

Tesis de Posgrado

Modelado numérico de la dispersión de un contaminante por la circulación de brisas de mar y de tierra en la zona de Puerto Madryn

Rodríguez Seró, Juan Antonio

1981

Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Ciencias Meteorológicas de la Universidad de Buenos Aires

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales y de maestría de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en digital.bl.fcen.uba.ar. Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in digital.bl.fcen.uba.ar. It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

Cita tipo APA:

Rodríguez Seró, Juan Antonio. (1981). Modelado numérico de la dispersión de un contaminante por la circulación de brisas de mar y de tierra en la zona de Puerto Madryn. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_1681_RodriguezSero.pdf

Cita tipo Chicago:

Rodríguez Seró, Juan Antonio. "Modelado numérico de la dispersión de un contaminante por la circulación de brisas de mar y de tierra en la zona de Puerto Madryn". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1981.

http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_1681_RodriguezSero.pdf

EXACTAS UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



UBA

Universidad de Buenos Aires

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA

"MODELADO NUMERICO DE LA DISPERSION DE UN CONTAMINANTE POR LA
CIRCULACION DE BRISAS DE MAR Y DE TIERRA EN LA ZONA DE PUERTO MADRYN"

Elaborada por el Licenciado Juan Antonio Rodriguez Seró
para acceder al título de Doctor en Ciencias Meteorológicas

Director de Tesis : Doctor Vicente R. Barros.

1681
v1
y.3

I N D I C E

RESUMEN	ii
1. -INTRODUCCION	1
2. -CIRCULACION DE BRISAS DE MAR Y DE TIERRA Y SU MODELADO MATEMATICO	16
3. -ESTUDIO DE LA VALIDACION DE LOS DATOS DEL MO- DELO	37
4. -RESULTADOS	57
5. -CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
6. -AGRADECIMIENTOS	99
7. -REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	100

RESUMEN. -

Tras una revisión del problema del estudio y simulación de la dispersión de contaminantes en zonas costeras, se implementa un modelo matemático de la circulación de Brisas de Mar y de Tierra, y de la dispersión de contaminante por la misma.

Luego, se plantea un procedimiento para optimizar, en base a las predicciones del modelo, una red de medición y registro de contaminación; mediante el procedimiento presentado, es posible seleccionar conjuntos reducidos de puntos de la grilla del modelo, que contienen la mayor información sobre la distribución de contaminante. Esos puntos corresponden a sitios óptimos de medición; en el futuro, mediciones efectuadas en esos puntos permitirán la validación del modelo de dispersión usado y cuantificar de manera óptima la posible necesidad de modelos menos simples.

Aunque usado aquí para optimizar una red de estaciones de control de calidad del aire, el procedimiento es completamente general, y puede ser adaptado a cualquier parámetro para el cual se disponga de algún estimador confiable.

ABSTRACT. -

After a survey of problems posed by the study and simulation of pollutant dispersion near shores, a mathematical model of the Sea and Land Breezes circulation, and pollutant dispersion by this circulation is implemented.

Then, a procedure to optimize a pollution measurement and recording network is proposed, based on model output; it is possible to select with this procedure relatively few nodes of the model forecast containing maximum information on pollutant distribution in space and time. Those nodes are in correspondence with optimum observing sites; in the future, measurements obtained there will make possible a validation of the pollutant dispersion model used here, and to quantify in an optimal way the need for less simple models.

Though used here to optimize an air quality monitoring network, the optimization procedure is quite general, and can be adapted to any parameter for which a reliable estimator is available.

1. INTRODUCCION

El incremento constante de la actividad industrial ha traído como consecuencia el crecimiento de la contaminación producida por sus efluentes, y la fundada preocupación por sus efectos. Lo dicho, cierto a nivel mundial, lo es también en la Provincia del Chubut, cuyas autoridades requirieron del Centro Nacional Patagónico una estimación de los niveles de contaminación que podrían llegar a producirse como resultado de la planta primaria de aluminio de la empresa ALJAR S.A..

El presente trabajo, resultado de dicho requerimiento, dá por un lado información sobre la distribución espacial y temporal de contaminante, en especiales circunstancias (Brisa de Mar y Tierra) que pueden producir episodios de altas concentraciones, siendo éstos de mayor interés desde el punto de vista sanitario. Por otro lado, y éste es probablemente su resultado más importante, dá una estrategia de medición óptima, mediante la cual sería posible maximizar la información que se obtenga mediante determinación de contaminantes en la zona. Los elementos esenciales de generación de esta estrategia son de validez general; el presente trabajo muestra su aplicación concreta a la zona de Puerto Madryn y al caso del modelo de Brisa de Mar y Tierra, pero como se verá podría haber sido aplicado sin modificaciones esenciales a cualquier otra localidad y modelo.-

i) El empleo de modelo matemáticos para el estudio de la contaminación.

Cuando, como es frecuente, se desea prever el efecto contaminante de una fuente, es imposible partir puramente de la observación; es necesario recurrir a algún modelo con capacidad predictiva.

Los modelos matemáticos, por supuesto, no pueden dar más información que un conjunto idealmente completo de observaciones, pero sí anticipar la información sobre la distribución de contaminantes y

hacerla así manejable. Por ejemplo, una serie de experiencias muy completas realizadas durante las décadas de 1950 y 1960 han permitido desarrollar para el campo cercano de contaminación (distancias de la fuente del orden de 1 Km. ó menos) ó lo que es equivalente, tiempos de promedio cortos (del orden de media hora ó menos) el modelo de difusión de Pasquill - Gifford, de carácter predominantemente estadístico. Este modelo categoriza la estabilidad atmosférica en seis clases, en función de la velocidad del viento, la nubosidad y la insolación (ó falta de ella, es decir presencia de condiciones nocturnas); describe la dispersión de contaminante en la atmósfera mediante las ecuaciones llamadas de pluma Gaussiana. Ecuaciones similares pueden ya encontrarse en trabajos como el de Roberts, 1923, quien las derivó de la K - teoría (es decir, de transporte gradiente) ó el de Sutton, 1932, basado en consideraciones estadísticas; como modelos matemáticos de difusión utilizados para correlacionar datos experimentales, aparecen en 1957 en trabajos como el de Hay y Pasquill. La forma aplicable al estudio de concentraciones en superficie debidas a una fuente elevada ha sido considerada por Gifford, 1960; se han propuesto varios sistemas para la inclusión de información experimental sobre difusión y condiciones meteorológicas, de los cuales el más usado es el propuesto por Pasquill en 1961. Una comparación de distintos esquemas de tipificación de condiciones de dispersión turbulenta ha sido publicada por Gifford, 1975. Estas ecuaciones resultan de postular una distribución Gaussiana para las concentraciones de contaminante, pues es una de las soluciones de las ecuaciones diferenciales. Esto es comprobado también con determinaciones experimentales; y son válidas, estrictamente, en condiciones casi ideales de homogeneidad del terreno, estacionaridad de las condiciones meteorológicas y del caudal de emisión y un rango relativamente reducido de estabilidad (alrededor de la estabilidad neutra). Sin embargo, en las series de experiencias mencionadas (Prairie Grass y Porton) se ha podido

verificar que un ajuste adecuado de los coeficientes de difusión permite llevar las diferencias entre las concentraciones pronosticadas y observadas (con instrumental muestreador y analítico de muy alta precisión) a no más del 30% ó 40% para fuentes elevadas y distancias y tiempos como los indicados en el párrafo anterior. Algunos apartamientos de las condiciones idealizadas que se han mencionado son todavía manejables; los tiempos y distancias mayores no inducen inconvenientes de por sí (sino que al contrario hacen por un lado más plausible la hipótesis de distribución Gaussiana) sino a través de la mayor probabilidad de variaciones en la emisión, en las características del terreno ó en las condiciones meteorológicas, pero cuando no se producen tales variaciones son fácilmente manejables. Aún un terreno rugoso, si es suficientemente homogéneo, permite utilizar exitosamente este tipo de modelo, aún cuando en este caso para un ajuste adecuado deben modificarse un poco las curvas "universales" de coeficientes de difusión de Pasquill y Gifford (ver por ejemplo, Briggs, 1973, y TVA, 1974.-

Un tipo de modelo aún más simple conceptualmente es el de los modelos "de caja". Estos modelos, utilizados sobre todo para el estudio de transporte de contaminantes a grandes distancias de las fuentes, esencialmente suponen que los contaminantes están "bien" (uniformemente) mezclados en una "caja" (celda) ideal, cuyo límite superior es la altura de mezcla por la tarde (ver, por ejemplo, Liu y Goodin, 1976). Si bien el concepto central es simple, en las condiciones de utilización habituales, ya mencionadas (tiempos y distancias de transporte grandes), por un lado resulta imprescindible para la simulación de casos reales tener en cuenta las variaciones espaciales y temporales de las condiciones meteorológicas (y por lo tanto disponer de información adecuada sobre las mismas); y por otro lado, para mantener la correspondencia con la realidad física es preciso (dado que la difusión queda, en el ámbito de este modelo, dominada

por el transporte) un planteo muy cuidadoso del formalismo numérico utilizado para la resolución, para que la acumulación de errores sobre cientos ó miles de pasos de tiempo no lleve, por ejemplo, a la no conservación de la masa u otras irrealidades físicas inaceptables. En cuanto a la disposición de las celdas ó "cajas", pueden ser fijas en el espacio ó móviles. En el primer caso, se tienen modelos bidimensionales (con las celdas cubriendo densamente el área de interés) como, por ejemplo, el de Mc Cracken y Grant, 1975; en el segundo, modelos de trayectoria, como el de Eschenroeder y otros, 1973. En los modelos de trayectoria se transporta la celda ó caja junto con el contaminante que contiene; en el modelo particular mencionado, una vez que se introduce contaminante dentro de la celda, puede tener lugar difusión vertical apreciable y una muy pequeña difusión horizontal. La técnica de las trayectorias es ventajosa cuando solo son de interés algunos pocos sitios receptores; con los modelos de cajas fijas, es necesario igual calcular concentraciones en muchas de ellas que no son de interés directo, en cambio con los modelos de trayectoria sólo es preciso calcular las relativamente pocas de ellas que unen al emisor con los receptores de interés. Creciendo en complejidad, se encuentran modelos que resuelven la ecuación de conservación de masa de contaminante explícitamente, sobre regiones y con definición variables según el caso. Algunos de ellos (utilizables sólo en regiones con una adecuada disponibilidad de información, poco común dado lo amplio de los requerimientos), como el de Shir y Shieh, 1974, ó el de Roth y otros, 1974, utilizan distribuciones de vientos observadas y K-teoría para parametrizar la difusión vertical. En los dos modelos mencionados, los coeficientes de difusión turbulenta se obtienen de una fórmula empírica, con parámetros que permiten ajustarlos de acuerdo con las observaciones; en los dos modelos los vientos en cada punto de la grilla utilizada (tridimensional) se obtienen por interpolación de valores observados, lineal ó ponderada con peso inversamente proporcional a la dis

tancia. Este procedimiento, por supuesto, no garantiza la conservación de la masa; y un ajuste que los hiciera conservativos implicaría, probablemente, un aumento considerable en sus requerimientos computacionales.-

Finalmente, hay modelos integrados que describen la dispersión de algún contaminante (por lo general inerte) en flujos de distinta complejidad, generados por el mismo modelo. Este tipo de modelo ha surgido, principalmente, como instrumento de investigación básica de la capa límite atmosférica, de su dinámica y de la interacción con la presencia de contaminantes. Algunos de ellos se han dirigido, incluso, a la extensión del estudio de la difusión de la capa límite de superficie a la capa límite planetaria y a la atmósfera libre; lo cual es razonable si se piensa que el paso de la contaminación local a la global es un proceso continuo. Varios de los modelos publicados (ver por ejemplo Saffman, 1962; Csanady, 1969; Okubo y Karweit, 1969; Kao y otros, 1975; Kao y Doran, 1976) son, como se ha dicho, principalmente herramientas de investigación básica; tratan sólo con momentos estadísticos de la distribución de contaminación, ó con difusión en flujos simples con cortante pura, más que con la distribución real de contaminante en la capa límite planetaria. No son, por sus idealizaciones, modelos para predicción concreta de contaminación. Dentro de este tipo, el modelo de Paegle y Kao, 1977, utiliza la aproximación de Ekman para estudiar el efecto de distintas condiciones de adsorción en superficie sobre la forma de la distribución de contaminante, tanto en la horizontal como en la vertical. Los autores afirman que el modelo es fácilmente extensible a coeficientes de difusión turbulenta variables con la altura, aunque sin estimar el aumento de requerimientos computacionales necesarios; y en el orden de aproximación usado, se considera un flujo independiente del tiempo.

Cuando el flujo que se desea considerar es de mesoescala y se pretende simular las condiciones reales, no es posible utilizar las

simplificaciones antes indicadas. De los modelos de mesoescala que simultáneamente predicen la dispersión de contaminantes y las condiciones meteorológicas, posiblemente el que incluye el conjunto más completo de procesos físicos sea el de Pandolfo y Jacobs, 1973; basado en un modelo tridimensional de la dinámica de la capa límite atmosférica, incluye efectos radiativos, flujos de calor dentro del suelo y un balance de energía en superficie sumamente detallado. Los efectos de la topografía están también incluidos, a través de la ecuación de continuidad que permite calcular las velocidades verticales resultantes suponiendo un campo de viento no divergente. Las ecuaciones para los contaminantes son casi independientes de las correspondientes a la dinámica, aunque hay una interacción a través del término radiativo en la ecuación de energía (termodinámica). En nuestro país, Labraga y Barros, 1979, han publicado un modelo de este tipo que incluye los efectos de calentamiento y compresibilidad para reproducir con fidelidad el campo cercano de contaminación producido luego del encendido de una chimenea. -

ii) Breve discusión sobre la validación de los modelos y sobre el diseño de sistemas de control de calidad del aire.

Dos cuestiones importantes, y en cierto modo interrelacionadas, son la de la validación de los modelos matemáticos (es decir, la determinación de su capacidad predictiva) y la del diseño de sistemas ó redes de estaciones de medición de contaminantes. -

En el primer aspecto, la situación que se plantea es similar a la que se encuentra al intentar comprobaciones de modelos de pronóstico de gran escala sobre áreas oceánicas, especialmente del Hemisferio Sur: Las observaciones disponibles son en el mejor de los casos relativamente escasas y poco confiables; y el costo de una mejora, en cualquiera de los dos sentidos, es de tal magnitud como para ser siempre considerable y en muchos casos irrealizable. Viene al caso

x

el comentario de Lyons, 1975: "Falta una 'teoría' elegante de la me teorología costera ... obviamente son necesarios modelos de predicci ón ... (pero) sin observaciones más extensas de estos fenómenos, nunca estaremos seguros de cuáles son los aspectos que es más importa nte modelar, ó de si nuestros modelos tienen una semejanza más que casual con la realidad ... La verdad es que hay una falta casi total (a escala mundial) de datos aún climatológicos de mesoescala adecuados para aplicación a problemas de calidad del aire en áreas costeras ... (porque) los programas de observaciones son muy costosos y ... se llegaría a gastos enormes aún antes de dar una climatolo gía realmente buena". La capacidad predictiva asignable a un modelo determinado resulta de la conjunción de dos aspectos diferentes y complementarios; por un lado, si se dispone de observaciones que abarquen información tanto meteorológica como de contaminación (aunque sea muy fragmentaria) puede aplicarse cualquiera de los parámetro s estadísticos usuales como medida de verificación (error cuadráti co relativo medio, coeficiente de correlación, Skill Score, etc.) a esas observaciones y a las predicciones correspondientes. Cuando se aplica este tipo de procedimiento, es importante tener en cuenta los errores que pueden introducir las fluctuaciones naturales de los parámetros a medir cuando, como es generalmente el caso, se dispo ne de un número reducido de estaciones de observaciones. Alternativamente, una vez aceptadas las hipótesis básicas de un modelo matemático (por ejemplo, conservación de masa, de cantidad de movimi ento, de momento angular y energía), sus resultados pueden confi arse que tengan el mismo grado de aproximación a la realidad (aún con las simplificaciones introducidas en las ecuaciones, y los método s aproximados que se utilicen para resolverlas).

Como es natural, el diseño de sistemas ó redes de estaciones de deter minación de contaminación plantea problemas relacionados. Lo deseable en principio es conocer con precisión los niveles de contamina ción en cada punto y en cada instante de la región y período de

interés; pero es evidente que tal definición es en la práctica inalcanzable. En la práctica, el número de estaciones de observación varía entre unas pocas (por lo menos una) hasta algunas docenas (sólo en casos excepcionales). La U.S. Environmental Protection Agency, 1971, por ejemplo, considera que los principales objetivos de las redes de medición de contaminación (e información relacionada, por ejemplo meteorológica), son:

- " 1: Determinar el cumplimiento de las reglamentaciones vigentes en materia de calidad del aire y/o el progreso en tal sentido.
- 2: Iniciar procedimientos de control de emergencia para prevenir y/o paliar los efectos de episodios de contaminación.
- 3: Observar las tendencias de la contaminación en la región, incluyendo áreas no urbanas. (la información sobre áreas no urbanas es necesaria para poder decidir si la calidad del área en los sectores menos contaminados de la región se está deteriorando significativamente ó no; y para tener un conocimiento adecuado de los niveles de base).
- 4: Para generar una base de datos aplicable a la evaluación de los efectos; a la planificación urbana, del uso del suelo y del transporte- al desarrollo y evaluación de estrategias para la disminución de la contaminación; y al desarrollo y validación de dispersión de contaminantes." .

