

## **7. MODELO DE EXTRAPOLACION ESPACIAL DEL VIENTO EN SUPERFICIE**

### **7.1 Introducción**

Una serie temporal de datos de velocidad de viento permite realizar una estimación estadística acerca del potencial eólico del punto de medición. Sin embargo, para fines de prospección regional de este recurso, es interesante contar con métodos que permitan estimar el potencial eólico en otros lugares del entorno, con el objeto de encontrar aquellos que cuenten con condiciones de viento más favorables que las del punto de medición.

Las herramientas utilizables para extender espacialmente la información de viento pueden tener distintos grados de complejidad, costo y confiabilidad, existiendo un amplio rango entre la simple apreciación personal hasta el desarrollo de campañas intensivas de medición en toda la zona de interés. En el nivel intermedio se encuentran los modelos matemáticos, los que mediante formulaciones empíricas y/o de origen físico intentan reproducir las características del campo de viento, a partir de algunas hipótesis y datos de entrada.

Los modelos tienen también un amplio espectro de diversidad, en cuanto a simplicidad, requerimientos de datos, costo computacional, rango de aplicabilidad, resolución espacial y temporal, etc., yendo desde la más simple interpolación matemática hasta los modelos hidrodinámicos más complejos. En la sección 2 del Anexo IV de este informe se analizan resumidamente algunos estudios previos que utilizan distintos esquemas de modelación para la evaluación regional del recurso eólico.

El modelo desarrollado como parte de este trabajo corresponde a un modelo de tipo diagnóstico para la construcción de un campo de viento tridimensional a partir de datos de viento en la zona de estudio. El modelo se inicia con información de viento en uno o más puntos, con los datos del relieve y con una estimación de la rugosidad

superficial. A partir de estos datos se construye un primer campo de viento sobre el dominio, el que es a continuación ajustado para que cumpla la condición física de conservación de la masa, la cual, junto con la condición de borde inferior de no deslizamiento, le obliga a adaptarse a la topografía del terreno, acelerándose en las cimas, desviándose por los valles, etc. En su formulación, el modelo considera la variación del viento con la altura en condiciones atmosféricas neutras, la existencia de capas límites internas asociadas a cambios bruscos de la rugosidad superficial (como ocurre en zonas costeras) y el efecto del relieve orográfico. Entre sus limitaciones principales debe mencionarse que el modelo no incluye ninguna consideración de las forzantes térmicas del campo de viento. La confiabilidad de los resultados del modelo crece con la cantidad de estaciones que le entregan información para su inicialización, pues son los datos de entrada de viento los que aportan la física que el modelo no incorpora explícitamente en sus algoritmos.

Una descripción detallada de la estructura y formulaciones matemáticas del modelo se encuentra en el punto 3 del Anexo IV. Las aplicaciones efectuadas del modelo y sus resultados son mostrados y comentados en el punto 2 de esta sección.

Se debe tener presente que la utilización de modelos en la prospección de energía eólica tiene como principal función la de identificar los sitios donde el potencial del recurso alcanza un nivel interesante, sin que pueda reemplazar la necesaria verificación de las condiciones reales mediante mediciones *in situ*. En este sentido, los resultados cuantitativos que los modelos entregan deben ser utilizados con cautela en las etapas de evaluación y diseño de obras de aprovechamiento eólico.

## **7.2 Aplicaciones del modelo**

El modelo fue aplicado para el estudio del efecto de la rugosidad y del relieve topográfico en los seis lugares donde el proyecto realizó mediciones de viento. En cada caso se trabajó sobre una región constituida por un área de 4 x 4 km en torno a la estación, el cual se denominó zona estándar de modelación. El tamaño de este

dominio resulta de un compromiso entre una resolución espacial suficientemente fina (con un espaciamiento de al menos 100 m entre puntos de grilla), el tamaño de la misma (41 x 41 puntos) y los recursos computacionales disponibles.

En algunos casos, la presencia de relieve de una escala mayor hizo presumible que el campo de viento en e; entorno de la estación pudiera estar afectado por accidentes orográficos que la zona estándar de modelación no abarcaba. También ocurrió en una oportunidad que la resolución estándar no fue suficiente para distinguir el promontorio sobre el que se ubicaba una de las estaciones. En casos como éstos, la modelación se realizó en dos niveles de resolución espacial: uno de paso grueso que incluye los elementos del relieve más grandes, y uno de paso fino. Los resultados del primero son utilizados como datos de entrada de la segunda corrida, en la forma de pseudo-estaciones de superficie.

El relieve fue leído a partir de cartas a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar (IGM). La rugosidad del terreno fue estimada de acuerdo a las observaciones efectuadas en las visitas a las estaciones.

#### 7.2.1 Estación Punta de Toro ( $30^{\circ} 44' S$ , $71^{\circ} 42' O$ ).

- Condiciones de la aplicación

La estación Punta de Toro se ubica en el sector sur de la desembocadura del río Limarí. El entorno local está constituido por una pequeña planicie de 200 x 300 m con altitud aproximada de 10 m y rodeada por mar en todo el sector oeste. Hacia el oriente comienza una pendiente suave que culmina en una terraza extensa de cerca de 100 m de elevación sobre el nivel del mar. Aproximadamente a una distancia de 2 a 3 km de la línea de la costa se alza una cadena de cerros correspondiente a la prolongación de los Altos del Talinay ubicados más al norte, con alturas que superan los 600 metros en el sector norte del río y alturas de hasta 400 m en el lado sur. El

río atraviesa esta cadena por una angostura de aproximadamente 300 m de ancho, ubicada casi 3 km al ENE de la estación.

Teniendo en cuenta las características del relieve de la zona, se utilizó en la modelación de este caso dos niveles de resolución espacial. El primero tiene un paso de grilla de 250 m y abarca un dominio de 10 x 10 km, que alcanza a incluir una buena extensión de la cadena de cerros mencionada (Fig. 7.1). El segundo nivel de resolución corresponde a la zona estándar de modelación, que comprende un área de 4 x 4 km en torno a la estación, discretizada con un paso de 100 m (Fig. 7.2).

Los registros de viento de la estación muestran que las direcciones de viento predominantes son S, SSE y SSO, por lo que éstas fueron las direcciones de viento simuladas. La Tabla 7.1 indica los parámetros utilizados en las corridas de modelación, tanto para el caso de dominio extendido (casos A, B y C) como para el de malla estándar (casos D, E y F).

Tabla 7.1 Condiciones de aplicación del modelo: PUNTA DE TORO

	Dominio extendido	Zona estándar
Dominio (km) .....	10 x 10	4 x 4
Altura del dominio (m) .....	2000	1000
Paso horizontal (m) .....	250	100
Tamaño de la grilla .....	41 x 41 x 10	41 x 41 x 10
Rugosidad superficial (m):		
mar .....	0.001	0.001
suelo .....	0.100	0.030
Casos modelados y direcciones de viento :		
Dirección S .....	caso A	caso E
Dirección SSO .....	caso B	caso D
Dirección SSE .....	caso C	caso F

- Resultados

Los resultados en el dominio extendido, para las tres direcciones modeladas, sugieren que el paso angosto del río a través de la cadena de cerros es causante de una importante desviación y desaceleración de las líneas del campo de viento. Los vientos SSO y SSE toman en esa angostura direcciones E-O, en tanto que el campo de dirección S produce una condición de casi estancamiento en el fondo del valle. En este último caso el campo de viento no sufre una deformación tan acentuada como en los otros, por cuanto la dirección de la cadena de cerros tiene una orientación N-S. Por otra parte, los cerros provocan una aceleración del viento en sus cumbres y un efecto de barrera cuando la dirección es SSO, haciendo que en sus laderas occidentales el viento tome dirección S. La figura 7.3 muestra, a modo de ejemplo, el campo obtenido para el caso C, con dirección del viento SSE sobre el mar. De acuerdo a los resultados, la topografía de mayor escala no ejerce una influencia marcada sobre el sitio donde se ubica la estación.

Las figuras 7.4 y 7.5 son ejemplos de resultados de la modelación de la zona estándar de 4 km en torno a la estación. La primera muestra el campo de viento a 10 m de la superficie obtenido para la dirección SSE, y la segunda, la distribución de los factores de amplificación de la velocidad del viento, con respecto al punto donde se ubica la estación de medición. Para las tres direcciones del viento se observa que el entorno local de la estación no tiene grandes variaciones. Sin embargo, en la zona del río y en la quebrada existente más al sur se aprecia un notorio descenso de las velocidades. Dentro de la zona estándar de modelación, el promontorio ubicado unos 2 km al ENE de la estación aparece en los tres casos con factores de amplificación superiores a 1.2 para el nivel de 10 m.

