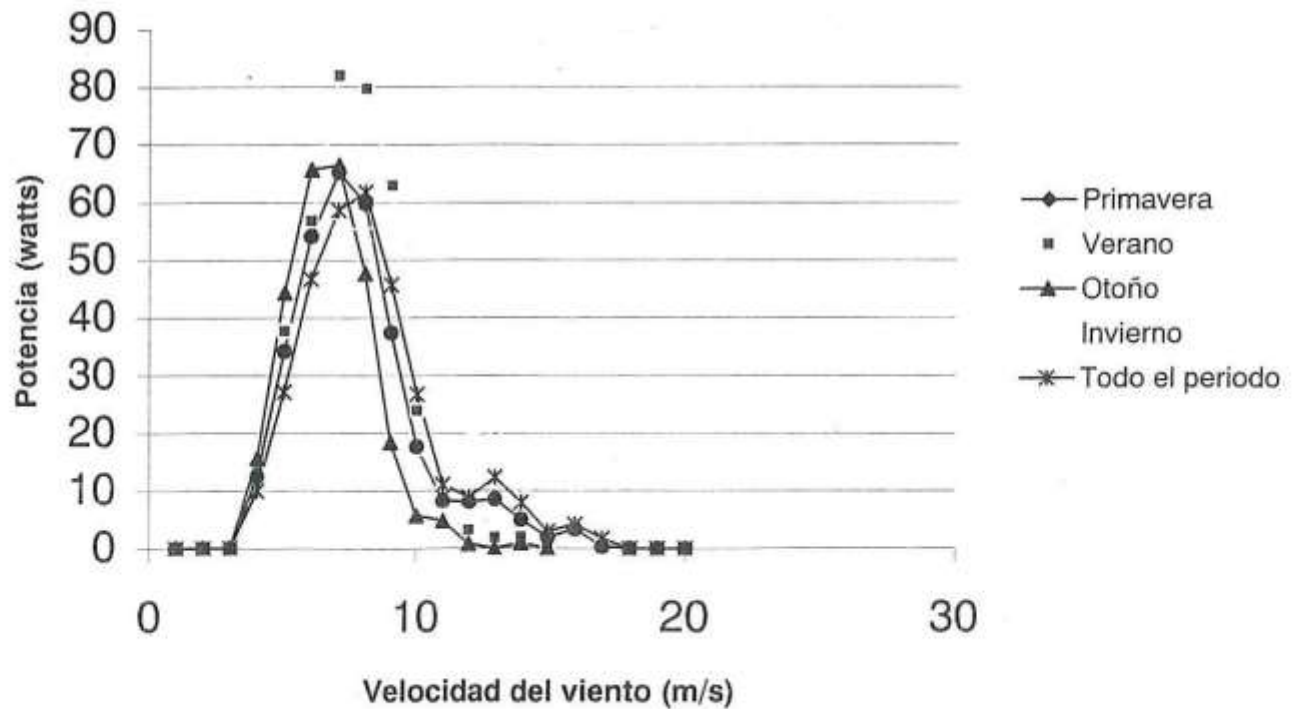
Producción de energía para todas las estaciones y para todo el periodo de medición.



STD. Model 10 Kw. Datos de la curva de energía.

Marca de clase (m/s)	Watts producidos
1	0
2	0
3	0
4	100
5	400
6	1100
7	2025
8	3200
9	4400
10	5700
11	6900
12	8100
13	9500
14	10000
15	10000
16	8500
17	3500
18	0
19	0
20	0