Noll y Miller, 1977, indican que "la literatura disponible sobre el tema reconoce que el diseño de una red de control de calidad del aire implica un compromiso entre lo que se puede considerar deseable desde un punto de vista estrictamente técnico y lo que se puede hacer con los medios disponibles; una red técnicamente ideal requiere usualmente más recursos que los disponibles" .

La U.S. Environmental Protection Agency sugiere las siguientes guías para la ubicación de estaciones:

- " 1: El área prioritaria es la de mayores concentraciones de conta-

minantes en la región de interés, por lo cual una ó más estaciones deberían ubicarse en esta región.

- 2: Debe darse atención preferente a la medición en las áreas más densamente pobladas, especialmente cuando se encuentren cerca de, ó coincidan con, áreas de alta contaminación.
- 3: En los casos en los que resulte conveniente determinar la calidad del aire que ingresa en la región, deben ubicarse estaciones en la periferia de la misma; los factores de importancia primaria para la ubicación de las mismas son meteorológicos (frecuencias de direcciones y fuerza de vientos, estabilidades, etc.).
- 4: Para poder estimar los efectos sobre el ambiente de desarrollos futuros, es deseable efectuar controles en áreas donde se proyecte crecimiento (urbano ó industrial).
- 5: Dado que un objetivo importante es la evaluación del progreso en la calidad del aire, deben disponerse las estaciones de modo de facilitar, en lo posible, la evaluación de las técnicas de control que se implementen.
- 6: Debería poder lograrse información que, en alguna medida, represente todas las porciones de la región." .

La aplicación de estos criterios no lleva a un resultado (distribución en el espacio de los sitios de medición) único; al respecto puede citarse la observación de Pooler, 1974, respecto de las ubicaciones elegidas para las observaciones del proyecto RAPS, en Saint Louis: " ... los medios dedicados a la red de observación deben balancearse con los requeridos por otros componentes del esfuerzo total ... " . " El número planteado originalmente de estaciones de medición, mínimo en función de la calidad deseada de los resultados, era de 40 ó 50 ... pero después de considerar los costos ... y el mínimo de calidad de información útil ... se redujo a 25. El método fué bastante subjetivo, análogo a clavar alfileres al azar sobre un

mapa de la región, en base a algunos criterios generales" .

Se han publicado varias metodologías sistemáticas para la ubicación de estaciones de medición (ver, por ejemplo, la recopilación de Noll y Miller, 1977); todas ellas contienen algunos elementos empíricos, y llevan a redes con "entre 5 y 15 estaciones, ó a veces más", para determinaciones "aceptables" de la distribución de contaminación. Los trabajos de McElroy, 1978; Moore y otros, 1980; y Moore, 1980, presentan metodologías estadísticas para selección de sitios para determinación de contaminantes; en el más avanzado de ellos, Moore, 1980, se determina con dichas metodologías el "máximo factor de reducción" en el número de estaciones, para varios casos. En el más detallado de los que se presentan, dicho factor es de 0,2 para una grilla de 100 nodos, es decir, resulta una red de aproximadamente 20 estaciones, estimándose una cota de error resultante de 40%. Hay que ver que las metodologías indicadas son complejas: Necesitan no sólo la predicción de distribución en cada punto sino también de distribuciones condicionales múltiples; y el algoritmo de procesamiento es de tiempo polinomial, pero con exponente mayor que 2 (ver Moore y otros, 1980).-

iii) Objetivo del presente trabajo.

Este trabajo se halla orientado a la definición de una metodología óptima para el estudio y estimación de la contaminación en la zona de Puerto Madryn bajo condiciones de Brisa de Mar y Tierra. Ello involucra dos aspectos:

- iii a) Encontrar, disponiendo de un modelo con capacidad predictiva de la contaminación, una metodología que haga óptima la medición, en el sentido de obtener mediante mediciones en relativamente pocos sitios y en combinación con el modelo mencionado, máxima información sobre el total de la distribución de contaminantes y sus variaciones temporales, proveyendo

una estimación del error probable; y eventualmente si se llega a disponer de mediciones adecuadas, efectuar una validación de la capacidad del modelo para predecir distribuciones de contaminantes. Una ventaja de este enfoque es que no es preciso conocer exactamente el caudal de emisión; pueden obtenerse del modelo de dispersión concentraciones normalizadas en función del caudal de la fuente. En muchas situaciones no es posible conocer con precisión aceptable dicho caudal, por varios motivos de orden práctico; como se verá, con mediciones adecuadas es posible ajustar dicho parámetro cuando no se lo conoce de manera de reproducir aceptablemente las concentraciones producidas en superficie por una fuente de contaminante. El método propuesto utiliza, como se verá más adelante, el desarrollo singular de la matriz de concentraciones en superficie a lo largo del tiempo producidas por el modelo para determinar cuáles son, de todos los puntos de la grilla considerada, los que permiten reconstruir con mínimo error cuadrático el total de la matriz de concentraciones en superficie en todo el período de interés. Este método es aplicado en el presente trabajo a la solución de un problema concreto de la zona de Puerto Madryn, pero es de alcance completamente general; es aplicable tanto a cualquier otra localidad como a otros problemas de optimización.

- iii b) Modelo matemático utilizado: Publicaciones referentes a la zona de interés (Barros y Cejas, 1975; Barros, 1976) confirman lo que podía suponerse en base a otras referentes a otras regiones costeras (ver, por ejemplo, los estudios muy completos de Lyons y Olsson, 1973; y Keen y Lyons, 1978, sobre los efectos de la brisa del lago Michigan sobre la dispersión de contaminantes en los alrededores de las ciudades de Chicago, Illinois y Milwaukee, Wisconsin).
- Esencialmente, los episodios de mayores concentraciones de contaminantes provenientes de fuentes costeras, especialmen-

te en receptores ubicados a distancias medianas (8 a 16 Km.) se producen en situaciones de estabilidad atmosférica y vientos dirigidos hacia tierra. Estas situaciones son relativamente frecuentes en regiones costeras acompañando a la circulación de Brisas de Mar y de Tierra. Esta circulación local es, por supuesto, modificada por la superposición de la circulación de mayor escala; las máximas concentraciones, sin embargo, se encuentran cuando dicha circulación de gran escala (sinóptica) es suave ó no apreciable. Este tipo de situación (de calma en escala sinóptica cuando se eliminan los efectos de circulaciones locales) se encuentra en la zona de Puerto Madryn en promedio varias veces por año; de manera que una simulación que utilice como campos de viento, estabilidad y difusión los correspondientes a una circulación de Brisa de Mar y de Tierra sin circulación de gran escala superpuesta, sería la más adecuada para estudiar episodios de alta contaminación (por ejemplo, del tipo que reglamentaciones de otros países refieren cuando fijan máximos de concentraciones de determinados contaminantes que no deben ser excedidos más de una hora por año, en promedio). Las observaciones meteorológicas realizadas en Puerto Madryn (ver Rivero y Barros, 1975; Barros y Cejas, 1975; y Scian, 1976) permiten dar con buena confiabilidad la distribución de temperatura del aire en superficie en días con Brisa de Mar. Las mediciones de vientos permiten estimar la magnitud de la velocidad del viento, y la penetración de la rotación del viento típica del pasaje del frente de brisa y de la onda que lo precede, como también indicar cualitativamente las características de las variaciones en el tiempo (tanto de fuerza como de dirección); pero no son de precisión suficiente como para poder interpolar un campo consistente en cuanto a la conservación de masa. Esta fué la razón que condujo en su momento a la simulación (ver Rodriguez Seró, Aiello y Labraga, 1979) de la

dinámica de esta circulación mediante un modelo matemático. Al comenzar el proyecto se examinó cuidadosamente la necesidad de la utilización de un modelo tridimensional para establecer la dinámica de la circulación de Brisas de Mar y de Tierra. Por un lado, discusiones publicadas hace ya tiempo por varios autores (ver, por ejemplo, Leith, 1969; Lilly, 1969; Deardorff, 1973) sugieren que una representación fiel de los fenómenos físicos involucrados requiere la utilización de un modelo tridimensional. Por otro lado, este tipo de modelos tiene requerimientos computacionales sumamente onerosos. Una simulación efectuada por Pielke con versiones bidimensional y tridimensional del modelo de mesoescala de la Universidad de Virginia sugiere que, con un ajuste adecuado de la difusión horizontal, ambas versiones pueden producir resultados equivalentes si no hay grandes variaciones (ni en las características meteorológicas ni en las del terreno) en dirección paralela a la costa; aunque es necesaria la simulación tridimensional cuando se presentan tales variaciones (ver Pielke, 1974). Lo dicho llevó a la decisión de utilizar un modelo bidimensional para describir la dinámica de la circulación de Brisas de Mar y de Tierra en la zona de Puerto Madryn. Se efectuaron como control algunas experiencias con un modelo tridimensional extremadamente simplificado que mostraron un notable aumento en el tiempo de cómputo necesario, como se describe más adelante, en la sección 2. En dicha sección se comentan los antecedentes de publicaciones sobre el modelado de la circulación de Brisas de Mar y Tierra; como también los antecedentes del estudio de su influencia sobre el destino de los contaminantes emitidos en regiones costeras.

El análisis efectuado en la sección mostrará, en opinión del autor, que las simplificaciones y aproximaciones efectuadas son congruentes entre sí y con el objetivo propuesto, que era

disponer de un modelo matemático con capacidad predictiva de la dinámica de la circulación de Brisas de Mar y Tierra y del efecto de la misma sobre la distribución de contaminación; y poder así aplicar la metodología de optimización de red de observación propuesta, que es el resultado más importante y original del presente trabajo. El modelo bidimensional de la dinámica de esta circulación es, como se comentará en la sección 5 , un primer paso en el modelado de esa dinámica; y es probable que cuando en el futuro se cuente con información observacional más detallada que permita validarlo, sea conveniente implementar un modelo tridimensional.-

Para describir la distribución de contaminante desde una fuente puntual (como puede considerarse en la zona), se integró la ecuación de continuidad de masa de contaminante en una grilla tridimensional; (más adelante se describirán en detalle los resultados, en la sección 4).-

iv) Como se ha dicho, es de esperar que, en la zona de Puerto Madryn episodios de altas concentraciones de contaminantes se produzcan en situaciones de Brisa de Mar. Por ello, se ha implementado un modelo matemáticamente simple y de necesidades computacionales relativamente modestas para simular la distribución de contaminantes en esas condiciones.

En un futuro cercano (dos a tres años) se podrá contar con un máximo de seis medidores - registradores automáticos de compuestos totales de fluor; utilizando los resultados del modelo ya indicado, se ha optimizado la ubicación de hasta esa cantidad de estaciones muestreadoras.

El énfasis que se hace, aquí y en otros puntos de este trabajo, en los compuestos totales de fluor, se debe al particular significado de los mismos en la zona. Estos compuestos constituyen uno de los efluentes más prominentes de las plantas reductoras de aluminio que

utilizan la misma tecnología que Aluar S.A.; y las instalaciones de esta empresa constituyen la única fuente de estos compuestos en la zona de Puerto Madryn. Esta circunstancia al mismo tiempo justifica el interés de los organismos encargados del saneamiento ambiental; simplifica un aspecto del modelado matemático (el inventario de emisores se reduce a uno solo); y mejora la confiabilidad de las predicciones teóricas, de las observaciones y de las intercomparaciones que se efectúen entre las mismas (ninguno de estos aspectos puede ser, en esta zona, distorsionado ó enmascarado por los efectos de otras fuentes).

Finalmente, cabe destacar la principal novedad de este trabajo, que es la metodología usada para la optimización, en base a inversas generalizadas; de las matrices espacio-temporales de contaminantes en superficie, en el presente caso. Aplicada en la zona de Puerto Madryn, para demostrar su factibilidad, no se agota en este ejemplo particular sino que por el contrario es (como se podrá ver más adelante, en la sección 3) de aplicación absolutamente general.-



2. CIRCULACION DE BRISAS DE MAR Y DE TIERRA Y SU MODELADO MATEMATICO

La circulación de Brisas de Mar y de Tierra es, en cierto modo, el fenómeno meteorológico de mesoescala tal vez menos complejo. La alternancia de los vientos cerca de las costas con el paso del día a la noche era, probablemente, conocida por los navegantes desde la aparición de las velas; y los navarkas griegos usaron con ventaja esta información para formular tácticas exitosas para resistir las invasiones de los persas. Hay publicaciones con observaciones de este fenómeno desde hace por lo menos dos siglos; lo mismo que de la brisa de los grandes lagos, comparable en sus características observables y en cuanto a los mecanismos físicos subyacentes.

Sobre el modelado matemático de la circulación de Brisas de Mar y de Tierra hay una literatura amplísima, contándose los trabajos publicados por centenares, lo que hace prácticamente imposible una revisión absolutamente exhaustiva. Es posible, sin embargo, intentar la mención de algunos de los más citados, y sobre todo de aquellos que ilustran los progresos ó refinamientos que han ido progresivamente introduciéndose.

Wexler, 1946, publicó un estudio basado en un modelo linealizado, lo mismo que Defant en 1951; ninguno de los dos modelos (que utilizan métodos de linealización y aproximaciones diferentes) incluye los intercambios de calor que son un aspecto importante de la realidad observable del fenómeno.

Pearce, en 1955, publicó los resultados del primer intento de resolver un modelo no lineal. En este modelo se incluía el calentamiento, aunque a través de un mecanismo un poco artificial, ya que la transferencia vertical de calor no dependía de los campos de temperatura y velocidad.

Fisher, en 1961, publicó un modelo que mejoraba ese aspecto modelando la difusión de calor y la cantidad de movimiento mediante una K-teoría; aunque usaba coeficientes de difusión empíricos, constantes en

el tiempo. También presentaba un esquema de resolución más eficiente.

Estoque, en trabajos publicados en 1961 y 1962, utilizó un modelado análogo de la difusión, pero con coeficientes que eran funciones del flujo en cada instante; y tuvo también en cuenta el efecto de la situación de mayor escala (sinóptica).

Los modelos mencionados hasta ahora son bidimensionales. McPherson, 1970, utilizó un modelo tridimensional para estudiar el efecto de una costa no rectilínea. Su modelo, de geometría idealizada, incluía un "golfo" cuadrado en una costa rectilínea indefinida.

Neumann y Maher, en trabajos publicados en 1971, 1974 y 1975, utilizaron también modelos tridimensionales para estudiar los efectos de geometrías particulares. Mas generales son los modelos de Pielke, 1974, y Physick, 1976.

En 1977 Mahrer y Pielke publicaron los resultados de un estudio de los efectos de la topografía sobre un modelo bidimensional de circulación de Brisas de Mar y de Tierra. Más adelante, los mismos métodos de análisis han sido incorporados al muy completo Modelo de Circulaciones de Mesoescala de la Universidad de Virginia.

Aunque no fué desarrollado específicamente para la simulación de la circulación de Brisas de Mar y de Tierra, hay que mencionar el modelo de circulaciones de mesoescala del Center for the Environment and Man, desarrollado por Pandolfo y Jacobs. Este modelo, que ha sido objeto de sucesivas modificaciones y refinamientos, surgió de la necesidad de tener información meteorológica donde no se dispone de las mediciones deseables. Este aspecto es, incidentalmente, el que llevó al modelado atmosférico en este proyecto (en una escala más modesta, por supuesto).

Aunque los antecedentes de estudio y modelado de la circulación de Brisas, como se puede ver de la sucinta revisión del párrafo anterior, vienen de hace varias décadas, fué recién desde la de 1960 que en las publicaciones científicas empezó a notarse una manifestación

ción del interés por los problemas de contaminación especiales que ésta circulación plantea en zonas costeras.

Lyons, en 1975, escribía "Observaciones de mesoescala en las costas del lago Michigan ... (especialmente) en el área de Chicago han revelado que la calidad del aire cerca de la línea de la costa puede ser seriamente afectada por las brisas del lago y de tierra. Lamentablemente, este problema es mucho más complejo que el caso relativamente simple del flujo gradiente hacia tierra, con dificultades tanto de observación como de simulación computacional vastamente mayores ... Las observaciones imperfectas disponibles sugieren que, aunque con Brisa de Mar no se refuerce la concentración en el punto primario de fumigación, inmediatamente tierra adentro de un emisor costero, puede elevar grandemente los niveles de contaminación en áreas urbanas (ubicadas a distancias de algunos kilómetros) debido a la forma particular de transporte" .