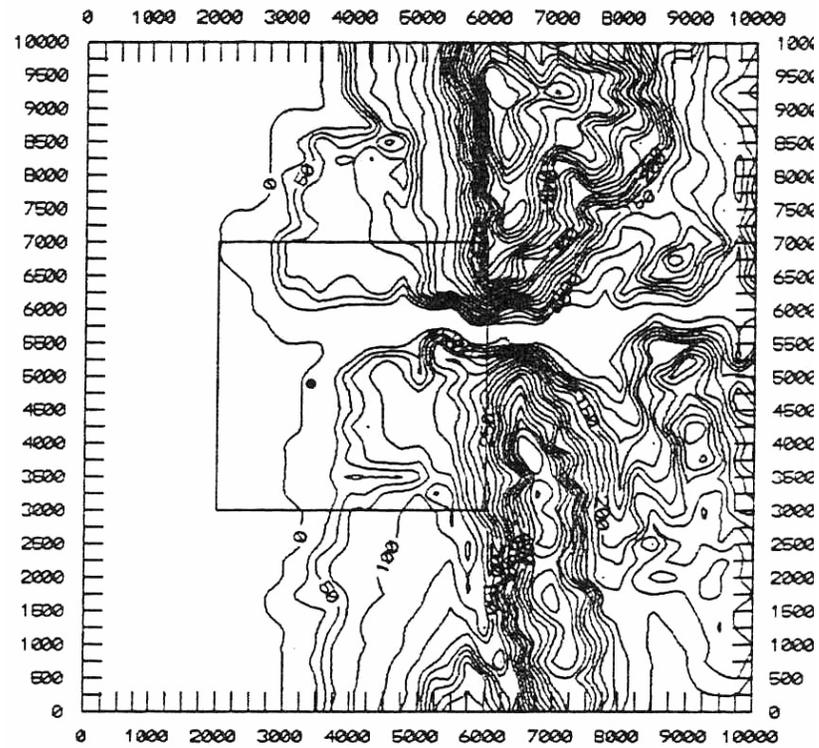


Fig. 7.1 Punta de Toro: relieve topográfico de la zona de modelación extendida. El recuadro corresponde al dominio estándar de modelación y el punto indica la ubicación aproximada de la estación.

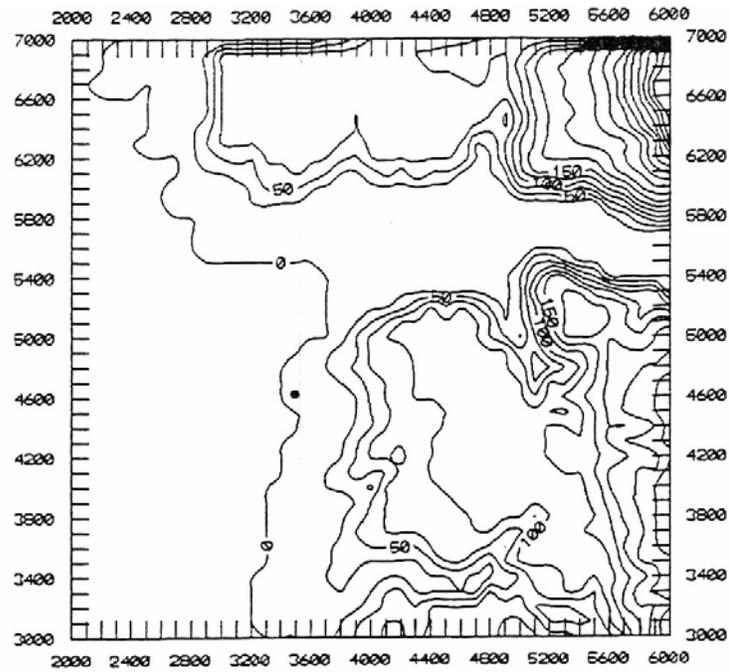


Fig. 7.2 Punta de Toro: relieve topográfico de la zona estándar de modelación. El punto indica la ubicación aproximada de la estación.

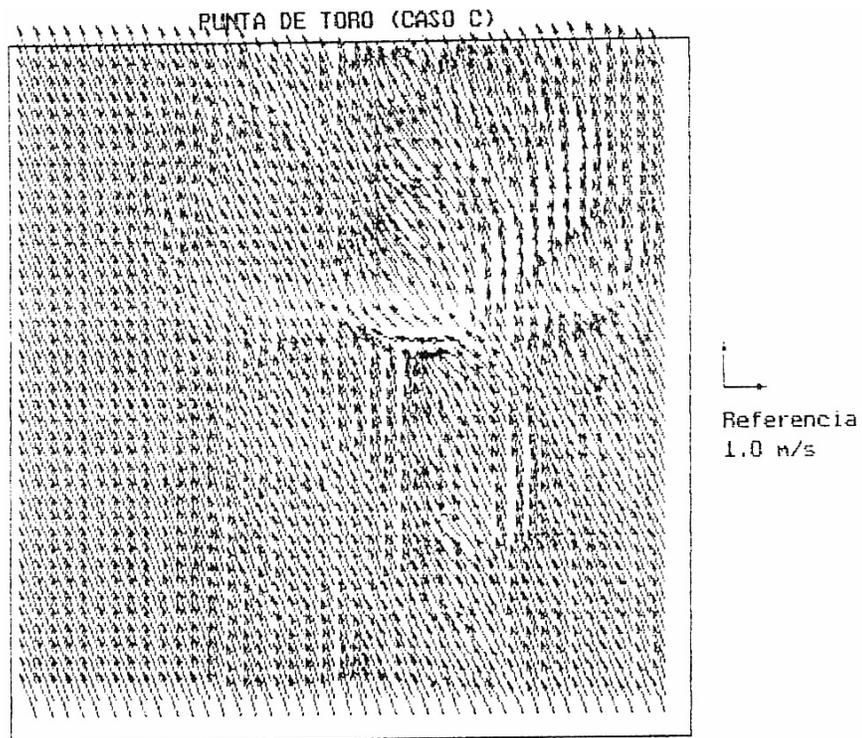


Fig. 7.3 Punta de Toro: campo de viento resultante a 10 m sobre la superficie. Caso de viento SSE para dominio extendido de modelación.

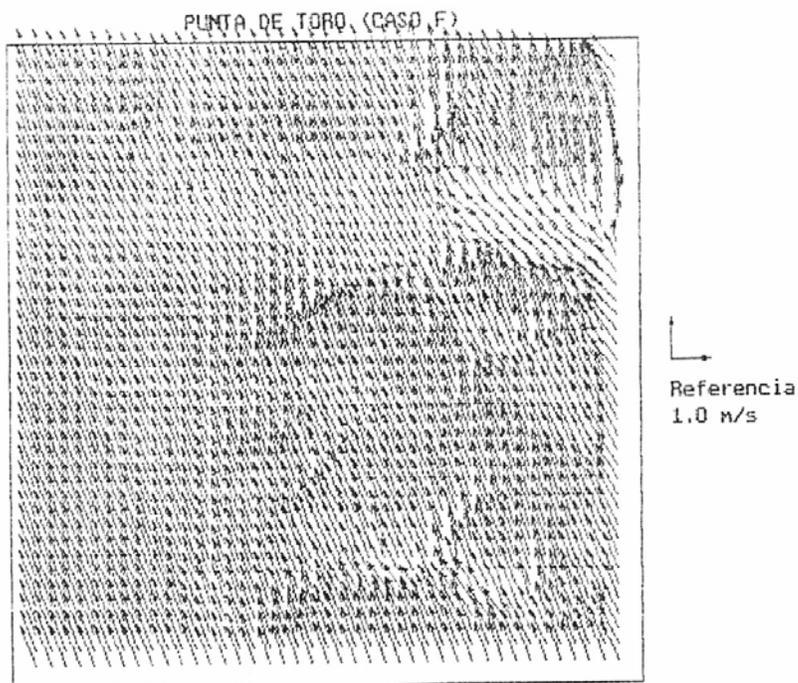


Fig. 7.4 Punta de Toro: campo de viento resultante a 10 m sobre la superficie. Caso de viento SSE para zona estándar de modelación.

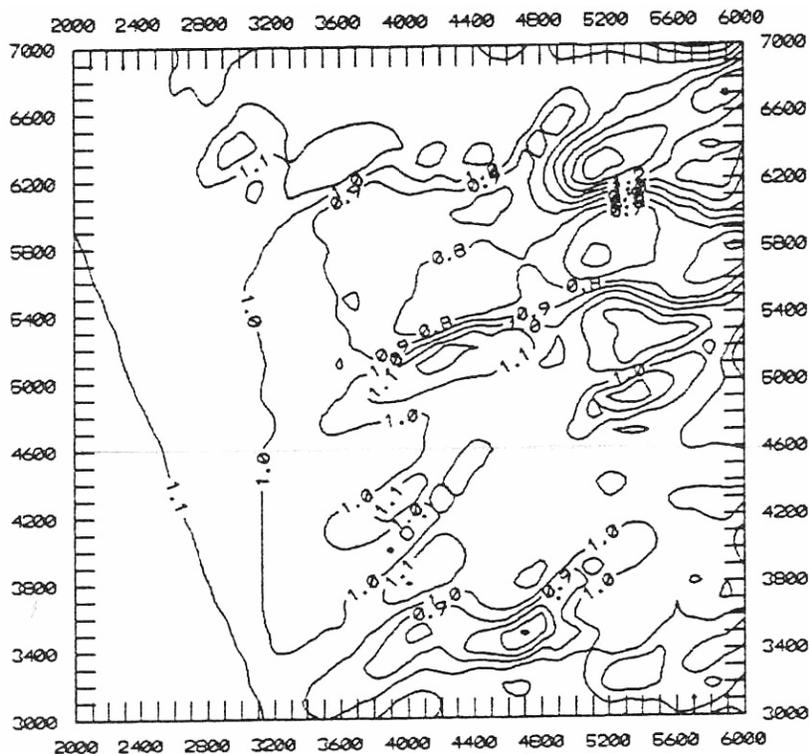


Fig. 7.5 Punta de Toro: factores de amplificación de la velocidad del viento para el mismo caso de la Fig. 7.4 .