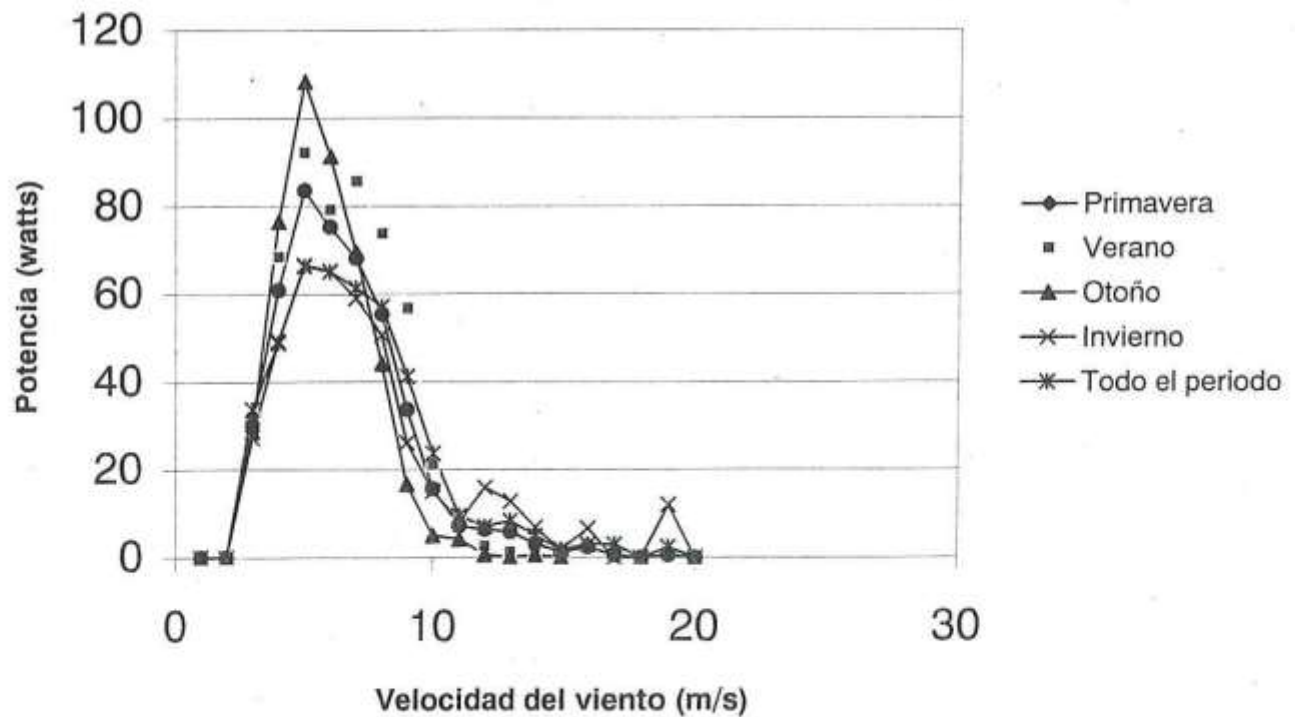
Producción de energía para todas las estaciones y para todo el periodo de medición.



WT 6000. Datos de la curva de energía.

Marca de clase (m/s)	Watts producidos
1	0
2	0
3	162.8
4	488.3
5	976.6
6	1530
7	2116
8	2962.4
9	3971.5
10	5045.8
11	5957.3
12	6370.7
13	6385
14	6218
15	6156
16	6025
17	6025
18	6025
19	6025
20	6025

Producción de energía para todas las estaciones y para todo el periodo de medición.