Una de las primeras referencias que pueden encontrarse en bibliografía respecto de dispersión de contaminante en regiones costeras es el informe de Prophet, 1961. La publicación de Slade, de 1962, y la de Hewson, Gill y Walker de 1963, como de la Bierly del mismo año, consideran el problema de la difusión costera con variados grados de generalidad; a partir de la publicación de Van der Hoven de 1967, se encuentra un aumento de las referencias al tema. Pueden encontrarse referencias a los efectos de brisas de mar y de lago específicamente desde los trabajos de Cole y Lyons, de 1971, de Lyons de 1972, de Lyons y Olsson de 1973 y Keen y Lyons de 1975. Desde la última fecha mencionada, las publicaciones sobre el tema se hacen demasiado numerosas como para intentar aquí una revisión completa de la literatura disponible.

Hay que destacar que en casi todos los casos estudiados en las publicaciones efectuadas hasta el presente, el estudio experimental de las distribuciones de contaminantes se ha visto seriamente complicado por la multiplicidad de fuentes; lo que ha llevado, en algu

nos de ellos, al empleo de trazadores emitidos a los fines de la realización de la experiencia. Una de las ventajas que ofrece en este sentido la zona de Puerto Madryn es proveniente del hecho de haber una sola fuente de compuestos de flúor, que es lo que se desea estudiar. Estos compuestos de flúor son emitidos desde un conjunto de chimeneas que cubre de manera, en primera aproximación, homogénea, una área cuadrada de 400m. de lado, y a una altura efectiva (determinada a partir de determinaciones fotográficas) de aproximadamente 40m. Desde el punto de vista de la descripción del campo cercano de contaminación, esta fuente puede considerarse como un área emisora aproximadamente homogénea (ó con mayor detalle, como un conjunto de cuatro fuentes lineales); pero a distancias de un orden de magnitud mayor que las dimensiones de la fuente, se la puede aproximar con un emisor puntual. -

2.1. Modelo de la circulación de Brisas de Mar y de Tierra utilizado en el presente trabajo.

El sistema de ecuaciones de la dinámica de Brisa utilizado es similar al incluido en un trabajo previo del autor (ver Rodriguez Seró, Aiello y Labraga, 1979), pero con otra descripción de la difusión turbulenta; se han utilizado, ya no coeficientes empíricos, sino variables en el tiempo en función del flujo y de la estabilidad. También se ha modificado el esquema temporal de integración y el programa para computadora usado para la obtención, registro y presentación de los resultados; y se ha resuelto en tres dimensiones la ecuación de transporte y difusión de contaminante. -

a) Sistema simplificado de ecuaciones.

El comportamiento de la dinámica de la circulación de Brisas de Mar y de Tierra se encuentra gobernado por la ecuación de movimiento (en sus tres componentes), la ecuación de energía (difusión de calor) y la ecuación de conservación de masa (ó de continuidad); la distribución de contaminante, por poderse lo considerar inerte (lo que se desea conocer es la distribución

de compuestos de flúor totales, que no varía durante el transporte en la atmósfera) está determinada simplemente por la conservación de la masa del mismo, ya que dentro del orden de aproximación empleado no se tiene en cuenta la interacción radiativa (que, en un orden superior de aproximación, actuaría directamente sobre el campo de temperatura e indirectamente sobre los de las otras variables dinámicas). Las aproximaciones introducidas son las conocidas en conjunto como " aproximación de Boussinesq " (ver , por ejemplo, Spiegel y Veronis , 1959) . Como ya se mencionó en la Introducción, Pielke, 1974, ha mostrado que, aunque no puedan ser completamente fieles a la física del problema, los modelos bidimensionales pueden en costas sin grandes variaciones a lo largo de las mismas (homogéneas) producir resultados cualitativamente iguales y cuantitativamente equivalentes a los de modelos tridimensionales. Al mismo tiempo, son mucho más practicables desde el punto de vista de los requerimientos computacionales para su solución; aspecto que se tratará más detalladamente en otra sección. Las aproximaciones y simplificaciones utilizada, entonces, corresponden a un flujo bidimensional, incompresible y en equilibrio hidrostático; así, en coordenadas cartesianas, la ecuación de continuidad que en general es:

$$-\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}$$

se puede escribir:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

donde se ha tomado el eje x horizontal, normal a la línea

de la costa y positivo hacia tierra; el eje y horizontal, paralelo a la línea de la costa y positivo hacia la izquierda del eje x; y el eje z formando una terna derecha con los dos anteriores, es decir, vertical y positivo hacia arriba. Las componentes de la velocidad correspondientes son, respectivamente: u, v y w; y ρ es la densidad.

La suposición de incompresibilidad se limita, por supuesto, a la ecuación de continuidad, ya que las variaciones de densidad por calentamiento diabático son esenciales para el desarrollo de la circulación que se quiere estudiar. La validez de la suposición de incompresibilidad ha sido estudiada por muchos autores (ver, por ejemplo, desde Fleagle, 1948 hasta Neumann y Mahrer, 1971, pasando por Estoque, 1961), y no parece difícil de justificar en el caso presente, dentro del orden de aproximación buscado. Las variaciones de temperatura con el tiempo en las capas más bajas de la atmósfera pueden considerarse, en promedio, no mayores que 3°K/hr ; y suponiendo que las variaciones de densidad se deben en primera aproximación a las variaciones de temperatura, ó sea que las variaciones de presión y sus efectos son de orden superior (la aproximación de Boussinesq), y se puede, a partir de la ecuación de estado, escribir:

$$\frac{d\rho}{dt} = - \frac{p}{R} \frac{1}{T^2} \frac{dT}{dt}$$

donde p es la presión, R es la constante de los gases para el aire seco y T la temperatura absoluta. Se puede ver que si la presión es de 1000 mb y la temperatura absoluta de alrededor de 300 K, $\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt}$ es del orden de 10^{-6} seg^{-1} ; en

comparación, los términos de divergencia de la ecuación de

continuidad, en un fenómeno de mesoescala como la circulación de Brisas de Mar y de Tierra, son del orden de 10^{-4}seg^{-1} (como resulta de considerar variaciones de velocidad del orden de $6 \text{m} \cdot \text{seg}^{-1}$ sobre distancia del orden de 60 Km). Por todo lo dicho, y al considerarse un flujo bidimensional, puede definirse una función corriente tal que sea :

$$u = - \frac{\partial \psi}{\partial z} \quad \text{y} \quad w = \frac{\partial \psi}{\partial x}$$

Además, como se desea partir de condiciones de calma en gran escala (sinóptica) se integrarán las ecuaciones de movimiento despreciando los gradientes horizontales de presión. Si además se supone que la difusión turbulenta es igual para ambas componentes horizontales y despreciable para la componente vertical, estas ecuaciones quedarán como :

$$\frac{du}{dt} = - \alpha \frac{\partial p}{\partial x} + fv + \alpha \frac{\partial}{\partial z} \left(K_m \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

$$\frac{dv}{dt} = - \alpha \frac{\partial p}{\partial y} - fu + \alpha \frac{\partial}{\partial z} \left(K_m \frac{\partial v}{\partial z} \right)$$

$$\frac{dw}{dt} = - \alpha \frac{\partial p}{\partial z} - g$$

donde α es el volumen específico, f es el parámetro de Coriolis, K_m es el coeficiente de difusión turbulenta de cantidad de movimiento (viscosidad turbulenta), g es la aceleración de la gravedad y p es la presión. Para obtener la tendencia de la vorticidad alrededor del eje y, n , se puede calcular las derivadas cruzadas de la primera y de la tercera y restarlas, con lo que se llega a:

$$\frac{\partial(\eta)}{\partial t} = -V \cdot \nabla \eta + f \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial \alpha}{\partial x} \frac{\partial p}{\partial z} - \frac{\partial \alpha}{\partial z} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left[\alpha \frac{\partial (K_m \frac{\partial u}{\partial z})}{\partial z} \right]$$

El término solenoidal $\frac{\partial \alpha}{\partial x} \frac{\partial p}{\partial z} - \frac{\partial \alpha}{\partial z} \frac{\partial p}{\partial x}$ puede transformarse en una forma más conveniente substituyendo el volumen específico a partir de la ecuación de estado, es decir:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial x} \frac{\partial p}{\partial z} - \frac{\partial \alpha}{\partial z} \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{R}{P} \left[\frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial p}{\partial z} - \frac{\partial T}{\partial z} \frac{\partial p}{\partial x} \right]$$

Si se tiene en cuenta que:

$$\frac{\partial T}{\partial x} \approx 10^{-4} \text{ K m}^{-1}; \quad \frac{\partial p}{\partial z} \approx 10^{-1} \text{ N m}^{-3} \quad \text{es} \quad \frac{\partial p}{\partial z} \frac{\partial T}{\partial x} \approx 10^{-5} \text{ N K m}^{-4}$$

y:

$$\frac{\partial T}{\partial z} \approx 10^{-2} \text{ K m}^{-1}; \quad \frac{\partial p}{\partial x} \approx 10^{-4} \text{ N m}^{-3} \quad \text{es} \quad \frac{\partial T}{\partial z} \frac{\partial p}{\partial x} \approx 10^{-6} \text{ N K m}^{-4}$$

se puede ver que el término $\frac{\partial T}{\partial z} \frac{\partial p}{\partial x}$ es por lo menos un orden

de magnitud menor que $\frac{\partial p}{\partial z} \frac{\partial T}{\partial x}$ y por lo tanto despreciable

frente al mismo. Y substituyendo $\frac{\partial p}{\partial z}$ en la ecuación de pro-

nóstico de la vorticidad, se le puede reescribir:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = -V \cdot \nabla \eta + f \frac{\partial v}{\partial z} - \frac{g}{T} \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left[\alpha \frac{\partial (K_m \frac{\partial u}{\partial z})}{\partial z} \right]$$

Para calcular el término $\frac{g}{T} \frac{\partial T}{\partial x}$ se lo puede descomponer:

$$\frac{g}{T} \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{g}{\theta} \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right)_z + \frac{Rg}{CvP} \left(\frac{\partial P}{\partial x} \right)_z$$

y como el primer término del segundo miembro es del orden de 10^{-6} seg^{-2} mientras que el segundo es de un orden de magnitud menor, aproximadamente:

$$\frac{g}{T} \frac{\partial T}{\partial x} \approx \frac{g}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial x}$$

Substituyendo en la ecuación de pronóstico de la vorticidad y escribiendo ésta en términos de la función corriente, se llega a:

$$\frac{\partial (\nabla^2 \psi)}{\partial t} = - \nabla \cdot \nabla (\nabla^2 \psi) - f \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{g}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial x} - \frac{\partial z}{\partial z^2} \left(\alpha^* K_m \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

donde, coherentemente con las otras aproximaciones efectuadas, se ha substituído el volumen específico local por un volumen específico medio α^* .

Se ve que en lugar de la temperatura sensible aparece la temperatura potencial, lo cual es consecuente con la aproximación de Boussinesq (ver por ejemplo, la ecuación 34 del trabajo de Spiegel y Veronis, 1959).

La ecuación de difusión de calor, para pronóstico de la temperatura potencial, puede escribirse:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = - \nabla \cdot \nabla \theta + \frac{\partial}{\partial z} (KH \frac{\partial \theta}{\partial z})$$

La ecuación de conservación para el contaminante se puede escribir como:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -V \cdot \nabla C + \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial C}{\partial z} \right) + q$$

de manera equivalente. Se encuentra aquí un término de producción, debido a la fuente de contaminante; más adelante, en la descripción detallada de los resultados, se indicará cómo se lo ha normalizado.

Se decidió, para independizarse de la magnitud absoluta de la producción de contaminante (dependiente no sólo de la cantidad de mineral reducido sino también del manejo del paso de corriente por las cubas) utilizar una producción de 1 seg^{-1} ; de esta manera, los resultados serán también concentraciones normalizadas, y para obtener los valores absolutos de cada caso sólo se necesita multiplicarlos por el valor absoluto, dato al menos en principio disponible, a partir de información sobre la operación de la planta. Este término de producción, por supuesto, cuando se utilizan diferencias finitas para la resolución de las ecuaciones como en este caso, es no nulo en un sólo punto de la grilla, el que corresponde a la chimenea.

En cuanto a la parametrización de la difusión turbulenta, se ha empleado el esquema utilizado por Mc Pherson, 1970, para la difusión explícitamente considerada. Como se detallará más adelante, los esquemas numéricos utilizados para el tratamiento de la advección producen un efecto difusivo; se verá que la magnitud del mismo es coherente con las demás aproximaciones utilizadas, y es beneficioso ya que la modificación que producen sobre los coeficientes de difusión efectivos tiene el sentido y el orden de magnitud de los reco -

mendados por Pielke, 1974, para mejorar el acuerdo entre los pronósticos con modelos bi y tridimensionales.

La parametrización de turbulencia usada supone flujos de calor y cantidad de movimiento constantes en los primeros = 40m. de la atmósfera.

El esquema de cómputo de coeficientes de difusión turbulenta utilizado por McPherson es a su vez una modificación del utilizado por Estoque, 1959 y 1961. Mientras Estoque consideró dos clases de estabilidad separadas por un número de Richardson gradiente crítico ($- 0.03$) McPherson incluyó una tercera de gran estabilidad (con un número de Richardson mayor que 30) ya que en este caso se simplifica la relación utilizada para calcular K.

En todo el párrafo precedente se ha hecho mención a un solo coeficiente de difusión turbulenta; ello se debe a que, si bien la estabilidad y la dinámica del flujo hacen que la relación KH/K_m no sea siempre unitaria, dichos efectos son difíciles de modelar, y el error introducido no es mayor que los que probablemente surjan de otras aproximaciones adoptadas en el cálculo de la difusión.

En función del número de Richardson, se tendrá:

$$Ri < - 0.03$$

$$K = \lambda z^2 \left(\frac{g}{\theta} \left[\frac{\partial \theta}{\partial z} \right] \right)^{1/2}$$

$$- 0.03 \leq Ri \leq 30$$

$$K = \left[k (z + z_0) (1 + \alpha Ri) \right]^2 \frac{\partial U}{\partial z}$$

$$Ri > 30$$

Se utilizan los valores obtenidos para $Ri = 30$. En todas las expresiones anteriores, z_0 es el parámetro de rugosidad (que aquí se tomó igual a 1 cm. sobre el agua y a 4 cm. sobre tierra), k es la constante de Von Kármán, U es la velocidad media

θ es la potencial media, y λ y α son constantes empíricas que, en base a la experiencia de McPherson, se han tomado iguales a 0,9 y 0,03, respectivamente. Como, inicialmente, al ser las velocidades nulas, no se puede calcular el número de Richardson Gradiente, se lo hizo arbitrariamente igual a 30; luego de dos horas y media, se comienza a calcularlo de manera normal. Este artificio también está tomado de McPherson, 1970, lo mismo que la interpolación exponencial de los coeficientes fuera de la capa de flujo constante hasta la atmósfera libre.

b) Método de resolución,

El modelo, como se vé, consiste en un conjunto de ecuaciones diferenciales. Para resolverlas se ha planteado un conjunto de condiciones iniciales y de contorno coherentes con la situación que se quiere simular. Estas son:

- Condiciones iniciales: Hay calma en todo el recinto de integración (que se describirá más adelante), es decir, es $u=v=w=0$; la temperatura potencial en superficie es uniforme e igual a 20,14C(293.3 K), y en altura aumenta de tal modo que es 293,3K a 0m., 293,5K a 15m., 293,7K a 40m., 294,1K a 80m., 294,9K a 160m., 296,5K a 320m., 298,0K a 640 m., 299,6K a 1,280m., 302,1K a 2,560m., y 308,0K a 5.120m. (este perfil inicial de temperatura potencial fué el resultado de un análisis subjetivo de información aerológica del aeropuerto de Trelew, obtenida de una comunicación personal del Lic. Edgardo Giordano; en el futuro, podrían efectuarse simulaciones que incorporen información aerológica de la zona de Puerto Madryn, cuando se disponga de ella) ; la concentración normalizada de contaminante es de 5×10^{-7} en toda la grilla. Esta última condición inicial fué necesaria en la práctica para

poder resolver la ecuación correspondiente, dado que la representación interna de los números en la computadora utilizada no permite retener valores demasiado pequeños; de cualquier manera, para valores de concentraciones en la fuente (chimenea) como los que se encuentran en la planta que se quiere estudiar en la zona de Puerto Madryn, dicho valor inicial es varios ordenes de magnitud menor que el umbral de detección del instrumental analítico que se fabrique en la actualidad. -

- Condiciones de contorno: dado que se simulan condiciones de calma en gran escala, las velocidades son nulas no sólo en superficie sino también en los planos verticales que limitan el recinto de integración. En el plano horizontal que limita este recinto en su parte superior, son nulas las velocidades horizontales, y la velocidad vertical es la que resulta de cumplir la ecuación de continuidad. La temperatura potencial en dicho límite superior del recinto de integración se mantiene constante; sobre los planos verticales que lo limitan lateralmente, toma los valores que resultan de integrar la ecuación de difusión; sobre la superficie del mar, se mantiene constante; sobre tierra firme varía en función del tiempo y de la distancia a la línea de la costa según la relación propuesta por Scian (comunicación privada):

$$\theta_s(x,t) = (10 + 0.001 x) \text{ sen. } (0.2617994t + 0.4) + 3.5 \text{ sen. } (0.5235988t + 5.6010881)$$

siendo x la distancia desde la costa en Km., t el tiempo en radianes, referido a la salida del sol y donde el factor dependiente de la distancia a la orilla aumenta hasta 16 Km. de la misma, y luego se mantiene constante. Esta función es la que mejor ajusta lo observado en días en que la Brisa de Mar penetró más de 16 Km. tierra adentro. -

En cuanto a las condiciones de contorno para la concentración, inicialmente se la mantuvo constante sobre todo el contorno del recinto de integración (es decir, igual a 5×10^{-7}); luego, en base a una recomendación contenida en una comunicación personal del Lic. José L. Estéves, se incluyó un factor de deposición en superficie, de manera de simular con más realismo la interacción entre la pluma de contaminante y la superficie. En las simulaciones presentadas aquí, este factor es mayor en el mar que en tierra firme, en base a la recomendación indicada. Si bien, por limitaciones de tiempo de cómputo, no fue posible efectuar dos simulaciones de días completos, las simulaciones efectuadas a ocho horas no muestran grandes diferencias cualitativas al variar el factor de deposición.