### 7.2.2 Estación Punta Cerro de Arena ( $31^{\circ} 15' S$ , $71^{\circ} 38' O$ ).

- Condiciones de la aplicación

La estación Cerro de Arena está emplazada en la parte norte de la caleta Maitencillo de Coquimbo, instalada sobre un promontorio bien expuesto de unos 60 m de altura. Medio kilómetro al norte y medio kilómetro al sur aproximadamente, desembocan al mar las quebradas de Las Palmas y de Maitencillo respectivamente, las cuales constituyen los quiebres más importantes del relieve del sector, en una zona de alrededor de 12 x 5 km en que la topografía es bastante uniforme en su descenso hacia el mar.

En este caso la zona de modelación estándar es suficientemente amplia para incluir los condicionantes topográficos más relevantes del entorno de la estación. Sin embargo, con una resolución de 100 m no se alcanza a distinguir el promontorio sobre el que está ubicado el instrumento, por lo que a continuación de la modelación estándar, se realizó otra a una escala menor, con un paso de 50 m en horizontal. Las topografías de ambos casos se muestran en las figuras 7.6 y 7.7.

De acuerdo al registro, las direcciones de viento más frecuentes en este lugar son S, SSE y SE, que, por lo tanto, son los casos modelados. La Tabla 7.2 incluye los parámetros de las corridas del modelo y la individualización de los distintos casos.

Tabla 7.2 Condiciones de aplicación del modelo: CERRO DE ARENA

	Zona estándar	Dominio reducido
Dominio (km) .....	4 x 4	1,45 x 1
Altura del dominio (m) .....	500	500
Paso horizontal (m) .....	100	50
Tamaño de la grilla .....	41 x 41 x 10	30 x 21 x 10
Rugosidad superficial (m):		
mar .....	0.001	0.001
suelo .....	0.030	0.030
Casos modelados y direcciones de viento :		
Dirección S .....	caso A	caso D
Dirección SSE .....	caso B	caso E
Dirección SE .....	caso C	caso F

- Resultados

Las figuras 7.8 a 7.11 ilustran los resultados obtenidos para la dirección de viento SE, para los dos dominios modelados. En el caso de esta estación se observa claramente la forma en que las quebradas descritas en el relieve de la zona modifican el campo de viento, desviando las líneas de flujo hacia su eje longitudinal y disminuyendo significativamente el viento de superficie. El campo de viento entre las quebradas muestra características bastante uniformes. La modelación del dominio reducido muestra que la estación se ubica en una situación de máximo local, debido al efecto punta del lugar donde está instalada. Se insinúa también la existencia de otros puntos con características semejantes de potencial eólico en algunos sectores de los bordes sur de las quebradas, debido probablemente a su mayor altura y buena exposición a los vientos predominantes.

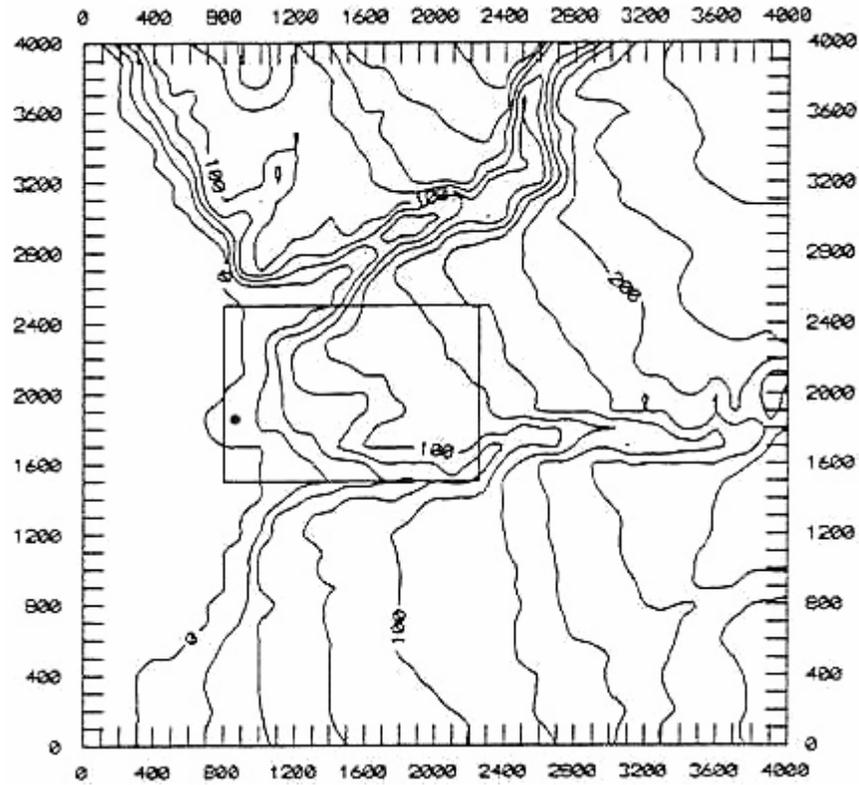


Fig.7.6 Cerro de Arena: relieve topográfico de la zona estándar de modelación. El recuadro corresponde al dominio de modelación reducido y el punto indica la ubicación aproximada de la estación.

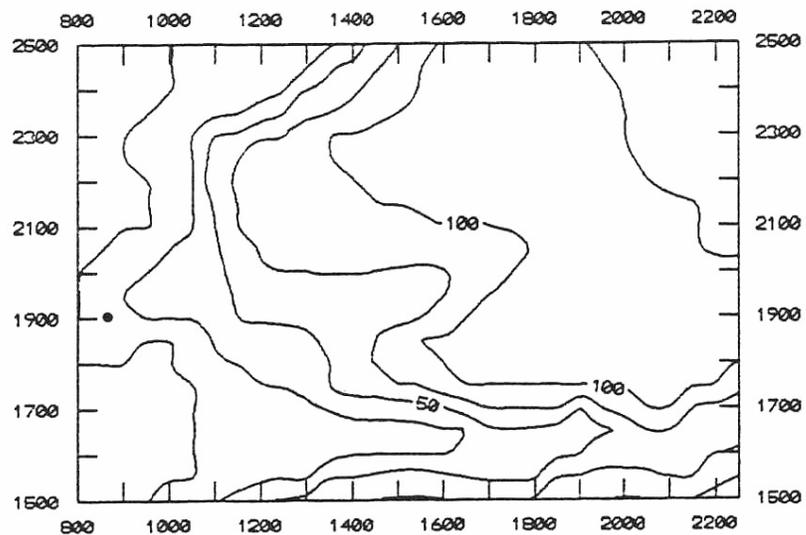
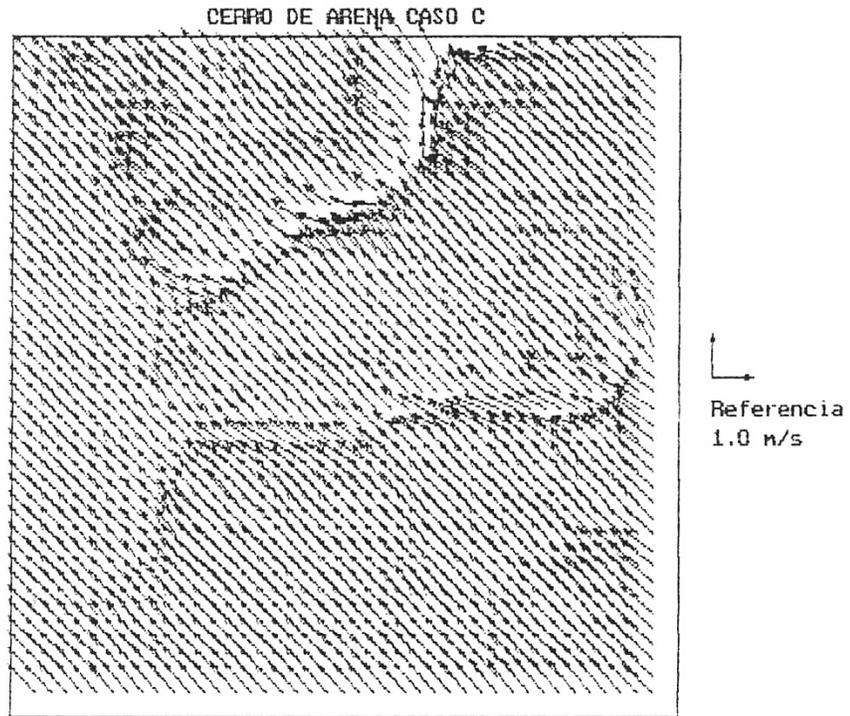
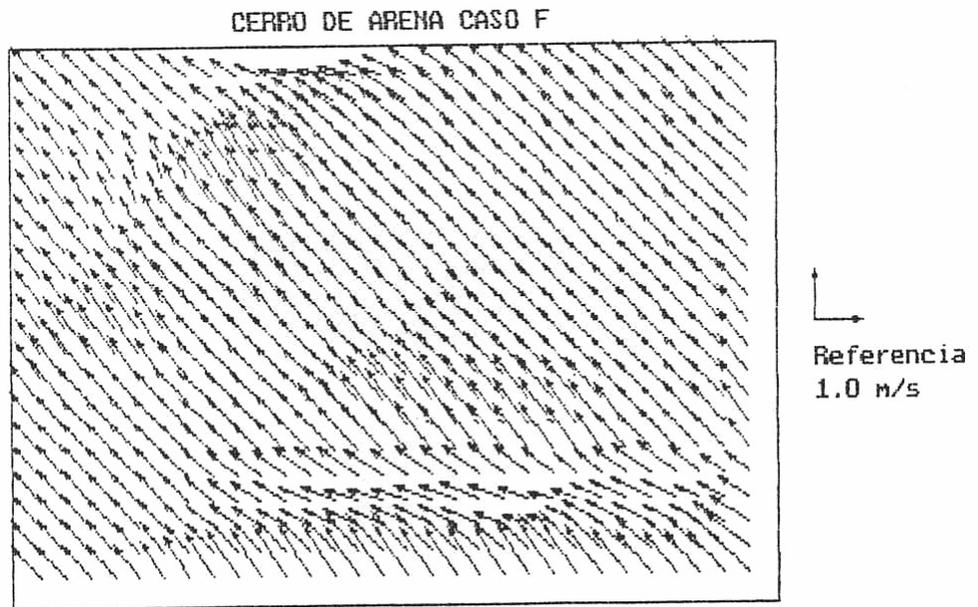