APENDICE B

PROMEDIOS HORARIOS DEL AÑO 1992

HORA	ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL	
	Vel.(m/s)	Azimut	Vel.(m/s)	Azimut	Vel.(m/s)	Azimut	Vel.(m/s)	Azimut	Vel.(m/s)	Azimut	Vel.(m/s)	Azimut	Vel.(m/s)	Azimut
1 00	0.984	50.322	0.688	59.155	0.954	45.64	0.687	112.257	1.42	160.421	0.617	158.413	0.181	155.454
2 00	1.093	51.716	0.827	70.93	1.046	51.93	0.804	84.843	1.344	157.225	0.388	116.272	0.477	209.828
3 00	1.386	56.97	0.704	65.37	0.791	63.66	0.863	65.222	1.477	158.3	0.523	123.227	0.452	198.943
4 00	1.496	59.916	0.697	48.186	0.976	61.271	1.054	88.26	1.367	160.262	0.919	154.835	0.248	255.859
5 00	1.005	50.69	0.842	59.729	1.05	55.596	0.853	62.848	1.079	148.697	0.648	136.525	0.178	123.225
6 00	0.949	62.08	0.902	38.647	0.662	33.597	0.796	80.812	0.955	155.426	0.554	96.574	0.668	192.153
7 00	1.152	45.509	0.476	70.84	0.816	28.067	0.68	64.357	0.994	185.555	0.509	137.738	0.817	187.731
8 00	1.337	29.63	0.459	12.875	0.658	330.898	0.246	269.1	1.508	187.889	0.448	171.476	0.943	208.307
9 00	1.102	19.608	0.358	336.054	1.087	276.384	1.072	217.043	2.435	189.701	1.539	209.348	1.581	207.344
10 00	1.023	288.517	0.882	277.199	1.255	237.328	2.157	198.766	2.97	187.824	2.262	195.818	2.224	191.758
11 00	0.416	261.856	0.626	229.661	1.679	218.087	3.635	191.881	3.693	186.935	3.311	182.134	3.132	189.748
12 00	0.771	198.97	1.339	186.277	2.637	201.519	4.272	186.752	4.233	188.325	4.303	174.644	4.196	188.115
13 00	1.564	190.68	2.203	190.628	3.322	193.741	4.931	185.966	4.532	186.173	4.771	180.809	4.321	188.234
14 00	1.59	201.83	2.659	190.234	3.403	186.838	5.313	182.356	4.854	184.064	5.272	179.483	4.285	184.347
15 00	0.948	208.469	2.807	178.972	3.194	185.828	5.291	184.116	5.008	183.042	4.963	179.9	4.137	181.857
16 00	1.354	191.145	2.35	183.758	3.091	201.036	4.869	183.423	4.978	182.834	5.144	179.995	4.031	185.369
17 00	0.748	169.245	2.057	157.177	3.471	193.93	4.583	178.315	4.869	183.686	5.426	178.751	3.893	182.944
18 00	0.717	85.98	0.95	150.267	2.436	188.764	3.484	173.469	4.327	172.78	5.383	173.089	2.795	177.809
19 00	0.985	54.158	0.692	82.854	0.791	183.804	2.138	163.884	3.384	175.164	4.225	170.348	2.256	173.62
20 00	1.113	65.112	0.885	23.1	0.018	43.005	0.993	157.606	2.856	169.443	2.811	170.516	1.347	165.534
21 00	1.079	62.845	0.882	6.964	0.644	33.881	0.507	91.86	2.197	163.385	1.742	163.772	0.512	205.523
22 00	0.989	69.882	0.554	39.061	0.329	17.799	0.742	108.246	1.609	161.916	0.707	150.343	0.412	318.508
23 00	0.852	65.518	0.604	2.859	0.976	38.476	0.5	78.533	1.4	163.305	0.318	152.765	0.365	278.155
24 00	1.085	46.902	0.553	8.527	0.668	29.859	0.743	85.696	1.47	170.148	0.28	130.441	0.354	214.714

AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
Vel.(m/s)	Azimut	Vel.(m/s)	Azimut	Vel.(m/s)	Azimut	Vel.(m/s)	Azimut	Vel.(m/s)	Azimut
0.148	334.183	0.515	35.859	1.125	50.549	2.403	38.727	0.88	52.344
0.135	30.714	0.659	38.622	0.896	57.324	2.318	41.939	0.695	83.252
0.148	170.101	0.488	32.135	0.627	60.927	2.043	40.018	0.923	65.272
0.24	248.722	0.465	60.958	0.783	52.844	1.774	38.496	1.215	75.287
0.201	259.225	0.572	54.526	0.838	66.643	1.69	40.507	1.224	83.939
0.304	206.07	0.599	68.212	0.786	54.897	1.663	50.525	1.146	69.161
0.722	225.022	0.319	200.612	0.783	39.283	1.553	46.408	1.135	70.718
1.119	227.179	0.689	235.7	0.181	300.319	1.301	33.183	1.098	48.574
1.781	216.823	1.663	205.091	0.931	226.813	1.359	357.401	1.156	10.655
2.34	193.731	2.501	189.815	1.985	202.318	0.511	346.313	0.78	252.966
3.312	187.957	3.456	186.193	3.352	185.949	0.737	181.12	1.083	219.711
4.211	187.071	3.496	188.651	3.994	187.51	1.802	187.524	2.393	195.213
4.267	185.088	3.69	184.803	4.231	183.429	3.035	179.489	2.881	186.286
4.139	185.584	3.544	185.941	4.453	181.399	3.263	180.037	3.423	186.958
4.378	181.356	2.967	184.539	4.1	182.422	3.015	178.127	3.488	183.39
4.284	180.832	2.951	184.504	3.591	178.75	2.078	158.92	2.991	184.161
3.978	180.863	2.4	179.843	2.945	173.073	0.775	142.946	2.27	173.361
2.933	175.703	1.193	168.869	2.188	168.703	1.155	67.947	1.283	117.586
1.809	172.73	0.81	163.14	0.729	132.49	1.368	49.663	0.875	72.813
0.8	177.754	0.511	17.649	0.995	14.08	1.609	42.551	0.916	63.925
0.498	176.369	0.748	0.289	0.634	76.415	1.932	39.791	0.84	59.396
0.533	165.092	0.742	18.721	0.674	51.683	1.659	41.006	1.049	54.89
0.076	258.899	0.636	32.239	0.736	34.944	2.048	40.962	1.014	49.082
0.345	357.244	0.488	1.301	0.98	45.705	2.324	40.753	1.135	52.862

BWC EXCEL. Producción de energía en horario restringido para el año de 1992 (watts).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
11:00												
12:00				230	230	230	230	230				
13:00				230	230	230	230	230		230		
14:00				730	230	730	230	230		230		
15:00				730	730	230	230	230		230		
16:00				230	230	730	230	230		230		
17:00				230	230	730						
18:00					230	730						
Suma				2380	2110	3610	1150	1150		920		

WT 6000. Producción de energía en horario restringido para el año de 1992 (watts).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
11:00				162.8	162.8	162.8	162.8	162.8	162.8	162.8		
12:00				488.3	488.3	488.3	488.3	488.3	162.8	162.8		
13:00			162.8	488.3	488.3	488.3	488.3	488.3	162.8	488.3	162.8	
14:00			162.8	976.6	488.3	976.6	488.3	488.3	162.8	488.3	162.8	162.8
15:00			162.8	976.6	976.6	488.3	488.3	488.3		488.3	162.8	162.8
16:00			162.8	488.3	488.3	976.6	488.3	488.3		162.8		
17:00			162.8	488.3	488.3	976.6	162.8	162.8				
18:00				162.8	488.3	976.6						
Suma			814	4069.2	3906.4	5371.3	2604.3	2604.3	488.4	1790.5	488.4	325.6

STD model 10Kw. Producción de energía en horario restringido para el año de 1992 (watts).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
11:00												
12:00				100	100	100	100	100				
13:00				100	100	100	100	100		100		
14:00				400	100	400	100	100		100		
15:00				400	400	100	100	100		100		
16:00				100	100	400	100	100				
17:00				100	100	400						
18:00					100	400						
Suma				1200	1000	1900	500	500		300		

LW model 10Kw. Producción de energía en horario restringido para el año de 1992 (watts).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
11:00				30	30	30	30	30	30	30		
12:00				250	250	250	250	250	30	30		
13:00			30	250	250	250	250	250	30	250	30	
14:00			30	700	250	700	250	250	30	250	30	
15:00			30	700	700	250	250	250		250	30	30
16:00			30	250	250	700	250	250		250	30	30
17:00			30	250	250	700	30	30		30		
18:00				30	250	700						
Suma			150	2430	2200	3550	1280	1280	90	810	90	60