- Método de resolución: Para obtener soluciones, se han transformado las ecuaciones diferenciales en ecuaciones en diferencias finitas; y luego se han resuelto iterativamente las ecuaciones resultantes. Los esquemas utilizados han sido en todos los casos explícitos. Este procedimiento ha abarcado los siguientes aspectos:

Geometría del recinto de integración: Ya se han indicado antes las direcciones y orientaciones de los ejes coordenados. El recinto utilizado para la integración de las ecuaciones diferenciales que constituyen el modelo está, en la horizontal, centrado en la fuente de contaminante, situada a su vez sobre la línea de la costa. Se han tomado hacia ambos lados, tanto sobre el eje x como sobre el eje y, intervalos de 2 Km., 2 Km., 4 Km., 8 Km., 16 Km., 32 Km., y 64 Km.; es decir, que los contornos laterales se encuentran a 128 Km. del centro del recinto y de la fuente de contaminante. Es

difícil apreciar los efectos de estos contornos sobre el flujo a los largo del tiempo; pero se han podido efectuar integraciones a lo largo de más de un día, que reproducen como se describirá más adelante, al menos cualitativamente, las características observadas de la circulación de Brisa de Mar y de Tierra en la zona y en otras similares. En la vertical se han tomado intervalos de 15m., 25m., 40m., 80m., 160m., 320m., 640m., 1,280m., y 2.560m., llegando así a un tope de 5.120m.. Los dos primeros se encuentran dentro de la capa de superficie donde la parametrización de la turbulencia usada considera que el flujo (tanto de calor como de cantidad de movimiento) es constante. Tanto en la horizontal como en la vertical se han tomado intervalos relativamente pequeños en las regiones donde se desea una descripción más detallada y/o donde se encuentran gradientes mayores de las magnitudes cuya evolución describe el modelo.-

Esquemas de integración: Como ya se ha indicado, en todos los casos se han empleado esquemas de integración temporal explícitos; éstos han sido del tipo predictor-corrector. Para extender el rango de número de Courant donde estos métodos son estables, se ha usado un filtro temporal, según fuera inicialmente propuesto por Robert, 1971, y del cual han publicado un completo análisis Brown y Campana, 1978:

$$p^t = 0,5 (0,5 (p^{t-1} + p^{t+1}) + p^t)$$

Salvo para los términos advectivos, se han tomado diferencias espaciales centradas: $\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{p(x + \Delta x) - p(x - \Delta x)}{\Delta x}$.

En los términos advectivos, se han tomado diferencias en dirección opuesta a la de la velocidad en cada punto:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{p(x) - p(x - \Delta x)}{\Delta x} \text{ si } u > 0, \quad \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{p(x + \Delta x) - p(x)}{\Delta x} \text{ si } u < 0$$

Esto lleva a integraciones estables para un número de Courant mayor que 1 ; al mismo tiempo, además de adve_{ct}tar la propiedad de que se trate, produce efectos análogos a los de la difusión, es decir, introduce una difusión ficticia dependiente de la velocidad. Este efecto ha sido descrito, por ejemplo, por Crowley, 1968, y Molenkamp, 1968; también por Long, 1976 y Carmichael, Kitada y Peters, 1980.-

Las dos primeras referencias (Crowley y Molenkamp) presentan resultados que indican que este tipo de diferenciación "corriente arriba" no puede producir resultados realistas en un caso de flujo puramente advectivo con números de Courant cercanos a 0,5.

Al mismo tiempo, un flujo de ese tipo tampoco es muy realista. Es probable que, al tratar con flujos de muy pequeña escala, como los que se encuentran en nubes convectivas por ejemplo, el esquema aquí utilizado no pueda modelar adecuadamente la relación entre advección y difusión turbulenta. Pero, en circulaciones de mayor escala (espacial y/o temporal) sus efectos pueden ser no sólo no perjudiciales sino hasta beneficiosos.

En apoyo de esta estimación, pueden citarse los trabajos de Lilly, 1961; Ogura, 1963; Orville, 1964; Lavoie, 1968; Rosenthal, 1969 y Pielke, 1974. Todos ellos encuentran que la atenuación de ondas espurias de alta frecuencia es una característica deseable del esquema; y que, dado que la viscosidad artificial que introduce depende del número de Courant y del tamaño del intervalo de grilla, por un lado, si se incrementan los intervalos de la grilla cerca de los contornos laterales, se disipan

(al menos en parte) las perturbaciones producidas por los contornos,

En el modelo aquí presentado, se han efectuado integra - ciones a lo largo de más de 24 horas, sin que se apre - ciaran características ó configuraciones irreales del flujo. Para resolver la ecuación de conservación de con - taminante se ensayó el método predictor-corrector de McCormack, 1969. Este método representa mejor los efectos de la advección pura; pero, confirmando los resultados publicados por varios autores (ver, por ejemplo, Crowley, 1968 y Anderson y Fattahi, 1974), presenta otro efecto es - púrio; si bien la masa total se conserva, aparecen modos computacionales que llevan a la predicción de concentra - ciones negativas detrás de la pluma. Se han propuesto va - rios métodos para hacer los campos resultantes no-negati - vos conservando al mismo tiempo la masa; todos ellos son artificios computacionales difíciles de justificar sobre bases físicas, y que reducen el rango de estabilidad, au - mentando simultáneamente la distorsión de los efectos pu - ramente advectivos; por ello, finalmente, no se lo usó en este trabajo.

Al iniciar el planteo del método de integración de las ecuaciones diferenciales del modelo, se consideró la po - sibilidad de utilizar elementos finitos y un esquema de integración implícito. Esta idea debió ser abandonada ya que la programación de tal tipo de método de solu - ción (por ejemplo, Crank-Nicholson Galerkin), si bien resulta en soluciones mejor aproximadas, es mucho más engorrosa que la de un método de diferencias finitas ex - plícito como el usado; el tiempo necesario para la im - plementación y puesta a punto de los programas para com - putadora habría aumentado en un orden de magnitud, y no

sólo en el esfuerzo humano sino también en el tiempo de proceso necesario para la depuración y puesta a punto de tales programas. Además, un ensayo con ecuaciones, grilla y condiciones de contorno simplificadas (grilla y campo de velocidad uniforme) sugirió que el tiempo de cómputo necesario aumentaba en más de un orden de magnitud. Esta conjetura se ha visto confirmada por una publicación posterior de Carmichael , Kitada y Peters , 1980 , que indica tiempos de cómputo aproximadamente dieciséis veces mayores para soluciones por el método de Crank - Nicholson - Galerkin, comparando con un esquema de advección con derivadas corriente arriba, explícito. Para resolver las ecuaciones diferenciales que constituyen el modelo se utilizó, como queda dicho, un esquema explícito, con diferencias centradas en los términos no advectivos y calculadas corriente arriba (en dirección opuesta a la de la velocidad en cada punto) para los términos advectivos. Dado que los procesos de advección y difusión tienen escalas de tiempo características diferentes y llevan a rangos de estabilidad diferentes, se han calculado por separado sus efectos. El procedimiento de resolución utilizado ha sido esencialmente el propuesto por Fisher, 1961 :

- 1) Integración de la ecuación de pronóstico de la vorticidad, sin incluir el término de difusión; lo mismo se hace con las ecuaciones de pronóstico de la componente v de la velocidad (horizontal, paralela a la costa), de la temperatura potencial y de la concentración de contaminante. Se encontró que se podía efectuar esta integración sobre un intervalo de tiempo de 150 seg. con buena estabilidad (con dicho in -

tervalo de tiempo se han efectuado integraciones a más de 24 horas).

- 2) Inversión del Laplaciano de la función corriente pronosticado en el punto anterior, obteniendo así dicha función corriente.
- 3) Diferenciación de dicha función corriente para obtener un valor provisorio de la componente u (horizontal, normal a la costa) de la velocidad).
- 4) Integración de las ecuaciones de pronóstico de la temperatura potencial, de las componentes u y v de la velocidad y de la concentración de contaminante, incluyendo ahora sólo el término de difusión. Se encontró que ésta integración podía efectuarse con buena estabilidad sobre un intervalo de aproximadamente 15,5 seg. con los coeficientes de difusión más altos concentrados en las simulaciones efectuadas.
- 5) Integración respecto de la altura z de la componente u de la velocidad, de manera de obtener un valor de la función corriente pronosticado que ahora incluye los efectos de la difusión (a través del efecto sobre u).
- 6) Derivación respecto de x de la función corriente obtenida antes, para obtener el valor pronosticado de la componente w (vertical) de la velocidad.
- 7) Cálculo del Laplaciano de la función corriente pronosticada para retomar el punto 1).

Las integraciones han sido, como se ha dicho, efectuadas utilizando un método predictor-corrector; la corrección ha sido siempre trapezoidal:

$$p^* = p^t + \left(\frac{\partial p}{\partial t}\right)_t \Delta t ; p^{t+1} = p^t + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial p}{\partial t}\right)_t + \left(\frac{\partial p}{\partial t}\right)_* \right] \Delta t$$

En el caso de los términos de difusión, el predictor ha usado diferencias

centradas, tanto espaciales como temporales, y las diferencias espaciales del corrector han sido también centradas. En el caso de los términos de advección, las diferencias espaciales se han tomado siempre corriente arriba; las diferencias temporales han sido centradas para la ecuación de vorticidad, y adelantadas en las demás. Esta combinación resultó, como ya se ha indicado, en un esquema estable sobre intervalos de 150 seg. para integraciones a lo largo de más de un día, y que produjo simulaciones que coinciden cualitativa y, hasta donde se dispone de información cuantitativa, también cuantitativamente con las características observadas de la circulación simulada.

c) Requerimientos computacionales

Los tiempos de cómputo reales utilizados han sido variables, dado que a lo largo de la evolución del proyecto del cual ha resultado el presente trabajo, circunstancias cambiantes hicieron necesario el procesamiento de los programas utilizados para las simulaciones, en varias instalaciones diferentes; por ello se ha considerado conveniente reducir las comparaciones a tiempos equivalentes al tiempo real de uso de una unidad central de procesamiento IBM-360-50H como la instalada en el Centro de Cómputos de Salud del Hospital Escuela de la Universidad de Buenos Aires. El modelo de circulación de Brisa de Mar y de Tierra implementado y publicado por el autor (ver Rodríguez Seró, Aiello y Labraga, 1979), utilizaba en la instalación mencionada un tiempo de aproximadamente 14 minutos por cada hora de modelo; los cambios introducidos en el algoritmo de resolución en la versión presentada aquí redujeron ese tiempo a, aproximadamente, 6 minutos. Un ensayo efectuado en 1976, de integración de un

modelo tridimensional con una grilla como la usada aquí requirió más de dos horas de tiempo de la unidad central de procesamiento mencionada para una integración sobre media hora de modelo. Una primera versión de un modelo similar al aquí presentado (con dinámica bidimensional y dispersión de contaminante tridimensional) requirió 78 minutos de esa unidad central de procesamiento para la integración sobre una hora del modelo.

La versión final, cuyos resultados se presentan aquí, ha requerido en promedio 27 minutos de tiempo de unidad central de procesamiento para la integración a lo largo de una hora de modelo.-



.



3. ESTUDIO DE LA VALIDACION DE LOS DATOS DEL MODELO.

a) Consideraciones generales sobre el problema y sobre las limitaciones encontradas en la práctica.

Como ya se ha indicado en la Introducción, cuando se desea comprobar contrastando con observaciones los resultados de un modelo como el presentado aquí, en principio es posible recurrir a los mismos parámetros de ajuste empleados habitualmente con modelos de mayor escala (error cuadrático medio, skill scores en sus varias versiones, coeficientes de correlación, relaciones de varianzas, etc.); la dificultad siempre encontrada es la relativa escasez de datos (ver la cita de Lyons, 1975, hecha en la Introducción) ya que para muy pocos lugares en todo el planeta se cuenta con bases de datos que permitan aplicar determinaciones estadísticas con un grado aceptable de confianza. Lo dicho es válido en general, pero con mayor razón para las distribuciones de contaminantes. En efecto, si bien a costos altos, no es desusado hacer determinaciones de las características dinámicas de flujos de mesoescala, y no sólo en superficie sino también en altura; el desarrollo de instrumentos especiales para estos fines (radiosondas de bajo costo para baja altura, sondadores acústicos, etc.) permite esperar que en un futuro no lejano experiencias de campo de este tipo se hagan más comunes, permitiendo determinaciones tridimensionales de los campos de flujo, temperatura, humedad, etc..

En cuanto a las distribuciones de contaminantes, efectuar determinaciones cuantitativas, en superficie, implica aumentar en un orden de magnitud el costo de un programa observacional; ó aún más si se pretendiera obtenerlas con la misma densidad espacial y temporal que las mediciones de parámetros meteorológicos. En algunos estudios detallados (sobre todo de plumas cerca de sus

fuentes; ver, por ejemplo, fotografías de Stinson y Brown, 1976. En el caso de la brisa de lago, el estudio sumamente completo de Lyons y Olsson, 1973, también incluyó determinaciones fotográficas) se ha determinado la forma de las plumas de contaminantes mediante fotografías adecuadamente calibradas; pero esto sólo puede dar información cualitativa, y no cuantitativa, sobre las concentraciones de contaminantes en altura.

En algunos casos se han hecho, en zonas y momentos seleccionados, muestreos desde aviones ó helicópteros (ver Lyons y Olsson, 1973, por ejemplo); como es evidente, tales muestreos aumentan significativamente el costo de un programa observacional si son frecuentes. En este momento la NASA tiene en experimentación un sistema electroóptico para determinación cuantitativa remota de algunos contaminantes, que ha sido ensayado con éxito para determinaciones de dióxido de azufre. Cabe considerar al respecto que estos ensayos exitosos tuvieron lugar con concentraciones relativamente altas, y a distancias no superiores a unos tres kilómetros; que, al depender de las características ópticas (espectro de absorción) del contaminante no está asegurada la extensión de su empleo a otras sustancias, y que su costo estimado, de producirse en serie, no sería inferior al de una estación de radiosondeo completa.

Por todo lo expuesto, es conveniente considerar por separado la validez de un modelo para la predicción del flujo y para la predicción de distribuciones de contaminante.

b) Validación de la predicción de la dinámica del flujo.

En los trabajos de modelado matemático de la circulación de Brisas de Mar y de Tierra, dada la escasez de observaciones ya mencionada, la comprobación de la validez se obtiene de la semejanza cualitativa entre las conformaciones de los campos resultan -

tes de los modelos y de los estimados a partir de observaciones, por un lado; y por otro, del acuerdo cuantitativo entre algunas magnitudes como:

- Velocidad y dirección del viento en superficie.
- Distancia de penetración del frente de Brisa (determinada tanto por la rotación del viento como por la variación de temperatura).
- Altura de la superficie neutra (por sobre la cual se encuentra el flujo de retorno hacia el mar).
- Magnitud y ubicación de los extremos de velocidades verticales.

En algunos de ellos que incluyen humedad, se estudia también el acuerdo con la distribución observada.