Fig. 7.7 Cerro de Arena: relieve topográfico de la zona de modelación reducida. El punto indica la ubicación aproximada de la estación.



*Fig. 7.8 Cerro de Arena: campo de viento resultante a 10 m sobre la superficie. Caso de viento SE para zona estándar de modelación.*



*Fig. 7.9 Cerro de Arena: campo de viento resultante a 10 m sobre la superficie. Caso de viento SE para zona de modelación reducida.*

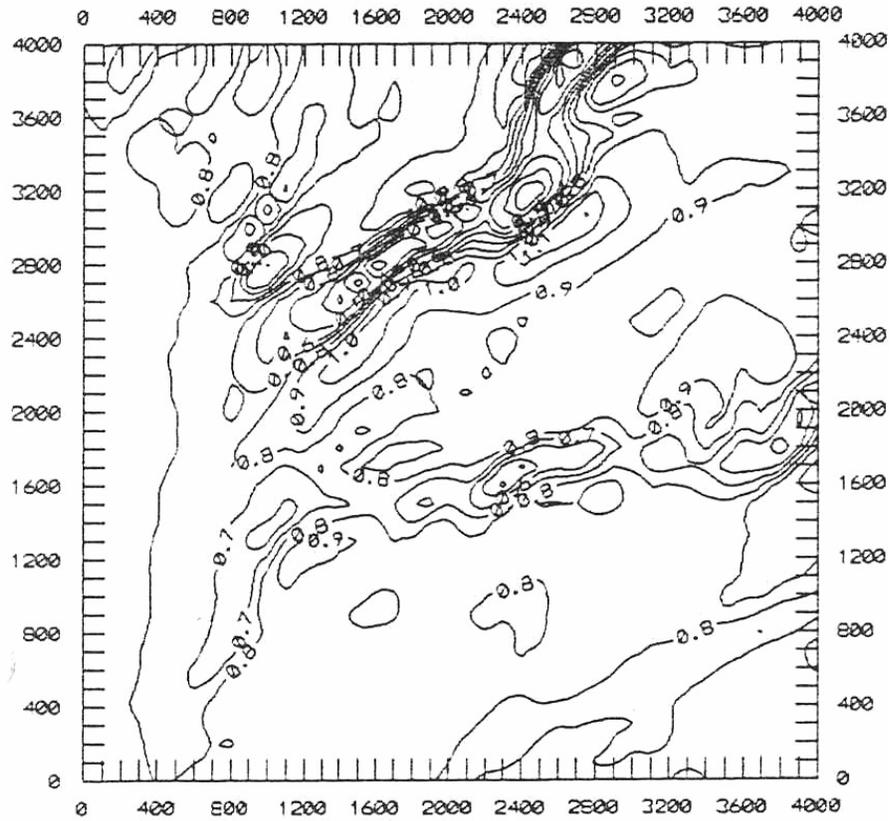


Fig. 7.10 Cerro de Arena: factores de amplificación de la velocidad del viento para el mismo caso de la Fig. 7.8.

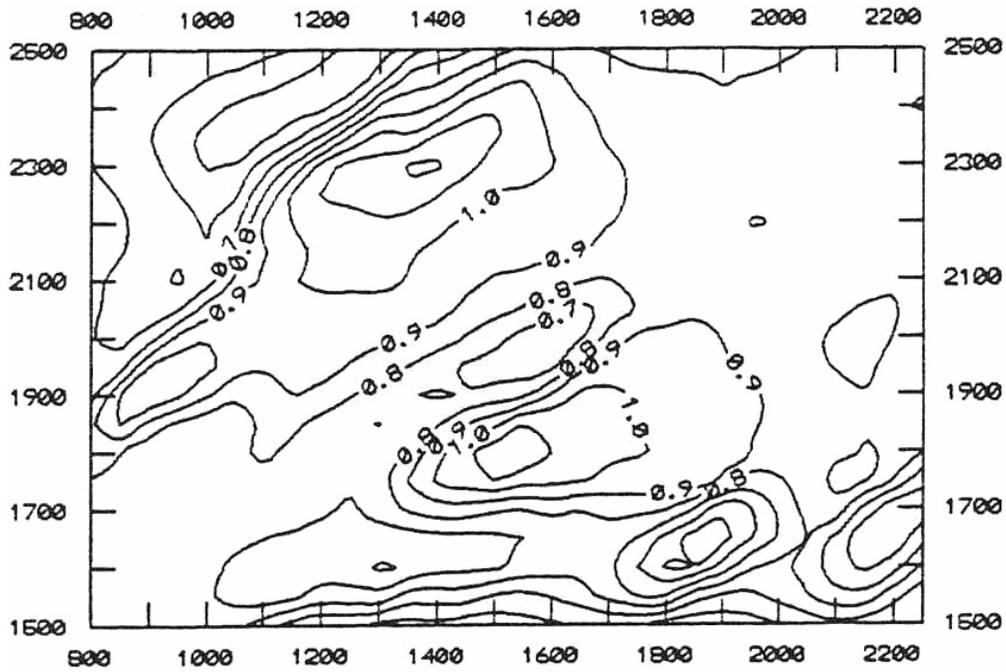


Fig. 7.11 Cerro de Arena: factores de amplificación de la velocidad del viento para el mismo caso de la Fig. 7.9.

### 7.2.3 Estación Los Vilos (31° 51' S , 71° 31' O).

- Condiciones de la aplicación

La estación Los Vilos se ubica casi 7 km al norte de la ciudad de Los Vilos, al otro lado de la bahía Conchalí. El relieve más importante del sector está compuesto por un cabo de mediana altura que se extiende cerca de 4 km al oeste de la estación, la desembocadura del estero Conchalí ubicada unos 4 km al sureste y algunos cerros de más de 400 m de altura que comienzan aproximadamente 5 a 6 km al nororiente. El entorno cercano de la estación está formado por lomajes suaves de baja altura que la rodean completamente, salvo en el cuadrante suroeste donde, aproximadamente a 50 m, se ubica la línea costera y el mar.

En este caso la modelación se realizó únicamente en la zona estándar de 4 km en torno a la estación, dominio que puede verse en la figura 7.12. Las tres direcciones modeladas son S, SSO y SSE y los parámetros específicos de las corridas del modelo se muestran en la Tabla 7.3.

Tabla 7.3 Condiciones de aplicación del modelo: LOS VILOS

	Zona estándar
Dominio (km) .....	4 x 4
Altura del dominio (m) .....	500
Paso horizontal (m) .....	100
Tamaño de la grilla .....	41 x 41 x 10
Rugosidad superficial (m):	
mar .....	0.001
suelo .....	0.100
Casos modelados y direcciones de viento :	
Dirección S .....	caso A
Dirección SSO .....	caso B
Dirección SSE .....	caso C

- Resultados

La topografía del entorno de esta estación condiciona la existencia de campos de viento bastante uniformes en cuanto a dirección y magnitud. En los casos de dirección S y SSO no se pueden distinguir máximos de velocidad en forma clara, mientras que para el viento SSE se aprecia una aceleración sobre las laderas que lo enfrentan, al este de la estación. En los casos S y SSO el efecto de la topografía no es acentuado y se observa que las mayores velocidades se dan sobre el mar, por cuanto la rugosidad superficial del terreno produce un apreciable efecto de freno al viento. En casos como éste, el mayor potencial eólico sobre las áreas continentales se obtiene a lo largo de la costa, en los puntos que enfrenten directamente al viento predominante. En las figuras 7.13 y 7.14 se presentan los resultados obtenidos para el caso con dirección SSE, en el cual se nota una mayor influencia del relieve en el campo de viento.