Este enfoque general se encuentra limitado en el caso particular de Puerto Madryn. Gracias al apoyo financiero del Programa de Centros Regionales de Investigación Científica y Tecnológica BID-CONICET, será posible desde fines del corriente año la instalación de una estación receptora para radiosondeo de baja y mediana altura (con determinación de viento) una torre con instrumentación micrometeorológica (que permitirá, por primera vez en la zona, determinaciones experimentales de parámetros de turbulencia), y estaciones meteorológicas automáticas para mediciones atmosféricas en superficie. Pero hasta el presente, se carece de datos de altura; la información de superficie disponible se encuentra en: Rivero y Barros, 1975. Una publicación posterior, Scian, 1976, contiene información recogida el año siguiente, que confirma las conclusiones de la primera cita, y añade un ajuste de la temperatura en superficie. Inicialmente se utilizaron las funciones resultantes como entrada de temperatura en superficie para la integración del modelo; luego, se usó una función simplificada indicada en un trabajo inédito (Scian, comunicación personal). Dicha función se ajusta al promedio de los días con Brisa

de Mar y calma en escala sinóptica, y representa mejor la marcha de la temperatura en aquellos días en que fué posible determinar la penetración del frente de Brisa de más de 17 Km, tierra adentro.

Algunas de las características más destacadas de las mencionadas observaciones son las siguientes:

- En las dos series de observaciones (primavera - verano 1974/75 y 1975/76) el fenómeno se observa aproximadamente en el 50% de los días.
- En un alto porcentaje de los días con brisa de mar observados (se menciona esta circunstancia porque, por problemas operativos y de mantenimiento de instrumental, faltó una cantidad considerable de datos de la estación más alejada de la costa, durante la primera temporada) el frente de brisa, determinado por la variación de temperatura del aire y/o por la rotación del viento, penetró más de 17 Km. tierra adentro.
- La velocidad media de la brisa en superficie fué de alrededor de 15 Km/h., es decir, aproximadamente 4,17 m/seg..
- En un alto porcentaje (45 %) de los casos observados, el comienzo de la Brisa de Mar se dá con un viento débil del Sur; al terminar de soplar la Brisa de Mar (en promedio ocho horas después de comenzada) se tiene viento de componente Norte.
- Al desaparecer la Brisa de Mar, y antes de que pueda observarse la Brisa de Tierra, se encuentra una calma de algunas horas de duración, en la mayoría de las estaciones; aunque en algunos casos se puede observar la Brisa de Mar todavía en la estación más alejada de la costa, cuando ya no es apreciable en las otras,
- Al no disponerse de información aerológica, no puede apreciarse el espesor de la capa involucrada en la circulación de Bri-

sas de Mar y de Tierra; algunas inferencias hechas a partir de una estación elevada cercana a la costa no resultan concluyentes, debido a las probables perturbaciones producidas por la abrupta topografía del lugar donde estuvo emplazada. De cualquier manera, al considerar todos los datos en su conjunto (1974/75 y 1975/76) se puede estimar que por lo menos en la mitad de los casos, el espesor de la Brisa de Mar (región donde el viento sopla hacia tierra) es mayor que 120 m. (elevación de dos de las estaciones de observación utilizadas).-

Como puede verse en las tablas que muestran los campos de vientos y temperatura potencial en función del tiempo, el modelo reproduce el ciclo completo observado:

- Calma inicial.
- Brisa de Mar,
- Calma nocturna.
- Brisa de Tierra.

Además, se encuentra un acuerdo cualitativo general y cuantitativo en los parámetros observables con, por ejemplo, las observaciones de brisa de lago de las cuales informan Lyons y Olsson, 1973.

En función de lo dicho, se considera que el modelo planteado da un ajuste aceptable de los parámetros atmosféricos observados en la zona en días de Brisa de Mar y de Tierra; y por ello se lo ha utilizado para la predicción de los campos en altura y, en función de los mismos, las distribuciones de contaminantes emitidos desde una fuente ubicada en la costa.

c) Validación de la predicción de distribuciones de contaminante.

En la Introducción se ha mencionado el carácter impreciso de las validaciones ó verificaciones de modelos predictores de contami

nación, en particular modelos que como el presente abarcan superficies grandes, por los inconvenientes prácticos mencionados en el punto a).

En muchas de ellas (ver por ejemplo, la discusión hecha por Hanna, 1977, sobre determinación de la precisión de modelos de dispersión) se utiliza como medida de la capacidad predictiva de los modelos el error de la concentración máxima predicha respecto de la efectivamente observada; ya sea en el punto ó área de máxima concentración, ó en un conjunto de puntos, determinados las más de las veces por la disponibilidad de datos ó accesibilidad al sitio. Los trabajos de McElroy y otros, 1978; y Moore y otros, 1980, presentan fundamentos estadísticos más sólidos; se orientan a maximizar la probabilidad de observar características determinadas de las distribuciones de concentraciones de contaminantes.

El primero parece estar orientado a la determinación de la red observacional con mayor posibilidad de observar la más alta concentración que ocurra en la región de observación; el segundo presenta un algoritmo eficiente para el cómputo necesario para dicho proceso.

En un trabajo posterior, Moore, 1980, se plantean criterios de optimización más generales, que son:

- 1) Obtención de la mejor estimación de información sobre el conjunto de la distribución de probabilidades de concentraciones de contaminantes en función del tiempo.
- 2) El mejor muestreo de información local que permita la reconstrucción más exacta y completa del campo de concentraciones a partir de las mediciones en función del tiempo en cada uno de los sitios seleccionados.

Este último trabajo resume su resultado en un "máximo factor de reducción" en el número de puntos de medición respecto del total

de la grilla de concentraciones predichas, manteniendo un error probable inferior a la cota deseada. En el trabajo mencionado se indican resultados obtenidos de criterios de optimización diferentes (en un caso, el primero antes indicado, y en el otro el segundo) y se manifiesta que "a menos que la morfología de los campos de concentración cambie rápidamente con el tiempo, los dos métodos producirán en general redes de observación aproximadamente equivalentes". En un ejemplo concreto contenido en dicho trabajo, en una región cubierta por 100 celdas (ciudad de los Angeles, CA, y alrededores) se llega a un factor de reducción de 0,2 para un error probable de 40%; es decir, que la red de 20 estaciones resultante tendrá un error probable en la estimación del total de la distribución de contaminante, de 40%.

Si se examina la información experimental disponible en la zona de Puerto Madryn, se puede ver que las pocas mediciones realizadas, si bien indican concentraciones de compuestos de flúor solubles totales relativamente altas asociadas a circulación de Brisa de Mar, no son estadísticamente significativas para la validación del modelo propuesto; aunque sí pueden servir como indicación de los ordenes de magnitud de concentraciones en superficie que pueden esperarse en la ciudad de Puerto Madryn asociadas a dicha circulación (ver Barros y Cejas, 1975).-

- d) El resultado de la discusión precedente y de una revisión de la literatura allí mencionada es que, con la información disponible, no se puede obtener una validación de las concentraciones de contaminante predichas por el modelo mostrado en este trabajo. Esta circunstancia unida a la ya mencionada de que podrá contarse en un futuro relativamente cercano con más instrumental, llevó a un planteo de alguna manera inverso al formulado por Moore (es decir, a otro criterio de optimización; y como resultado, a un procedimiento y a un algoritmo completamente diferentes). En es-

y si esta condición no lleva a una solución única, tal que además sea:

$$\| X \| = \min.$$

Se ha demostrado que si la norma es la Euclídea, y por lo tanto lo que se minimiza es el error cuadrático, la solución del problema de cuadrados mínimos que resulta, se puede escribir en función de A^+ , la llamada inversa generalizada de Moore - Penrose de una matriz, que siempre existe y cumple simultáneamente las cuatro condiciones siguientes:

- $AA^+A = A$
- $A^+AA^+ = A^+$
- $(AA^+)^* = AA^+$
- $(A^+A)^* = A^+A$

donde el asterisco indica la conjugada de la transpuesta; ó en el caso de matrices reales como las de concentraciones, simplemente la transpuesta.

En términos de la inversa generalizada de Moore - Penrose, la mejor solución aproximada (en el sentido de minimizar el error cuadrático de la aproximación y su propia norma) es:

$$X = A^+B$$

(Ver, por ejemplo, Moore, 1920 y 1935; Penrose, 1965; Rao y Mitra, 1971, pag.68).-

En todo lo que sigue, para hacer más evidente que se representa a la matriz de concentraciones mediante un subconjunto de la misma, se denotará a dicho subconjunto como B_p ; lo que se desea, entonces, es determinar B_p de un orden dado (en este trabajo se consideran ejemplos de orden entre 1 y 6) y tal que minimice la norma cuadrática de $B - B_p B_p^+ B$.-

El problema puede generalizarse buscando B_p de un orden dado que minimice la norma de:

$$\Pi (B - B_p B_p^+ B) \Pi'$$

donde Π y Π' son matrices de ponderación que asignan mayor peso a algunos puntos y/o instantes que a los demás. Como se verá, el algoritmo de selección es esencialmente el mismo; la discusión se hará primero para el primer caso, particular, planteado, y luego se generalizará al segundo.-

Es sabido que toda matriz B (de orden, por ejemplo, $m \times n$) se puede descomponer en su llamado desarrollo singular:

$$B = UDV^*$$

donde D es una matriz diagonal, U es una matriz ortogonal (es decir que cumple que $U^*U = I_m$) formada por vectores propios del producto BB^* y V otra matriz ortogonal (que cumple $V^*V = I_n$) formada por los autovectores de B^*B . Los elementos no nulos de la matriz diagonal D son las raíces cuadradas positivas de los autovalores comunes a BB^* y B^*B . Todas las matrices mencionadas son de igual rango, igual a su vez al orden de las filas ó de las columnas de la matriz B (tomándose en cuenta el menor), cuando se trata de datos reales típicos. En el caso de una matriz absolutamente general, podría darse el caso de que algunas filas ó columnas, según el caso, pudieran expresarse como combinaciones lineales de las demás, resultando entonces la matriz de datos no ser de rango completo; en la práctica, cuando se tiene una subdivisión espacial ó temporal muy fina, pueden encontrarse series de datos que, por su alta correlación y su aproximación a ésta situación resulten en un número de condición alto. Esta circunstancia, si bien aporta información interesante sobre los datos, no altera lo esencial del trata

miento matemático, por lo cual en lo que sigue se considera rán las matrices B, U, D y V. de rango completo; si se encontrara en algún caso particular que no es así, la única modificación (formal) que se debe introducir en lo que sigue es substituir n por r , donde $r < n$ sería el rango de la matriz B; de $m \times n$ pero no, en ese caso, de rango completo (ver, por ejemplo, Davis, 1979, pag. 50).-

El desarrollo singular de una matriz es óptimo, en el sentido de ser el desarrollo ortogonal que al ser truncado, retiene la mayor parte de la varianza de la matriz desarrollada; y la fracción del total de la varianza explicada por cada término es proporcional al valor singular correspondiente.-

Con la notación establecida, a partir de la descomposición singular de B se puede ver que es posible escribir:

$$B_p = UD^* V_p^*$$

donde, ahora, V_p es del mismo rango que B_p .

Se puede mostrar (ver, por ejemplo, Davis, 1979, pag. 46) que la inversa generalizada de Moore - Penrose de una matriz cualquiera A de $m \times n$, se puede escribir como:

$$A^+ = (A^*A)^{-1}A^*$$

En particular, la inversa de Moore - Penrose de la matriz B_p , teniendo en cuenta su expresión en función del desarrollo singular de la matriz B y la ortogonalidad de las matrices de vectores singulares, se puede escribir como:

$$B_p^+ = (B_p^*B_p)^{-1}B_p^* = (V_pDU^*UD^*V_p^*)^{-1}B_p^* = (V_pDD^*V_p^*)^{-1}V_pDU^*$$

escribiendo todo en función del desarrollo singular de B. Recordemos que, como se ha dicho en la página 22, se busca la mejor aproximación al campo total de concentraciones, es

decir, el subconjunto B_p de la matriz B de concentraciones en superficie que minimice la norma cuadrática de $B - B_p B_p^+ B$; y como la norma cuadrática (de Frobenius, ó Euclídea) es igual a la traza del producto por la transpuesta, se trata de minimizar dicha traza, que es:

$$\begin{aligned} & \text{tr} ((B - B_p B_p^+ B) (B - B_p B_p^+ B)^*) = \\ & = \text{tr} (BB^* - B_p B_p^+ BB^* - BB^* B_p B_p^+ B + B_p B_p^+ BB^*) \end{aligned}$$

Aquí hay que notar que, por construcción, $B_p B_p^+$ (producto de una matriz por su inversa generalizada de Moore-Penrose) es un proyector ortogonal (sobre B_p), idempotente, autoadjunto y simétrico (ver, por ejemplo, Rao y Mitra, 1971, pag. 3,4 y 106 a 119); y , también por construcción, BB^* es simétrico, así que:

$$B_p B_p^+ BB^* B_p B_p^+ B_p^* - BB^* B_p B_p^+ B_p^* - B_p B_p^+ BB^* = B_p B_p^+ BB^*$$

y, finalmente, lo que hay que minimizar es:

$$\text{tr} (BB^* - B_p B_p^+ BB^*)$$

Escrito explícitamente, el contenido del paréntesis es:

$$\begin{aligned} BB^* - B_p B_p^+ BB^* &= UD^* V D U^* - U (D^* V_p^* (V_p D D^* V_p^*)^{-1} V_p D) D^* V^* V D U^* = \\ &= UD^* D U^* - U (D^* V_p^* (V_p D D^* V_p^*)^{-1} V_p D) D^* D U^* \end{aligned}$$

Se puede ver que es posible, manteniendo la traza, pre y postmultiplicar por las matrices U^* y U respectivamente (ver Davis, 1979, pag.50); esta operación diagonaliza al primer término y simplifica al segundo.

Así, se tiene:

$$U^*UD^*DU^*U-U^*U (D^*Vp^* (VpDD^*Vp^*)^{-1} VpD) D^*DU^*U =$$

$$= D^2 - (D^*Vp^* (VpDD^*Vp^*)^{-1} VpD) D^2$$

Ahora bien, si C es una matriz cualquiera de orden m x n, si las columnas de otra matriz A forman una base ortonormal del espacio de columnas de C, es:

$$C (C^*C)^{-1} C^* = AA^*$$

(ver Rao y Mitra, 1971, pag. 118), por lo cual la expresión que multiplica a D^2 en el segundo miembro de la expresión anterior para la traza, se simplifica bastante encontrado una base ortonormal de D^*Vp^* .

En el caso en que Vp tiene una sola línea (caso límite de una sola estación de observación) es evidente que basta simplemente normalizar, y se puede, en ese caso particular, substituir la expresión:

$$D^*V^*p(VpDD^*V^*p)^{-1}VpD \text{ por } D Vp V^*pD^* \quad D \quad Vp \quad ^{-2}$$

que es una matriz unitaria.

Partiendo de este caso límite de una sola estación de medición, se puede ver que debe elegirse esa estación de tal manera que la norma del producto de los autovalores de BB^* por el cuadrado del producto normalizado del vector singular correspondiente por el vector de valores singulares, dé una suma máxima y por lo tanto un mínimo para la traza de la diferencia entre la distribución y su estimación (pues se puede ver que dicha norma no puede ser mayor que la de D^2 al ser:

$$\text{tr} (DVpVp^*D^* \quad D \quad Vp \quad ^{-2}) = r_p, \text{ por construcción, siendo } r_p \text{ el rango de } DVp \text{).-}$$

Una vez así seleccionada una estación, si se desea añadir

otra estación a la red, se debe seleccionar de las restantes aquella que, nuevamente, lleva a una traza de diferencia entre concentraciones y su representación truncada mínima, ó norma máxima de la expresión que incluye a V_p .

Tal vez convenga recordar aquí que los vectores singulares V , multiplicados por los valores singulares D , indican el peso en cada estación de los vectores singulares U , que a su vez describen las variaciones temporales de las concentraciones. Cada línea de la matriz V de vectores singulares corresponde a una estación de observación posible; cada línea de la matriz V_p (subconjunto de V) corresponde a una estación efectivamente seleccionada. Para añadir la segunda estación, se han formado las bases ortonormales A del espacio de columnas de las matrices formadas por la primera estación seleccionada y cada una de las restantes; y de éstas se ha tomado, como se ha dicho antes, aquella para la cual la traza de $D^2 A A^*$ es máxima. Este procedimiento puede repetirse para añadir una tercera estación, una cuarta, etc.. Se han empleado dos procedimientos para formar las bases ortonormales mencionadas. Experimentalmente, ya que su uso facilitaba la programación, se usó el procedimiento de descomposición singular de Golub y Reinsch; operativamente se utilizó el procedimiento de ortonormalización de Gram - Schmidt, por resultar (para esta aplicación) más eficiente computacionalmente. Si bien las bases ortonormales para los espacios de columnas de las matrices B_p no son iguales, sí es igual en cada caso el producto $A A^*$ (ver, por ejemplo, Rao y Mitra, 1971, pag. 118); esto último, que es cierto para representaciones numéricas exactas, fué comprobado experimentalmente para matrices B_p de orden hasta 24×3 , para verificar que el error de truncamiento no afecta este resultado, utilizando cualquiera de estos algoritmos, la verificación no fue posible para matrices B_p de hasta seis columnas, dado

que el uso del procedimiento de Golub y Reinsch para este fin, hubiera requerido varios meses de cómputo continuo. - Mediante el procedimiento mencionado se llega a seleccionar de manera única, como se buscaba, un conjunto reducido de puntos de grilla sobre la cual, mediante un modelo matemático, se predicen concentraciones; de manera de poder representar de manera óptima las concentraciones en toda la grilla en base a mediciones en ese reducido conjunto de puntos.