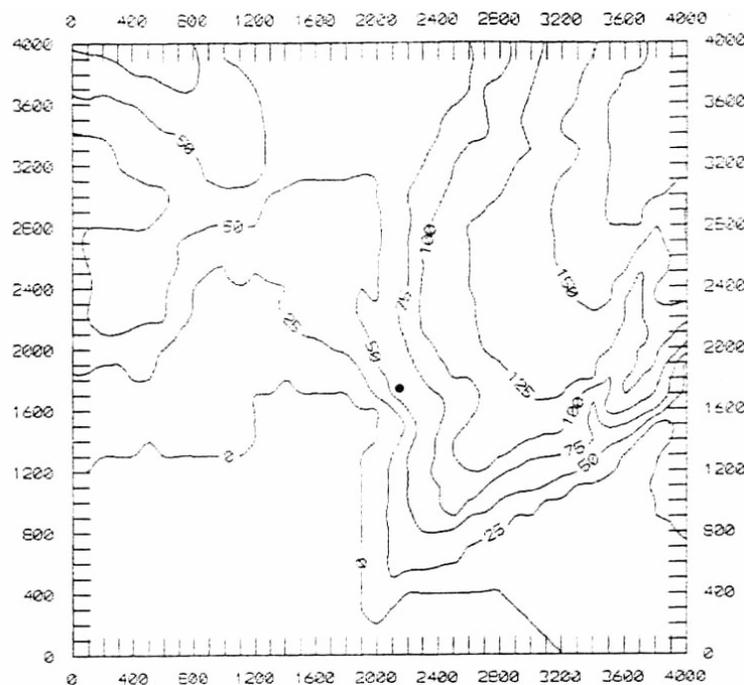


Fig. 7.12 Los Vilos: relieve topográfico de la zona estándar de modelación. El punto indica la ubicación aproximada de la estación.

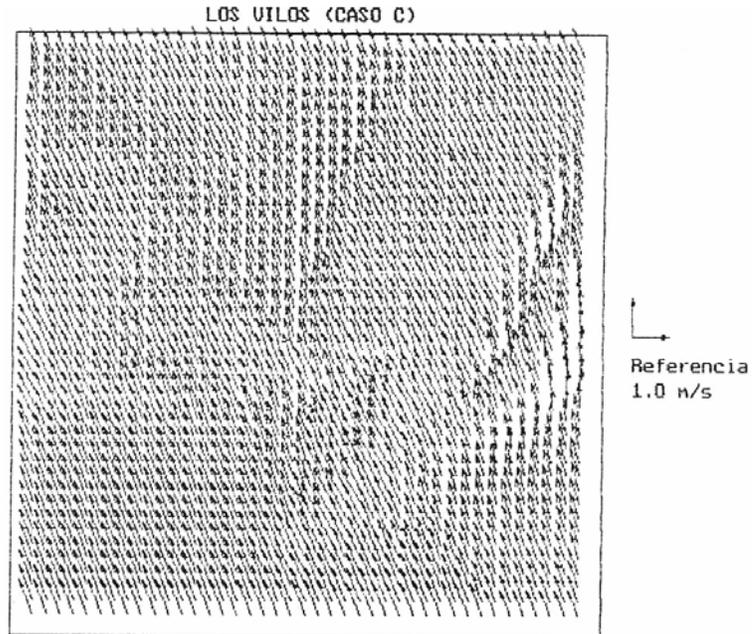


Fig. 7.13 Los Vilos: campo de viento resultante a 10 m sobre la superficie. Caso de viento SSE para zona estándar de modelación.

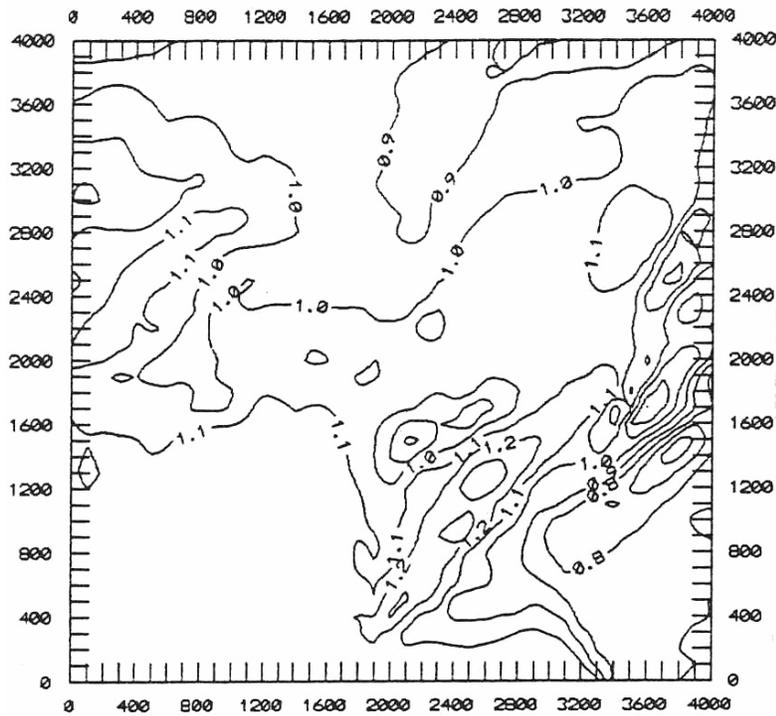


Fig. 7.14 Los Vilos: factores de amplificación de la velocidad del viento para el mismo caso de la Fig. 7.13.

#### 7.2.4 Estación Putú (35° 13' S , 72° 17' O).

- Condiciones de la aplicación

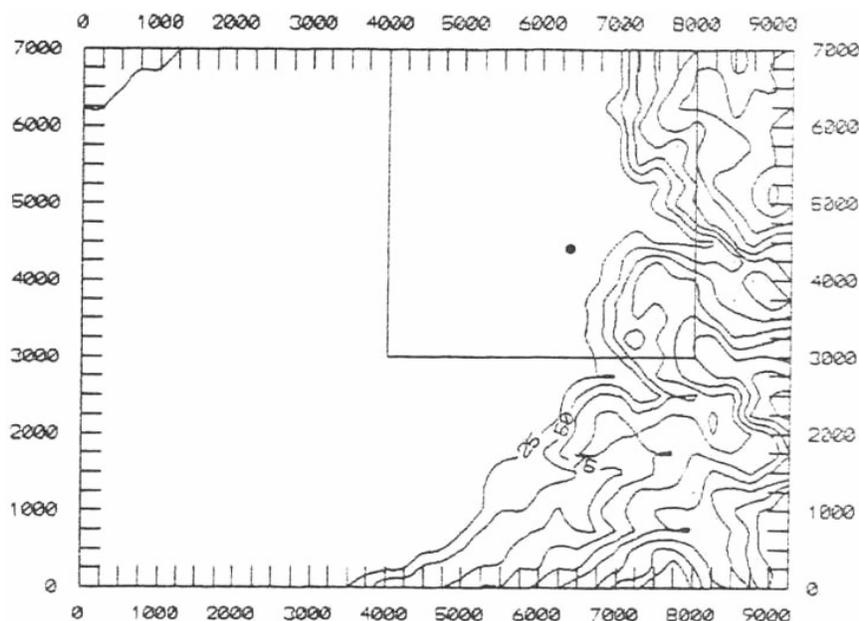
La estación se ubica en el pueblo de Putú, entre 8 y 10 kilómetros al este de la línea costera. Hacia el oriente el relieve topográfico comienza a ascender, presentando en las cercanías alturas del orden de los 200 m sobre el nivel del mar. En la dirección oeste y suroeste se extiende un área de pajonales y más allá las dunas de Dóllimo terminan en el mar. La mayor lejanía que esta estación tiene del mar, en comparación con las otras, planteó la posibilidad de que las mediciones pudiesen mostrar velocidades menores que las que se obtendrían en la ribera costera. Para estudiar este efecto, la modelación se efectuó en dos niveles de resolución. El primero abarca una extensión de aproximadamente 9 x 7 km y alcanza a incluir un tramo de línea costera (Fig. 7.15). El segundo es el de la zona estándar de modelación, de 4 x 4 km (Fig. 7.16). Las direcciones de viento simuladas son SO y NNE, de acuerdo a la mayor frecuencia que éstas presentan en los registros. Los parámetros de las corridas del modelo se presentan en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4 Condiciones de aplicación del modelo: PUTU

	Dominio extendido	Zona estándar
Dominio (km) .....	9,25 x 7	4 x 4
Altura del dominio (m) .....	500	500
Paso horizontal (m) .....	250	100
Tamaño de la grilla .....	38 x 29 x 10	41 x 41 x 10
Rugosidad superficial (m):		
mar .....	0.001	0.001
suelo .....	0.200	0.200
pajonales .....	0.050	0.050
dunas .....	0.005	0.005
Casos modelados y		
direcciones de viento :		
Dirección SW .....	caso A	caso C
Dirección NNE .....	caso B	caso D

- Resultados

La extensa zona de dunas produce en los resultados un campo de viento más bien uniforme, que muestra deformaciones en la zona cercana a la estación. Esto es válido para los dos dominios modelados. El dominio extendido, sin embargo, muestra que la magnitud del viento va aumentando al acercarse a la costa, llegando hasta factores de amplificación del orden de 1.3 en el nivel de 10 m sobre la superficie. Similares factores o algo menores se obtienen en las cimas de los cerros ubicados al este y sureste de la estación. Este es un caso, por lo tanto, en el cual la ubicación tierra adentro del punto de medición hace que el potencial eólico estimado sea inferior al de puntos más cercanos a la costa.



*Fig. 7.15 Putú: relieve topográfico de la zona de modelación extendida. El recuadro corresponde al dominio de modelación estándar y el punto indica la ubicación aproximada de la estación.*

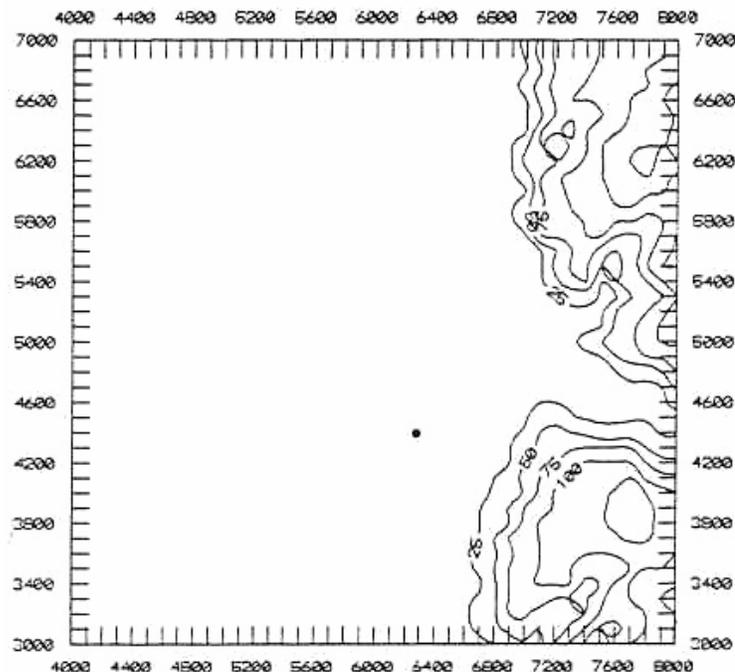


Fig. 7.16 Putú: relieve topográfico de la zona estándar de modelación. El punto indica la ubicación aproximada de la estación.

### 7.2.5 Estación Pahuil ( $35^{\circ} 37' S$ , $72^{\circ} 34' O$ ).

- Condiciones de la aplicación

La estación Pahuil se ubica en el pueblo del mismo nombre, aproximadamente 5 km al este de la costa. Hacia el norte y el este de la estación la topografía es bastante suave, con alturas del orden de 100 a 150 m sobre el nivel del mar. En el sector oeste y suroeste se extienden la desembocadura del río Reloca y las dunas de Chanco, las que han sido parcialmente cubiertas por plantaciones forestales.

También en esta estación se utilizaron dos niveles de resolución en la modelación del efecto topográfico sobre el campo de viento. El primero comprende una extensión de  $12 \times 9$  km con paso de 300 m (Fig. 7.17). El segundo es la zona estándar de modelación (Fig. 7.18). Las direcciones simuladas son N y una intermedia entre S y SSO. La Tabla 7.5 incluye los parámetros específicos de las corridas del modelo.

Tabla 7.5 Condiciones de aplicación del modelo: PAHUIL

	Dominio extendido	Zona estándar
Dominio (km) .....	12 x 9	4 x 4
Altura del dominio (m) .....	500	500
Paso horizontal (m) .....	300	100
Tamaño de la grilla .....	41 x 31 x 10	41 x 41 x 10
Rugosidad superficial (m):		
mar .....	0.001	0.001
suelo .....	0.200	0.200
árboles .....	0.500	0.500
dunas .....	0.005	0.005
Casos modelados y direcciones de viento :		
Dirección S-SSW .....	caso A	caso C
Dirección N .....	caso B	caso D

- Resultados

El relieve más bien plano de esta zona produce campos de viento sin una deformación muy marcada, tal como es apreciable en el caso mostrado en la Fig. 7.19, en el cual sí puede observarse el leve cambio que define la línea de costa en el campo de viento superficial. De la aplicación sobre el dominio estándar se muestra solamente el mapa de isolíneas de la Fig. 7.20, que es suficiente para ilustrar la escasa variación espacial de la magnitud del viento en el entorno de la estación. Los resultados de la modelación del dominio extendido muestran un aumento de las velocidades concentrado cerca de la costa, que llega hasta un factor de 1.3 para ambas direcciones, y el cual está asociado a la menor rugosidad de la superficie del mar. En este caso, entonces, el mejor lugar para el aprovechamiento eólico debe estar cerca de la costa, en sitios sin obstáculos que interfieran con las direcciones predominantes del flujo.

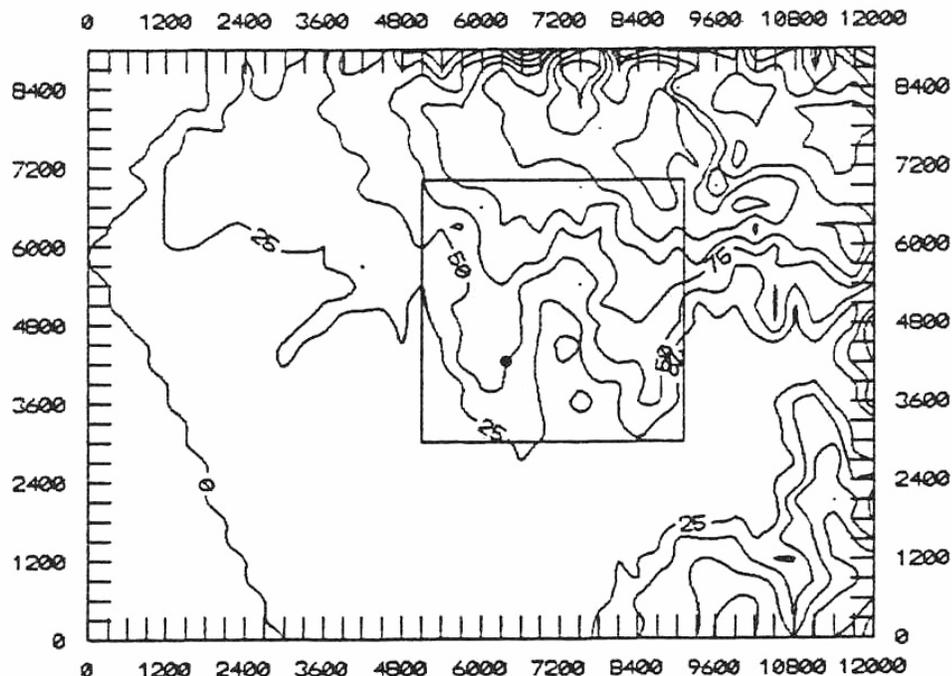


Fig. 7.17 Pahuil: relieve topográfico de la zona de modelación extendida. El recuadro corresponde al dominio de modelación estándar y el punto indica la ubicación aproximada de la estación.

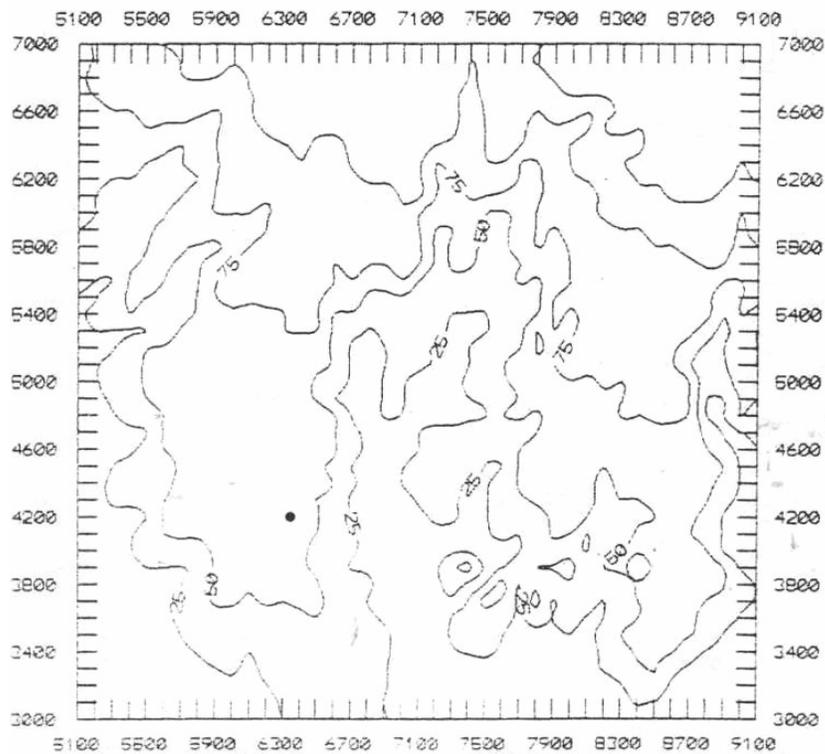


Fig. 7.18 Pahuil: relieve topográfico de la zona de modelación estándar. El punto indica la ubicación aproximada de la estación.