En principio, la situación es semejante a la encontrada en la regresión múltiple sucesiva; el procedimiento lleva a un ordenamiento único, tal que la primera estación de observación considerada elimina la mayor parte del error posible con una sola estación, la segunda estación la mayor parte del error restante, y así sucesivamente. Además, es posible acotar el error residual; el error medio cuadrático de este desarrollo es la norma de la diferencia entre la matriz de concentraciones predicha y su reconstrucción a partir de un conjunto reducido de series. Es de hacer notar que el error mencionado es el error de la representación; más adelante, en la sección 4, se podrá ver que cuando se utilizan seis estaciones de medición éste error es, en todos los casos estudiados, pequeño. Ello no es sorprendente ya que el procedimiento aquí propuesto utiliza todos los resultados de la predicción, si bien filtrados mediante un filtro lineal, en particular el dado por la expresión : $BpBp^+$ y permite además seleccionar las series de datos utilizadas para construir dicho filtro de manera que, para un orden dado, retenga el máximo de información. Por supuesto, el error final en una situación real será el resultante de sumar, a este error de representación, los de medición y predicción. Pero siempre se tendrá, mediante el procedimiento descripto aquí, una representación óptima. Al respecto se efectuó sólo una experiencia parcial; se en-

contró que el error resultante de tomar dos estaciones cualesquiera menos la primera seleccionada por el método propuesto, era siempre mayor que el que resulta de tomar sólo a ésta.

Toda la discusión anterior, y gran parte de los resultados presentados en la sección 4, se refieren al criterio de minimizar el error medio cuadrático total del conjunto de la distribución de contaminante.

Como es evidente, este criterio tiende a dar mayor peso a aquellos puntos donde es mayor la concentración media. Se puede también usar una 'matriz de peso' ó 'matriz de incidencia', que asigne un peso mayor a aquellos puntos de la grilla situados sobre un área particular que interese representar mejor. Se puede ver que ésto no cambia la forma de la discusión precedente, ya que formalmente es equivalente a aumentar el valor de la concentración en los puntos de especial interés. Se verá, en los resultados presentados en la sección 4, que con una ponderación como la indicada, cambia la ubicación de las series que aportan mayor información (como es de esperar, al cambiar el criterio usado para medir la información).-

Tal vez convenga aquí recordar que la reconstrucción del campo de concentración, una vez seleccionado el conjunto B_p de estaciones de medición, se efectúa calculando explícitamente : $B_p B_p^+$ ($B - B_p$). De estas matrices, B se obtiene como salida del modelo; B_p se obtiene de observaciones; y se debe calcular B_p^+ . Para calcular la inversa generalizada de Moore - Penrose, existen varios algoritmos bastante conocidos (como el de Penrose y el de Greville, por ejemplo). En este trabajo se ha empleado el propuesto por Golub y Reinsch, 1970, por ser mucho más eficiente computacionalmente. El pro

cedimiento de reconstrucción del campo de concentraciones se haría entonces mediante los siguientes pasos:

- 1) Obtener la matriz B de concentraciones normalizadas en superficie de un modelo adecuado,
- 2) Obtener mediciones de contaminación en un subconjunto Bp de la grilla donde el modelo predice concentraciones de contaminante; subconjunto elegido con el procedimiento ya indicado,
- 3) Utilización de los valores observados para pasar de concentraciones normalizadas a concentraciones absolutas (optativo),
- 4) Reconstrucción del total del campo de concentraciones mediante la expresión:

$$BpBp^+B$$

Finalmente, vale la pena destacar que los ejemplos concretos y parte de la discusión anterior se refieren a estudios de contaminación en superficie; pero el formalismo matemático, su fundamentación y discusión, y su aplicabilidad, son generales. Lo dicho aquí para un modelo y mediciones de contaminación es, en principio, extensible a otros parámetros de interés. Esta aplicabilidad general aumenta la importancia de este método, resultado principal del presente trabajo. -

3.2. Requerimientos computacionales.

Las simulaciones presentadas en este trabajo fueron efectuadas en la instalación IBM-370-138 actualmente instalada en el Centro de Cómputo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, dado que lo que inicialmente se

propuso en el Plan de Tesis (efectuar el procesamiento en el Centro de Cómputos en Salud, del Hospital Escuela de la Universidad de Buenos Aires) presentó dificultades que se mostraron insuperables en la práctica. La velocidad de operación de la instalación del Centro de Cómputo de la FIUBA es mayor que la de la instalación del Hospital Escuela, aunque el costo por instrucción ejecutada es, aproximadamente, el mismo.

La simulación de veintiocho horas de la circulación de Brisas de Mar y de Tierra requirió un poco más de seis horas y media de unidad central de procesamiento IBM-/370-138; las descomposiciones singulares para dos casos (reproducción de las concentraciones minimizando con y sin multiplicación por una matriz de ponderación que conceda interés preferencial a una zona en particular) y posteriores selecciones requirieron aproximadamente doce minutos de la misma unidad central de procesamiento. Las experimentaciones previas, para ensayo de distintos métodos y para puesta a punto de programas, requirió en total un tiempo un poco mayor; es probable que los requerimientos totales del trabajo aquí presentado no hayan sido inferiores a quince horas de unidad central de procesamiento tipo IBM-/370-138. Buena parte, como se ha dicho, fué necesaria para ensayos y puesta a punto; del tiempo efectivamente utilizado en las simulaciones menos de la vigésima parte ha sido empleada para la optimización de la red de estaciones; la mayor parte del tiempo de cómputo fue insu- mida por la integración del modelo de circulación de Brisas de Mar y de Tierra y de dispersión de contaminante por esa circulación.

Parte de los cómputos matriciales necesarios para la optimización de la red, como también de la puesta a punto de los programas correspondientes, se realizaron en la instalación

Hewlett-Packard 2100-S del Centro Nacional Patagónico; se generaron con dicha instalación gran parte de las tablas y el total de los gráficos, que se presentan en la sección 4. El alto costo computacional ha impedido efectuar, como se considera deseable, simulaciones con otras condiciones (de variación de temperatura en superficie, de estabilidad y otras condiciones iniciales, etc.); lo que hubiera dado más significatividad a los resultados concretos mostrados. Dado que la limitación no está dada por el procedimiento de optimización, se espera poder en un futuro no demasiado lejano realizar lo mencionado.

4. RESULTADOS

i) Dinámica de la Circulación de Brisas de Mar y de Tierra.

En el Anexo 1 se adjuntan reproducciones facsimilares de tablas que indican los valores de temperatura potencial componente de la velocidad horizontal normal a la costa, componente de la velocidad horizontal paralela a la costa y componente vertical de la velocidad. El primer campo está dado en Kelvin y los tres últimos en m. seg.⁻¹.

Examinando estas tablas se puede ver la formación y posterior desplazamiento tierra adentro, de un frente de brisa. En los listados mencionados es posible determinar la posición de frente estudiando las velocidades verticales (ya que éste frente es una zona baroclínica que separa las regiones de ascenso y descenso); se puede ver que la región donde se produce un descenso del aire cerca de superficie, penetra más de dieciseis kilómetros tierra adentro.

Delante del frente de brisa, llegando mayor distancia tierra adentro, se observa rotación del viento en sentido anticiclónico. Este cambio de dirección del flujo penetra, como se ha dicho, más profundamente que el frente de brisa, haciéndolo también con mayor velocidad; la interpretación propuesta aquí es que se trata de la propagación, como onda de gravedad interna, de la perturbación producida por el calentamiento del aire desde superficie. Se trataría, en este caso, del "precursor" ("forerunner") de la Brisa de Mar, descrito y modelado numéricamente por Geisler y Bretherton, 1968.

Examinando las presentaciones de las componentes horizontales de la velocidad, se encuentra una superficie neutra, en el sentido de ser nula en ella la velocidad horizontal; esta superficie separa dos regiones de flujos en sentidos opuestos, hacia y desde tierra. Durante la fase de la Brisa de Mar, esta superficie se

encuentra entre 500 y 1300 metros (siendo el primer valor típico de la primera hora y el segundo de la novena hora, después de comenzada la circulación); se tiene en capas bajas, por debajo de ella, flujo hacia tierra, y un flujo compensador de retorno hacia el mar en capas más altas. Durante la fase de Brisa de Tierra, esta superficie se encuentra entre 350 y 1.100 metros (siendo el primer valor típico de la decimosexta hora de modelado, y el segundo de la vigésima hora; que corresponden aproximadamente al comienzo y al pleno desarrollo de la Brisa de Tierra).

En cuanto a las magnitudes, se encuentra para la Brisa de Mar en superficie una intensidad máxima de aproximadamente 3 m. seg^{-1} , ó sea, aproximadamente 11 Km. hr^{-1} , en la octava hora de modelado, que corresponde aproximadamente a las 16,30 hora solar local. Para la Brisa de Tierra se encuentra una intensidad máxima en superficie de aproximadamente 1.7 m. seg^{-1} , que se alcanza en la vigésimo primera hora de modelado, que corresponde aproximadamente a las 6.30 hora solar local.

Se puede ver también que, tomando como límite de detección de viento una velocidad de 1 m. seg^{-1} (bastante realista para instrumental convencional como el utilizado en Puerto Madryn, cuando cuenta con buen servicio de mantenimiento preventivo y de reparación), luego de la decimotercera hora de modelado, que corresponde aproximadamente a las 21.30 hora solar local, la Brisa de Mar sólo es detectable, con poca intensidad, a distancias de entre dieciseis y treinta y dos Km. tierra adentro.

Sólo tres horas más tarde es posible detectar el comienzo de la Brisa de Tierra, a las diecisiete horas de comenzada la integración del modelo, es decir, aproximadamente a las 1.30 hora solar local. Esta calma nocturna, un poco posterior a la puesta del Sol, es de las características observadas en la zona de Puerto Madryn y reproducida por el modelo presentado aquí.

Los resultados de la simulación de la dinámica de la circulación de Brisas de Mar y de Tierra presentados aquí son, como se puede ver, cualitativamente similares a los presentados en un trabajo previo del autor (ver Rodríguez Seró, Aiello y Labraga, 1979). Hay, con todo, diferencias; debidas no tanto a los métodos y algoritmos de integración más eficaces utilizados aquí (puesto que la precisión y las características espectrales son similares, siendo la principal diferencia la mayor eficiencia computacional) sino a la diferencia en los tratamientos de la turbulencia y del calentamiento de la superficie; modificaciones que, siendo conceptualmente simples, aumentan la fidelidad de la representación de la realidad ofrecida por el modelo,-

Además, con el objeto de simular el ciclo completo de Brisas de Mar y de Tierra, se han extendido las integraciones hasta veintiocho horas. Se puede ver que efectivamente se simula dicho ciclo completo; la Brisa de Mar es cualitativamente similar el primero y el segundo día, con algunas diferencias que son de esperar dadas las diferencias que se encuentran en la estabilidad entre el primero y el segundo día, resultado a su vez del calentamiento en superficie. No se extendieron las integraciones del modelo a períodos más largos por el alto costo computacional involucrado, aunque experiencias efectuadas sin incluir la ecuación de transporte de contaminante indican que se las podría extender algunas horas más. Con todo, al hacerlo, es probable que los resultados sean cada vez menos realistas, dado que el tratamiento sumamente simple de la difusión utilizado aquí no puede representar adecuadamente, a plazos largos, la difusión de calor.

Los resultados que pueden verse en el Anexo 1 muestran integraciones de un modelo matemático de circulación de Brisas de Mar y de Tierra; las mismas se han extendido a lo largo de veintiocho horas, desde aproximadamente las 8.30 hora solar local hasta aproximadamente las 12.30 hora solar local del día siguiente.

La discusión precedente muestra que esos resultados reproducen las características de la circulación de Brisas de Mar y de Tierra observadas en Puerto Madryn y en otras localidades de latitudes semejantes; hay un buen acuerdo cualitativo y, hasta donde se dispone de observaciones en la zona para comparar, cuantitativo, con las características de la mencionada circulación,

ii) Dispersión de Contaminante por la circulación de Brisas de Mar y de Tierra.

Se ha considerado, para la presentación de los campos de concentraciones normalizadas de contaminante, más conveniente una presentación gráfica (dada la geometría irregular de la grilla utilizada) y no en forma de tablas de números. En las figuras de las páginas que siguen se encuentran tales presentaciones gráficas, correspondientes a las concentraciones a 15 m., que se consideran las más representativas de la capa de la atmósfera donde se desarrolla la mayor parte de la actividad humana.

Todas estas gráficas tienen similar orientación y geometría; se ha utilizado una escala lineal, cubriendo un área de 50 Km. de lado, y ubicado la chimenea en el centro de la gráfica. Las curvas de nivel se han trazado en forma logarítmica; la trazada con el carácter 1 corresponde a una concentración normalizada de 0,00014, y cada una de las siguientes corresponde a un nivel doble del anterior, utilizando caracteres en el siguiente orden: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F; y se han utilizado líneas de asteriscos para definir los límites laterales de los gráficos. La línea de la costa; queda ubicada en el centro de los gráficos, dividiéndolos verticalmente en dos partes iguales;

Se puede ver que la pluma de contaminante es inicialmente redondeada; luego, con la aparición de la Brisa de Mar, comienza a desplazarse tierra adentro, rotando en sentido anticiclónico. A lo largo del día esta rotación continúa hasta que, entre las horas 18 y 19

de integración del modelo su eje se encuentra aproximadamente paralelo a la costa (aproximadamente a las 3.00 hora solar local). Luego hace sentir su efecto la Brisa de Tierra; alrededor de dos horas más tarde, se encuentra ya claramente el eje de la pluma sobre el mar. Al reaparecer la Brisa de Mar, vuelve a desplazarse la pluma hacia tierra; ésto se observa claramente en las gráficas correspondientes a las horas 25 a 28 de integración del modelo (es decir, aproximadamente de 9.30 a 12.30 hora solar local del segundo día simulado).

iii) Optimización de una red de medición de contaminación en base a los resultados presentados.

Utilizando los campos de concentraciones normalizadas producidos por el modelo y la metodología expuesta en la sección 3, se construyeron redes óptimas de una, dos, tres, cuatro, cinco y seis estaciones de medición. Para este fin se tuvieron en cuenta 121 puntos de grilla; se excluyeron de la consideración los puntos de los dos planos laterales más externos, para evitar distorsiones que podrían causar los efectos de los contornos.

Los puntos utilizados se numeraron de 1 a 121 por orden correlativo espacial, del mar hacia tierra y de izquierda a derecha. Así, los puntos 1 a 5, 12 a 16, 23 a 27, 34 a 38, 45 a 49, 56 a 60, 67 a 71, 78 a 82, 89 a 93, 100 a 104 y 111 a 115 se encuentran sobre el mar, los puntos 6, 17, 28, 39, 50, 61, 72, 83, 94, 105 y 116 se encuentran sobre la línea de la costa y los restantes sobre tierra. La fuente de contaminante está situada sobre el punto 61, y en la zona representativa del área urbana de Puerto Madryn se encuentran los puntos 39, 40 y 50.-

Con la misma predicción de distribución de concentraciones de contaminante se efectuaron cuatro experiencias utilizando los siguientes criterios de optimización:

- 1) Minimizar el error cuadrático de la representación del total de la distribución de contaminante,
- 2) Minimizar el error cuadrático dando un peso 10 veces mayor a los puntos ubicados sobre el área urbana de Puerto Madryn,
- 3) Normalizar las concentraciones en cada punto con su promedio sobre 24 horas y minimizar el error cuadrático del campo resultante; de esta manera se minimiza el error cuadrático relativo, y se representa de manera óptima la forma de la distribución de contaminante.
- 4) Similar al caso anterior pero otorgando un peso 10 veces mayor a los puntos ubicados sobre el área urbana de Puerto Madryn. Los resultados pueden verse en las Tablas 1, 2, 3 y 4.-

El conjunto de resultados presentados en estas Tablas tiene varias características destacables. Antes de obtener dichos resultados se había conjeturado que posiblemente los puntos con mayor información serían los de mayor valor medio, ó aquellos para los cuales fuera mayor $\|V_p\|$ ó aquellos para los cuales fuera mayor $\|D V_p\|$. Los resultados obtenidos muestran que ninguna de esas conjeturas es cierta; ello es evidente en todos los casos, y más claramente en los últimos. Se destaca así la utilidad del procedimiento de selección indicado aquí.

Otra característica destacable es que la minimización del error sin condiciones adicionales lleva a seleccionar puntos situados sobre el mar,

Esto llevó a efectuar una nueva selección, pero considerando sólo puntos situados sobre tierra ó sobre la línea de la costa, utilizando nuevamente los cuatro criterios de optimización indicados antes. Los resultados pueden verse en las Tablas 5, 6, 7 y 8.-

En estas tablas el error total de la reconstrucción (medido por la diferencia entre la norma cuadrática de las matrices reconstruída y predicha) se ha dividido por la norma cuadrática de la matriz predicha, para facilitar la comparación. En los casos de las Tablas 3,4,7 y 8, la expresión como error porcentual es correcta, ya que estas tablas, calculadas con concentraciones normalizadas con el valor medio del día en cada punto, miden errores relativos; en las tablas restantes, esta manera de medir el error resulta en porcentajes muy pequeños, ya que tiene el efecto de considerar preferentemente el ajuste en los (relativamente pocos) puntos de mayores concentraciones medias. Con todo, aún en el segundo caso mencionado, permiten comparar los resultados en cada grupo de tablas, y el cómputo es sencillo y económico; por supuesto, las comparaciones que se efectúen podrán hacerse entre las Tablas 3,4,7 y 8 entre sí, por un lado, y las Tablas 1, 2, 5 y 6 por otro, y no tendría sentido comparar resultados de tablas de uno y otro grupo. Los criterios de minimización de los errores absoluto y relativo conducen, como se ve, a seleccionar conjuntos diferentes de estaciones; las que minimizan el error absoluto no tienen porqué minimizar el error relativo, y viceversa. Para comprobarlo, se calculó el error absoluto resultante de seleccionar las estaciones con el criterio 4 (50, 94, 10, 39, 119 y 31), que es 4,7 % ; el error absoluto resultante de seleccionar las estaciones con el criterio 3 (94, 10, 31, 108, 42 y 20), que es 2,9 % ; el error relativo resultante de seleccionar las estaciones con el criterio 2 (31, 61, 50, 62, 18 y 28), que es 26,3 % ; y el error relativo resultante de seleccionar las estaciones con el criterio 1 (61, 9, 62, 6, 50 y 29), que es 6,3 % .-

En base a esta experiencia, se puede ver que la minimización del error absoluto sin más condiciones puede conducir a un error relativo apreciablemente mayor que la minimización de éste último, sin atender al primero. Como consecuencia de ello, se decidió seleccio

nar un conjunto de seis puntos de grilla que cumplen las siguientes condiciones:

- a) Representar sitios ubicados sobre la línea de costa ó sobre tierra firme, por lo cual es realista planear efectuar en los mismos mediciones continuas de concentraciones de contaminante, de contarse con instrumental adecuado,
- b) En los cálculos de errores de las representaciones resultantes, se ha concedido un peso diez veces mayor a los puntos que representan el área urbana de Puerto Madryn,
- c) Proveer un balance entre minimización de errores cuadráticos absoluto y relativo.

Para la satisfacción de la última condición, se ha formado el conjunto con:

- a) Estaciones comunes a los conjuntos que resultan de minimizar error cuadrático absoluto y relativo, dando mayor peso a los puntos correspondientes al área urbana de Puerto Madryn (50 y 31).-
- b) Dos estaciones que, con las primeras, producen un error cuadrático absoluto de esa representación de 1,4 % (primeras del conjunto que minimiza sin ponderación el error cuadrático absoluto) (61 y 9).
- c) Dos estaciones que, con las primeras, producen un error cuadrático relativo de esa representación de 12% (primeras del conjunto que minimiza sin ponderación el error cuadrático relativo) (94 y 10).-

El conjunto resultante permite una representación del campo de concentraciones de contaminante sobre toda la grilla y todo el período de veinticuatro horas con un error cuadrático medio de 0,72% en los valores absolutos, y un error cuadrático relativo medio de 6,2% ; es decir que permite, a partir de mediciones realizables (en puntos situados en tierra), tener una buena representación tanto de los valores máximos como de la forma de la distribución de contaminante. -

iv) Optimización de la recolección futura de información.

En base a los resultados presentados antes, se puede recomendar que los muestreadores-analizadores automáticos a instalar en la zona de Puerto Madryn sean ubicados en las posiciones indicadas en la Figura de la página siguiente. Utilizando las salidas del modelo de predicción de distribuciones de contaminante aquí presentado y las mediciones de dichos instrumentos, podría efectuarse de manera óptima el ajuste de las predicciones a los valores observados. Además, mediante un estudio sistemático de los errores, ó diferencias entre valores predichos y observados en los sitios de medición, podrá obtenerse una estimación cuantitativa de la validez del modelo. Si las diferencias entre los valores predichos y observados son del mismo orden de magnitud que los errores de medición, y se distribuyen al azar, podrá concluirse que el modelo es válido y adecuado para el fin propuesto.

Si las condiciones indicadas antes no se cumplen, su magnitud permitirá cuantificar los errores del modelado; y un estudio de su correlación con distintos factores que podrían originar tales errores (no inclusión de irregularidades de la costa, por ejemplo, además de posibles efectos de simplificaciones matemáticas y numéricas) permitirá ordenar las prioridades para su consideración en una etapa posterior. Dado que el Programa BID-CONICET proveerá al Centro Nacional Patagónico de una instalación de cómputo, se estará en el futuro

en condiciones de encarar con realismo simulaciones de dispersión de contaminantes con modelos más completos y por tanto realistas; los resultados del presente trabajo permitirán orientar esa actividad con máxima efectividad,

.....

MAR

4 3
4 5 43
CD E DC 8
DE F ED 9
CD E DC 8

TIERRA

.....

Hora 1



MAR

```

1
1 11
1 2 11
67 8 76 5411
78 9 87 65 2 1
CD EE DC BA 77 6
1DE FF ED CB 88 7 1111
CD EE DC BA 77 6

```

TIERRA



Hora 2



MAR

```
3333 3 2111
3 444 4 3 2 11
4 555 433 2 1
34 555 5 33 2
78 99999 8877 66 222 111
          9 88 776 3333 22 11
1  D DD CC B AA 98 66666 55 432
123 E EE DD 88 A977777 666 5543
1 2  D DD CC AA 9866666 55 4432
1 2 11
1
```

TIERRA



Hora 3

.....

MAR

```

1
111111
1111 111
111 111
11 2 11
1 3 44 55 44 522 111
2 4 55 66 5 4333 22 11
34 5 6666 666 5 4 33 2 1
5 66 7 66 54444 33 2 1
999999999 8 7 666 55 4
9 AAAA7AAA 99 8 7777 666 5 11
1 0 00 CCC EB AAA9999 88 7 6 33 2222
2 E EE D00 CC B A 999 88 7644 33333
1 0 00 CCC BB A 9 888 77 65 22222 11
22 11
1 111

```

TIERRA

.....

Hora 4

.....

```

11111111111
11 11111
11 222222222 11111
11 2 2222 111
11 2 3 222 111
1 2 33333333 22 11
11 2 3 33333333 22 11
1 3 4 55 55555 444 3 21
4 55 66 6666666 555 4 3 1
34 5 666 77777 6666 55 443111111111111
5 66 777 77777777 666 5 4 1111111111
8 999999 999999 6888 77 6544 33332
9 AAAAAAAAAA 99999 88 7 6 44444444
1 BCDDDD CCCC EBB AAAA 999 8 76 555555
2 CD EE DD CCC EBBB AAA 99 66666666 5
1 EC DD CC EBB AAA 999 88 55555555 44
1 22 22 1111
1111111111111

```

MAR

TIERRA

.....

Hora 5

.....

MAR

```

111 22 1111
11 22 3 222 111
11 2 333 333 22 11
11 22 33 444 333 2 1
11 2 33 4444444 33 2 11
1 33 4444 4444 33 2 111111
1 2 33 444 4444 33 2111111111
1 2 3 444 5 4444 33 2 1111111111
4 55 66666 66666 555 4 3333333 222
4 5 666 777777777 666 5 4444444 3333
3455 66 7777 7777 66 5 4444444
5 6 777 833333 777 66 55555 444444
8 9999999999999999999 88 77 666666666 55
1 9 AAAAAAAAAAAAAA 9999 83 7777 66666
1 2BC DD CC 5555B AAAA 99 8 7777777
2 CD EE DD CCCCC BBBBEB AAA 9 8888888 7777
1 2BC DD CC 5555B AAAAA 999 8 7777777 6666
11 2222222222 111111
111111111111111111

```

TIERRA

.....

Hora 6

.....

MAR

```

11
11111
1111111
111111111
11 2 22222 111111111
11 2 33 33333 22222 11111
11 2 33 44444444 3333 2222 11111
11 22 3 444 44444444 33333333 222
11 33 444 44444 333333 2
1 2 33 444 555555 444444 33333
11 2 3 44 5555555555 44444444 3333
1 2 3 44 555 5555555 4444444444 3333
3 4 55 6666 666666 5555555 4
4 55 66 77777 7777777 6666666 55555
5 666 7777 888 77777 66666666
45 66 777 888888888888 777777 6666666
999999999999 9999999 8888 777777
11 9 AAAAAAAAAAAAAAAAAA 99999 8888888888 77
1 28C DD CC EEEEBB AAAA 99 88888888
11 2 CD EE D CCC BEEB AAA 999999 888888
11 28C DD C BEB AAAA 999 888888 777777
111 22222 22222 1111
11111 111111111

```

TIERA

.....

Hora 7


```

*****
                        1111  2222  333  22222
                        1111  222  333  22222
                        1111  2222  33333333  2222
                        111  222  333333333333  2222
                        111  222  33333  3333533  222
                        111  22  33333  3333333  2
                        111  22  33333  3333333
                        11  222  33333  333333
                        111  222  3333  44  33333
                          11 2  333  444444  4444444
                          1 2 33 444444 55555555555555 444
                          11 2 3 4444 555555555 55555555
                          1 2 3 44 5555555 66666 555555
                          1 2 33 44 55555 6666666666666666 5555
                          12 3 4 555 66666666666666 66666666
                          2 3 4 55 666666666666 66666666
                          3 44 55 66666666 66666666
                          345 666 7777777777777 77777777 6
                          45 6 777 8888888888888888 7777777
                          6 777 8888888888888888888888888888 777
                          56 77 88888 8888888888
                          9 9999999999999 88888888
                          11 A AAAAAAAAAAAAAA 9999999999 88
                          111BCDD CC BBBBBB AAAAAA 9999999999 8
                          111 CD EE D CCC BBBBB AAAA 9999999999
                          111BC DD C BBB AAAAA 9999 8888888888
                          111 22222 22222222 11111111111
                          111111 111111111111
                          11111111111111111111
*****

```

MAR

TIERRA

Hora 9


```

*****
11 22 4 55                                     555555555
11 22 55                                         555
1 2 4 5 666 6666666666
1 22 4 5 666666666666666666666666666666666
1 2 4 5 666666666666666666666666666666666
11 2 3455 666666666666666666666666666666666
1 2 345 666666666666666666666666666666666
1 2 33 5 6666 666666666666 666666666666666666666666666666666
1 2 33 5 666 666666666666666666666666666666666
3 45 6 7777 666666666666666666666666666666666
123 44 6 777 7777777777 666666666666666666666666666666666
3 4 6 7 7777777777777777 666666666666666666666666666666666
3 4 55677 888 7777777777777777 666666666666666666666666666666666
2344 555 7 88888888 7777777777 666666666666666666666666666666666
4 55 7 8888 8888 77777777 666666666666666666666666666666666
4 55 7 888 888888 77777777 666666666666666666666666666666666
4 5 67 8 8888888 7777777 666666666666666666666666666666666
5 66 8 999999 8888888 777777 666666666666666666666666666666666
45 6 778 9 99 8888888 777777 666666666666666666666666666666666
6 77 9 9 8888888 777777 666666666666666666666666666666666
6 77 9 AAAAAA 99 8888888 777777 66 555555
7 88 A B8888 A 8888 777777 666 555555555555
67 8 99A B 6 A 88 7777 6666 55 4444444 4444444
78 9 AABC D E LC88 7777 666666 555 44444444 3
9 AA C D EE E 77 6666 555555 444 3 2222222
8 99 B C DD D 66 5555 444444 33 2 111111111
*****

```

MAR

TIERA

Hora 18

MAR

TIERA

```

*****
111 22 3 4 555 66666666 555555555555555555
11 22 3334 55 666666666666666666 5555555555555555
11 22 33334 5 66666666666666666666 5555555555555555
1 22 3333 4 55 666666666666666666666666 5555555555555555
11 2 333 4 55 6666666666666666666666666666 555555555555
11 22 333 4 5 66666 6666666666666666666666 5555555555
1 2 333 55 666 66666666666666666666666666 555555333
1 2 333 55 666 66666666666666666666666666 5555555
1 22 333 4 5 666 666666666666666666666666 55555
1 2 33 444445 66 77777777 6666666666666666 5555555
12 3 4444 5 66 777777777777 666666666666 555555555
1 3 444 5 66 777 77777777 6666666666 5555555555
12 3 444 555 6 77 7777777 66666666 555555555555
12 3 444 55556 77 77777777 66666666 5555555555555
1 3 44 5555 6 77 888888 77777777 66666666 5555555555555
3 44 555 6 77 888888888 7777777777 6666666 5555555555555
4 555 7 888888888 77777777 6666666 5555555555555
344 555 66666 7 88 8888 7777777 6666666 555555555
4 55 6666 7 88 888 77777 6666666 555 444444
34 55 666 77 88 999999 888 7777 6666666 555 44444444444
1111 4 5 66 7777 8 99999999 88 777 6666666 555 4444444 3333
11111111 45 6 777 888 99 AAAAAA 99 877 666666 55555 444 33333333
1111 222222 6 77 8888 9 AA AAA 99 86 555 4444 3 2222222
2222 3335336 7 88 9999 88 CCC DD D 666 5555 444444 33 2 1111111111
3333333 44 788 99 AAAAAA CC DDD EE E 55 4444 33 222 111
1 22222 6 7 88 9999A BB CCC DD D 4 333 222 111111
2 3 444432
1 2 33 2
*****

```

MAR

TIERRA

22222 3 444 55555 66666666666 55555555555
2222 333 44 5555 666666666666666 55555555555
2222 33333 444 5555 6666666666666666666 55555555555
2222 333333 44 5555 6666666666666666666666666 55555555555
222 3333333 44 555 6666666 666666666 55555555555
2 3333333 44 555 6666666 6666666666666 55555555555
3333333 44 555 6666666 66666666666666666666666666666 55555555555
333333 44444 555 66666 7 6666666666666666666 55555555555
333 4444444444 555 66666 77777777 6666666666666666666 5555555 444
4444444444 55 66666 777777777777777 6666666666666666666 5555555 444444
44444444 55 66666 77777777777777777 6666666666666666666 5555555 4444444444444
4444444 55 66666 77777777777 7777777 666666666 5555555 4444444444444444
44444 5555 666 7777777 777777 666666666 5555555 4444444444444444
4444 5555555 666 7777777 777777 666666666 5555555 4444444444444444
44 5555555555 666 7777777 777777 6666666 5555555 44444444444 33
55555555 66 77777 777 6666 5555555 4444 33333333
555555 666666 77777 8888888888 77 666 5555555 44444 33333333
55 666666666666 77777 8888888888888888 77 66 55555 4444444 33 222222 11111
6666666666 7777 8888888888888888888888 77 66 55 4444444 3333 22222 11111111111
666 777777777 888888 9999 888 7 6 55 4444444 3333 22 1111111111111111
777777777 8888 9999999 999999999 88 7 6 44 3333 222 11111
88888888 9 AAA BBBBBB CCCC DD D 44 3 22222 1111111
88 9999999999 A BEE CCCC DDDD EE E 3 2 11111111111
7 8888888888 9 AAA BBBBBB CCCC DD D 2 11111111111
3333 444445 66 777 88888888 888 77 65
2222 334 55 666 77777777 777 66 54
111 22 555555533 3 2 11
111 222 33 2 111
1111 2222222 2 111
11111111 11