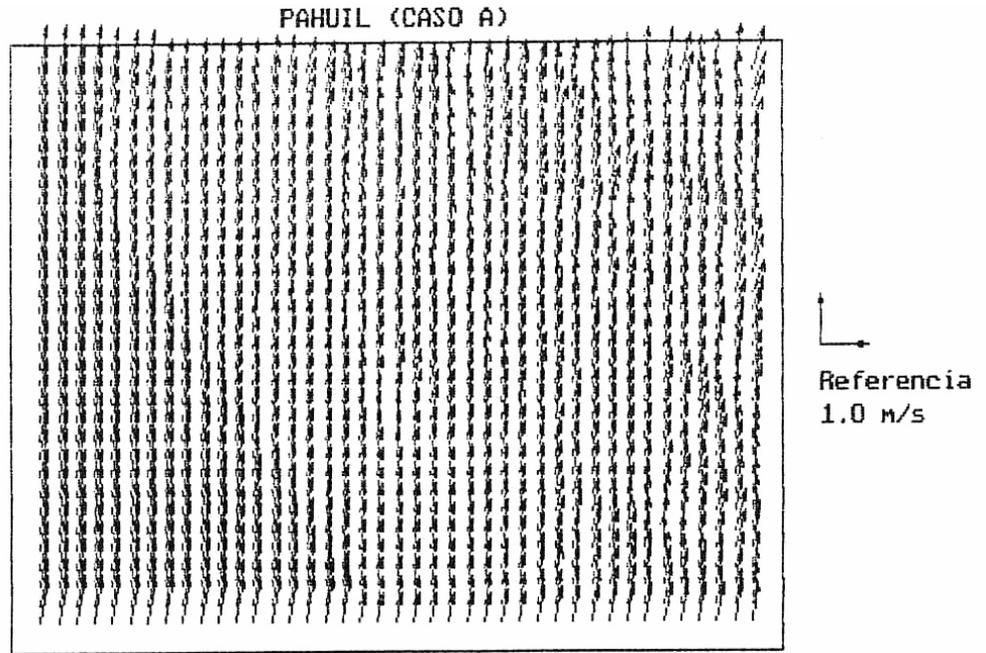


Fig. 7.19 Pahuil: campo de viento resultante a 10 m sobre la superficie. Caso de viento con dirección  $191^\circ$  para zona de modelación extendida.

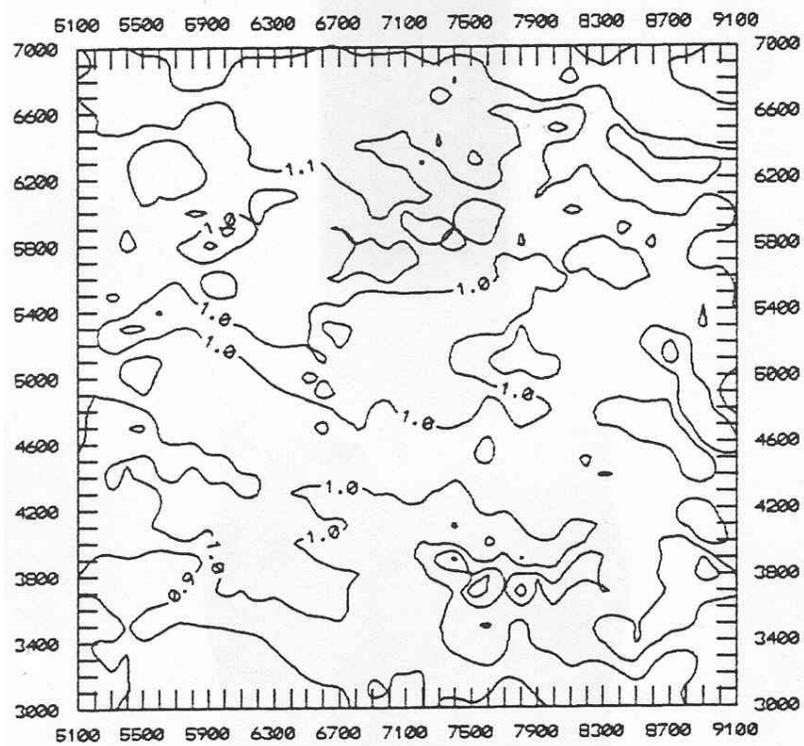


Fig. 7.20 Pahuil: factores de amplificación para la velocidad del viento a 10 de altura sobre la superficie, caso con dirección  $191^\circ$ , sobre la zona estándar de modelación.

### 7.2.6 Estación Cobquecura (36° 08' S , 72° 48' O).

- Condiciones de la aplicación

Esta estación fue instalada aproximadamente 1 km al sur del balneario de Cobquecura, a unos 200 metros de la costa, que en esta zona presenta una orientación uniforme norte-sur. El relieve circundante está caracterizado por las laderas que enmarcan la desembocadura del río Cobquecura, que terminan en mesetas bastante suaves de aproximadamente 200 m de altura.

Se consideró en este caso que una pequeña extensión de la zona estándar de modelación sería suficiente para abarcar los elementos topográficos cercanos de mayor interés. Por lo tanto, se modeló un dominio de 5 x 5 km, con un paso de 125 m (Fig. 7.21). Las direcciones simuladas son S y N, que corresponden a las de mayor frecuencia en los registros de viento de la estación. La Tabla 7.6 incluye los parámetros de las corridas efectuadas con el modelo.

Tabla 7.6 Condiciones de aplicación del modelo: COBQUECURA

	Zona estándar
Dominio (km) .....	5 x 5
Altura del dominio (m) .....	500
Paso horizontal (m) .....	125
Tamaño de la grilla .....	41 x 41 x 10
Rugosidad superficial (m):	
mar .....	0.001
suelo .....	0.020
Casos modelados y direcciones de viento :	
Dirección S .....	caso A
Dirección N .....	caso B

- Resultados

La mayor deformación en el campo de viento se produce en los cerros y laderas que enmarcan la desembocadura del río Cobquecura. En ésta las velocidades decrecen de acuerdo al modelo en un factor 0.8, pero en los cerros de su lado sur se obtienen amplificaciones del orden de 1.2. Las figuras 7.21 y 7.22 ilustran los resultados obtenidos para este caso.

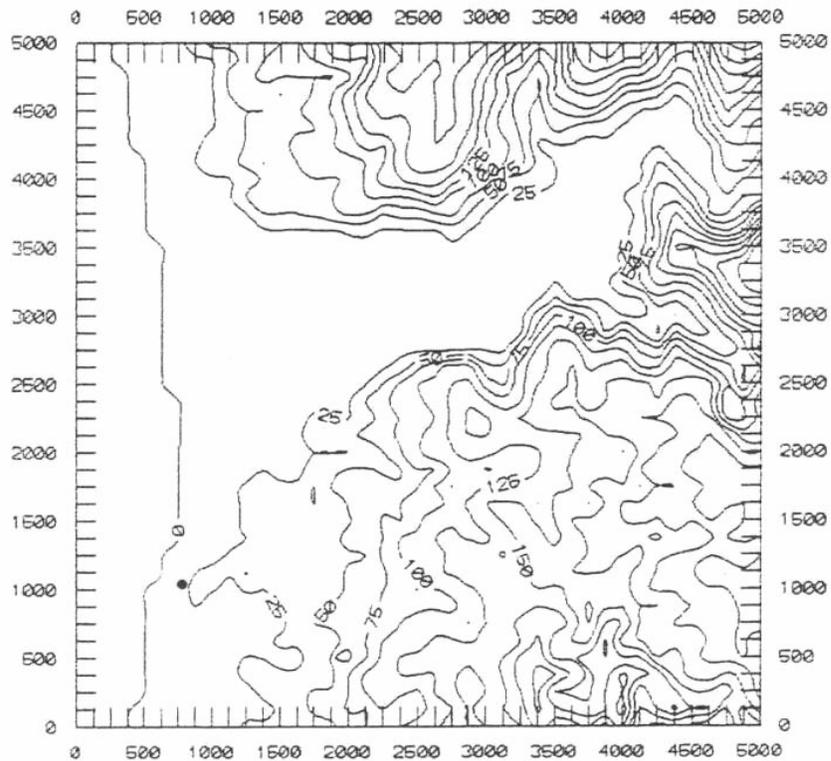


Fig. 7.21 Cobquecura: relieve topográfico de la zona de modelación estándar extendida (5 x 5 km). El punto indica la ubicación aproximada de la estación.

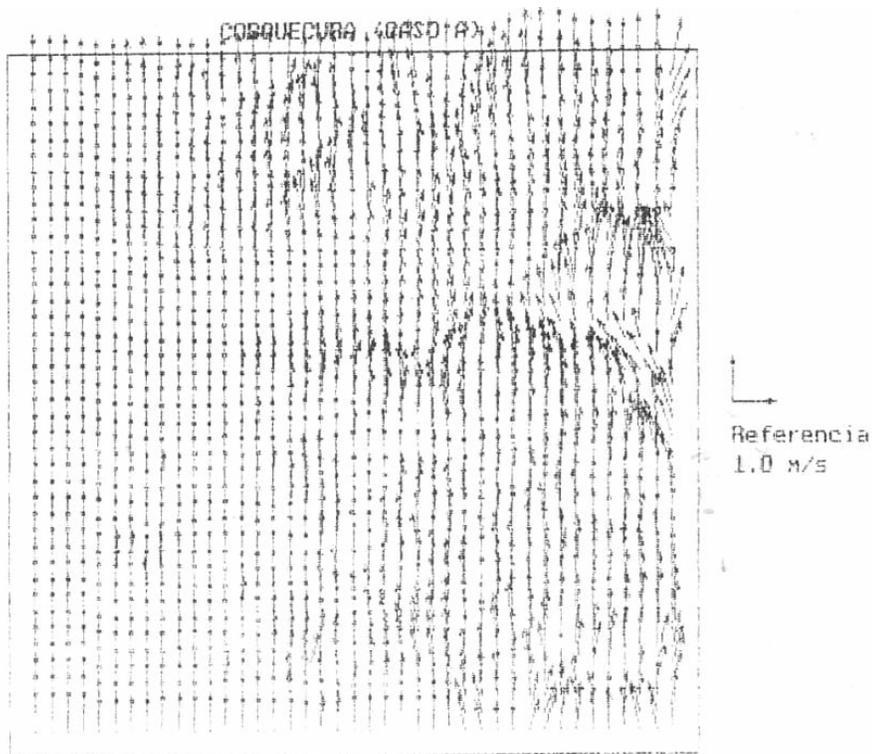


Fig. 7.22 Cobquecura: campo de viento resultante a 10 m sobre la superficie. Caso de viento con dirección S para zona de modelación estándar.

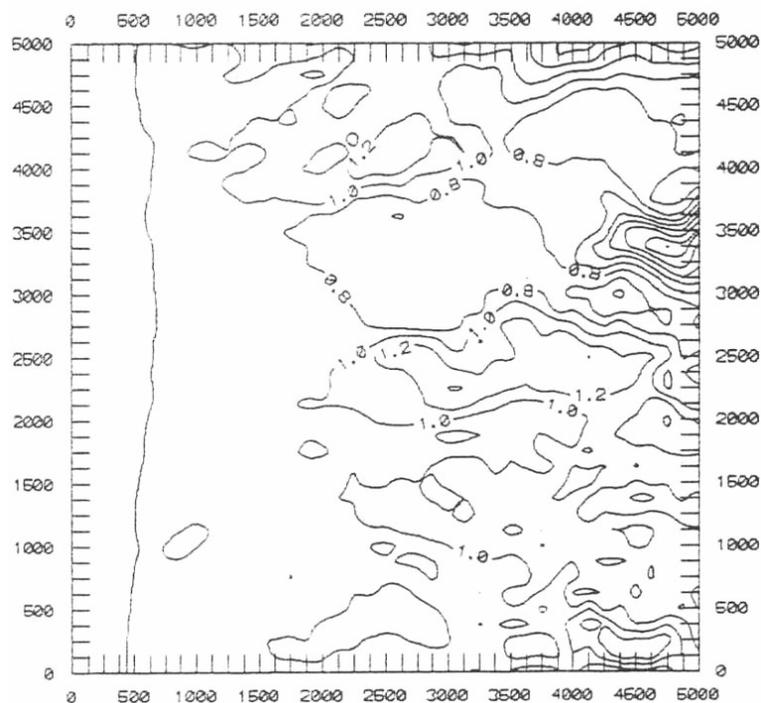


Fig. 7.23 factores de amplificación de la velocidad del viento para el mismo caso de

Cobquecura: la Fig. 7.22 .

### 7.3 Cálculo de factores de amplificación promedios.

Las mediciones de viento fueron hechas a 10 m de altura. El presente trabajo incluye, por otro lado, estimaciones de la potencia generable de equipos aerogeneradores ubicados a 25 m de altura sobre la superficie. Para las estaciones ajenas al proyecto la variación de la velocidad con la altura fue estimada mediante un perfil logarítmico típico de condiciones neutras. Para las seis estaciones del proyecto se utilizaron los resultados del modelo en la estimación de la velocidad del viento a 25 metros. Debe señalarse que el modelo utiliza igualmente un perfil logarítmico en la generación del campo de viento inicial, pero a continuación realiza un ajuste matemático que intenta incorporar el efecto que el relieve complejo induce en el campo de viento.

El procedimiento seguido fue extraer de los resultados del modelo las velocidades a 10 y 25 m en el o los puntos de grilla más cercanos a la ubicación real de la estación. Para cada dirección de viento modelada se calculó la razón entre las velocidades de ambos niveles. El factor final de transformación fue obtenido promediando estas razones, previa ponderación por la frecuencia aproximada que las respectivas direcciones representaban, para los casos de vientos mayores a 3 m/s. Los resultados numéricos se muestran en la Tabla 7.7.

Tabla 7.7 Factores de transformación entre velocidades de 10 m y 25 m en puntos de estaciones.

Lugar	Dirección	Factor	Ponderación %	Factor promedio
Punta de Toro	SSE	1.10	22	1.09
	S	1.09	59	
	SSO	1.07	19	
Cerro de Arena	SE	1.04	30	1.04
	SSE	1.04	36	
	S	1.04	34	
Los Vilos	SSE	1.19	24	1.17
	S	1.18	58	
	SSO	1.14	18	
Putú	SO	1.23	55	1.23
	NE	1.23	45	
Pahuil	S-SSO	1.24	50	1.24
	N	1.24	50	
Cobquecura	S	1.14	50	1.13
	N	1.13	50	

#### 7.4 Conclusiones.

Se ha desarrollado y aplicado un modelo de diagnóstico para la construcción del campo de viento sobre una región, a partir de datos de viento medidos en uno o más puntos de ella. Inicialmente los datos de viento se interpolan y extrapolan espacialmente, considerando una variación logarítmica de la velocidad con la altura y diferentes condiciones de rugosidad del terreno. A continuación se modela el efecto del relieve complejo sobre el campo de viento, a través de un ajuste matemático que

obliga al campo a cumplir la condición física de no divergencia y la condición de borde inferior de no deslizamiento.

Los aspectos físicos incluidos en el esquema de modelación están constituidos por la información que aportan los datos de viento, las distintas características de rugosidad de la superficie y el ajuste final para cumplir con la condición de conservación de la masa. Los campos de viento resultantes dependen fuertemente de la cantidad y calidad de las observaciones de viento que constituyen los datos de entrada, tal como ocurre con todo modelo de extrapolación.

El modelo no incluye explícitamente consideraciones sobre efectos térmicos que pueden afectar al campo de viento, por lo que está restringido a simular condiciones de estabilidad atmosférica neutra. No obstante, ésta es la situación más común cuando los vientos son fuertes, puesto que en tales casos la atmósfera se encuentra bien mezclada, debido al efecto de turbulencia mecánica inducido por la velocidad del viento.

Dentro del trabajo desarrollado no se efectuó una validación explícita del modelo, por cuanto éste corresponde a esquemas de cálculo ya utilizados por diversos autores y descritos en la bibliografía especializada del tema. Al respecto, puede citarse el trabajo de Walmsley *et al.* (1990), en el cual se comparan los resultados de un modelo semejante a éste con otros tres modelos y con mediciones reales (ver referencia en Anexo IV).

Con todo, las aplicaciones realizadas muestran que el modelo utilizado puede ser útil en la visualización de la deformación que el relieve complejo induce sobre el campo de viento y en la identificación de áreas de bajo recurso eólico y de otras de mayor disponibilidad. En tal sentido, los resultados del modelo muestran que para las zonas costeras en las que fue aplicado, los mejores lugares desde el punto de vista del aprovechamiento eólico son los promontorios bien expuestos a la dirección predominante de los vientos más fuertes. La cercanía a la línea de la costa reduce el

efecto de desaceleración que la mayor rugosidad del continente ejerce sobre el viento, en tanto que la contracción de las líneas de corriente producida por el paso del aire sobre un promontorio agrega una aceleración adicional al flujo.

Lo anterior lleva a la posibilidad de estimar la ubicación de otras zonas de mayor disponibilidad eólica, a lo largo del litoral central chileno. Por ejemplo, al mirar las cartas 1:50.000 en las zonas de algunas de las estaciones del proyecto, es posible advertir lugares en que es probable un aumento importante del potencial eólico respecto del medido en las estaciones. Tal es el caso de la Punta Iglesia de Piedra, 4 km al NNO de Cobquecura, la Punta Santa Ana, 7 km al NO de Pahuil, y el Cabo Tablas, 4 km al oeste de la estación Los Vilos. La consideración del párrafo anterior puede servir también de explicación para casos de alto potencial eólico, como por ejemplo, Punta Curaumilla en la V Región.

Finalmente, cabe señalar que el modelo no reemplaza la necesaria realización de mediciones de prospección del recurso, puesto que para su aplicación requiere datos de viento de la zona. Sin embargo, por diversos motivos, las estaciones de medición pocas veces se instalan en los lugares más aptos desde el punto de vista eólico, por lo cual un modelo como éste ayuda en la identificación de los factores del relieve cercano que hacen perder representatividad a la medición real, y ayuda también a esbozar un mejor cuadro de la disponibilidad de potencial eólico de la zona en estudio.