Hora 22

MAR

TIERRA

```

*****
1233 44444444 55555 6666666666 5555555555555555 444444444
33 4444444444 55555 6666666666666666 5555555555555555 444444444
3 4444444444 55555 66666666666666666666 5555555555555555 444444444
4444444444 5555 666666666666666666666666 5555555555555555 444444444
444444444 5555 666666666666666666666666 5555555555555555 444444444
444444444 5555 666666666666666666666666 5555555555555555 444444444
4444444 5555 66666666 66666666 555555555555 444444444
444444 5555 66666666 66666666 555555555555 444444444
4444 55555555 666666 666666 555555555555 444444444444444
4 55555555 666666 777777 66666 55555555555 444444444444444
5555555 66666 77777777777 66666 5555555555 444444444444444
555555 666666 777777777777777 6666 555555555 44444444444 3
55555 66666666 7777777777777777 6666 5555555555 44444444 33333
5555 66666666 77777777 7777777777 6666 555555555 444444 33333333
55 66666666 77777777 77777777 6666 5555555 4444444 33333333 222
6666666 7777777 77777 666 55555 44444444 333 222222 2222222
66666 77777777 88 777 66 55 4444444 3333 222222 1111
666 777777777 8888888888888888 777 66 55 4444 33333 222 1111111111111111
77777777 6666666666666666666666666666 77 66 5 44 333333 22222 1111111111
777 888888888888 888 77 6655 4333 2222 111111111
999999999 AAAA EEEEEE8 CCCC 00 0 22 11111111111
99 AAAA AAAA EEEEEE8 CCCC 00 0 11111111
9999999999 AAAA EEEEEE8 CCCC 00 0 1111
666666 7777 88 999999 999999999999 8
55555 666666 777 888888 88888 7
2222 33 444 5555 5555 44 3 21
11 22222 3 444 55555 55555 44 3 2 1
11111111 2 3 4444 5 444 33 2 11
111111 2 333 44444 333 22 111
11111111111111111111
11111111111111111111
11111111111111111111
1111
*****

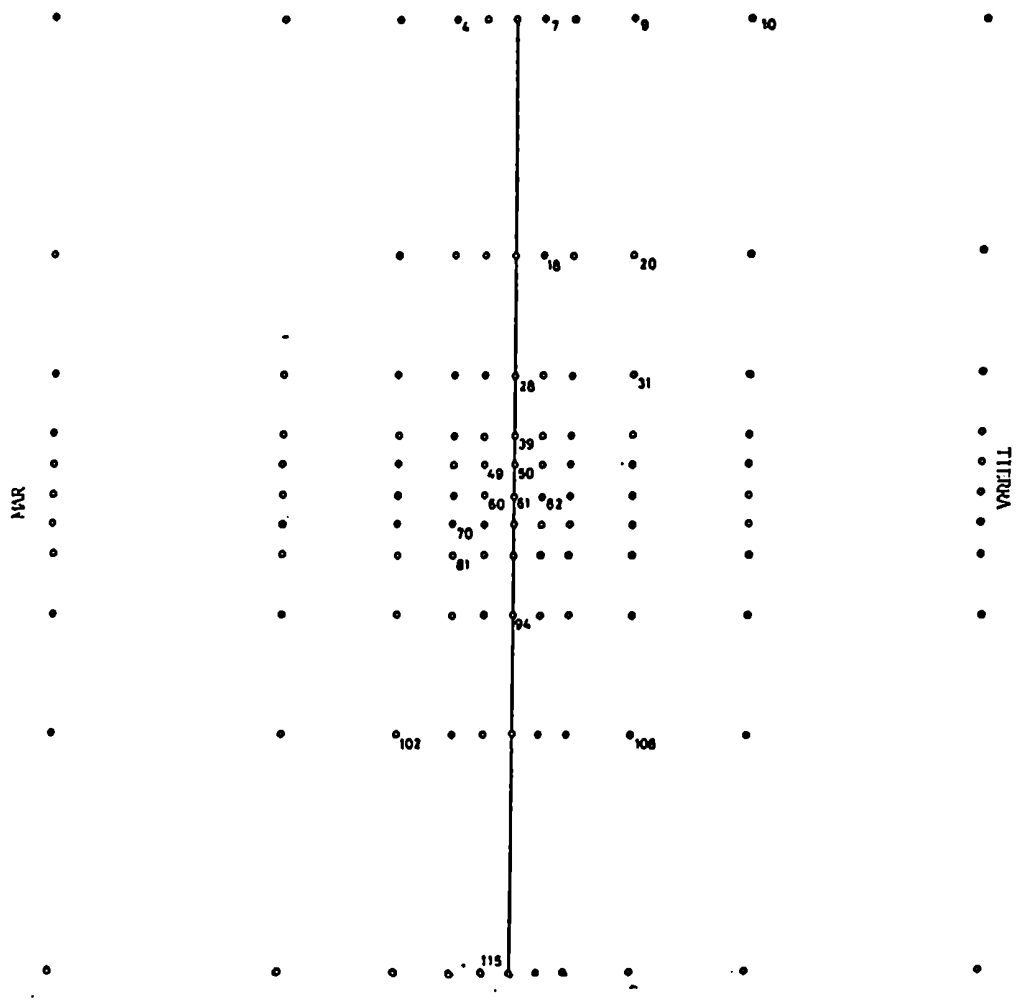
```

Hora 23

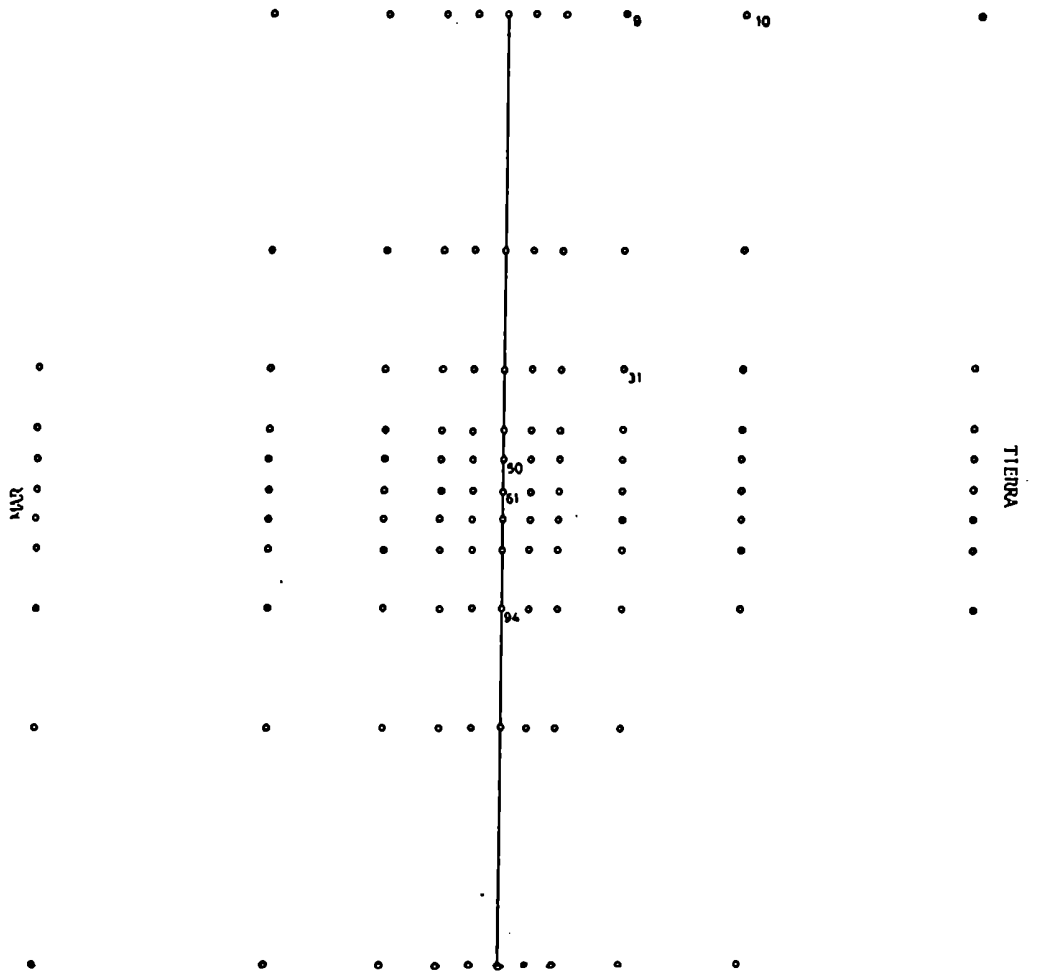

```
*****
5555555555555555 555555555555 4444444444444444 3333333333
5555555555555555 555555555555 4444444444444444 3333333333
5555555555555555 55555555 4444444444444444 3333333333
5555555555555555 55555555 4444444444444444 3333333333
5555555555555555 55555555 4444444444444444 3333333333
5555555555 555555 4444444444444444 3333333333
5555555555 5555 4444444444444444 3333333333
555555 5555 4444444444444444 3333333333
5555 5555 4444444444 33333333 22
55 6666666666 555555 444444 33333333 222222
        6666666666666666 5555555 4444 33333333 22222222
        666666666666666666 55555555 4444 33333333 22222222
        6666666666666666666666 55555555 44 33333333 22222222 1
        666666666666666666666666666666 5555555 44 3333333 222222 111111
        66666666666666666666666666666666 55555555 44 333333 222222 11111111111
        66666666666666666666666666666666666666 555555 44 333 222222 111111111111
6666666666666666 6666666666666666 5555 44 33 2222222 111111111111111
666666666666 666666666666 5555 444 3 2222222 111111111111
6666666666 666666666666 555 4444 3 222 1111111111111
        66666666 5555 4 3 22 1111111111111111
9999999999 666666 555 4 22 111111111111111
9999999999 99999999 99999999 9999 8888 8888 4 B A911111111111
9999 99999999 99999999 99999999 8888888 8888 8888 8888 4 B A911
9999999999 999999999999999999999999 8888 76
8888888888 999999999999 8888888888 9 776
8888888888888888888888888888888888888888 77 65 43
77777 88888 77777777 6654 32
77777777777777777777777777777777 666666 5 3
8888888888888888888888888888888888888888888 5555 4444 3 2111
55 6666666666666666666666666666666666666666666 555555 4444 3 2111
55555 66666 5555555 44444 33 111
55555555 55555555 44444 335 2 11
555555555 5555555555 4444 3333 2 11
444 5555555555 555555555 444444 3333 22 11
4444444444 444444444 44444444 3333 222 11
33333 44444444 33333 2222 1111
22222 44444444 22222 1111111111
2222222 2222222 1111111111
2222222 2222222 1111111111
1 2222222 2222222 1111111111
111 22222222222222 1111111111
11111 2222222222 1111111111
111111 22222 1111111111
111111111 1111111111
1111111111 1111111111
11111111111 1111111111
*****
```

MAR

TIERRA



UBICACION DE TODAS LAS ESTACIONES MENCIONADAS EN EL TEXTO



UBICACION DEL CONJUNTO DE ESTACIONES SELECCIONADO

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

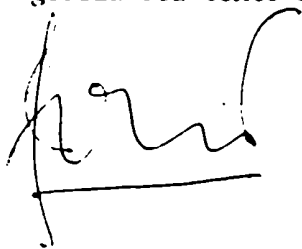
En el presente trabajo se muestra una simulación numérica de la circulación de Brisas de Mar y de Tierra, y de dispersión por la misma de un contaminante inerte. En base a dicha simulación se efectúa, y éste es el aporte más importante y original de este trabajo, una optimización de la ubicación de un número reducido de puntos de muestreo de contaminante; mostrándose que, con el procedimiento aquí presentado, es posible seleccionar aquellos puntos de la grilla de predicción que contienen máxima información. De tal manera, cuando se efectúa con este procedimiento el ajuste, por minimización de error cuadrático entre predicción y observación en esos puntos, se obtiene una representación con muy pequeño error en los puntos restantes de la grilla.

La metodología de optimización de medición presentada, de la cual se muestra aquí una aplicación concreta, es de validez general; como es posible ver a través de su tratamiento matemático, puede utilizarse para la obtención de información de cualquier parámetro, en base a cualquier tipo de modelo predictivo del mismo.

En el problema particular del estudio de la posible contaminación del aire en la zona de Puerto Madryn, los resultados presentados aquí serán utilizados para optimizar la configuración de la futura red de medición y registro de contaminante, según lo propuesto en la sección 4. Además, cuando se cuente con información experimental suficiente, se planteará la validación del modelo de dispersión (orientado a episodios de altas concentraciones) utilizado aquí; y, en la medida en que los resultados lo justifiquen, se comenzará el desarrollo de otro modelo matemático de dispersión de contaminante en meso-escala. Dados los grandes requerimientos computacionales de modelos más complejos, éstos desarrollos deberán esperar la puesta en funcionamiento de las nuevas instalaciones de cómputo del Centro Nacional Patagónico.-

6, AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer a todos aquellos que hicieron posible la realización de este trabajo: A su esposa, por su apoyo y aliento a lo largo de los años que insumió; a su Director de Tesis, Dr, Vicente R. Barros, por su productiva conducción; a su Consejero de Estudios, Dr. José Alberto Juan Hoffmann, por sus comentarios que fueron muy útiles para dar su forma final a este trabajo; al Centro Nacional Patagónico, por el apoyo recibido, no sólo financiero sino también para procesamiento en su centro de cómputo; al personal de dicho centro de cómputo por su diligencia y eficacia en el cumplimiento de sus funciones; y a la Srta, Graciela Formella por su hábil dactilografía del texto final.-



T A B L A 1

<u>CON ESTACIONES:</u>	<u>EL ERROR ES:</u>
61	8,53 %
61 y 60	2,60 %
61, 60 y 62	1,07 %
61, 60, 62 y 4	0,51 %
61, 60, 62, 4 y 49	0,27 %
61, 60, 62, 4, 49 y 20	0,13 %

T A B L A 2

<u>CON ESTACIONES:</u>	<u>EL ERROR ES:</u>
31	24,21 %
31 y 61	8,13 %
31, 61 y 50	2,89 %
31, 61, 50 y 60	0,74 %
31, 61, 50, 60 y 62	0,37 %
31, 61, 50, 60, 62 y 49	0,21 %

T A B L A 3

<u>CON ESTACIONES:</u>	<u>EL ERROR ES:</u>
102	40,84 %
102 y 108	23,81 %
102, 108 y 42	13,21 %
102, 108, 42 y 18	7,56 %
102, 108, 42, 18 y 7	4,87 %
102, 108, 42, 18, 7 y 81	3,02 %

T A B L A 4

<u>CON ESTACIONES:</u>	<u>EL ERROR ES:</u>
50	34,62 %
50 y 102	13,40 %
50, 102 y 115	7,69 %
50, 102, 115 y 39	4,36 %
50, 102, 115, 39 y 70	2,61 %
50, 102, 115, 39, 70 y 28	1,72 %

T A B L A 5

<u>CON ESTACIONES:</u>	<u>EL ERROR ES:</u>
61	8,54 %
61 y 9	2,75 %
61, 9 y 62	1,20 %
61, 9, 62 y 6	0,80 %
61, 0, 62, 6 y 50	0,40 %
61, 9, 62, 6, 50 y 29	0,18 %

T A B L A 6

<u>CON ESTACIONES:</u>	<u>EL ERROR ES:</u>
31	24,21 %
31 y 61	8,13 %
31, 61 y 50	2,89 %
31, 61, 50 y 62	0,74 %
31, 61, 50, 62 y 18	0,38 %
31, 61, 50, 62, 18 y 28	0,21 %

T A B L A 7

<u>CON ESTACIONES:</u>	<u>EL ERROR ES:</u>
94	44,41 %
94 y 10	25,67 %
94, 10 y 31	14,90 %
94, 10, 31 y 108	8,34 %
94, 10, 31, 108 y 42	4,88 %
94, 10, 31, 108, 42 y 20	3,16 %

T A B L A 8

<u>CON ESTACIONES:</u>	<u>EL ERROR ES:</u>
50	34,62 %
50 y 94	14,66 %
50, 94 y 10	8,20 %
50, 94, 10 y 39	4,88 %
50, 94, 10, 39 y 119	2,63 %
50, 94, 10, 39, 119 y 31	1,87 %

7.- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Barros, V.R. y Cejas, J.J., 1975. "Mediciones de Flúor soluble en Puerto Madryn en días con Brisa de Mar". Informe Interno del Centro Nacional Patagónico.-

Baros, V.R., 1976."Informe sobre normas de calidad de aire para flúor y dióxido de azufre". Informe Interno del Centro Nacional Patagónico.-

Barros, V.R., 1976. "La contaminación con Flúor en Puerto Madryn". Informe Interno del Centro Nacional Patagónico.-

Bierly, E.W. y Hewson, E.W., 1963. "Atmospheric diffusion studies near a lake shore". Journal of Applied Meteorology, Vol. 2.(citado en Lyons, 1975).

Briggs, G.A., 1973. "Diffusion estimation for Small Emissions".ATDL Contribution file Nr. 73/79; ATDL, Oak Ridge, Tén..-

Brown, J.A. y Campana, K.A., 1978. "An Economical Time-Differencing System for Numerical Weather Prediction". Monthly Weather Review, Vol. 95.-

Carmichael, G.R., Kitada, T., y Peters, L.K., 1980. "Application of a Galerkin finite element method to atmospheric transport problems". Computers and fluids, Vol. 8.-

Cole, H.S. y Lyons, W.A., 1972. "The impact of the Great Lakes on the air quality or urban shoreline areas; some practical application with regard to air pollution control policy and environmental decision making". Proceedings of the 15th Conference on Great Lakes Research, International Association for Great Lakes Research, 1972.- (citado en Lyons, 1975).

Csanady, G.T., 1969. "Diffusion in an Ekman layer". Journal of the Atmospheric Sciences, Vol.26.-

Crowley, W.P., 1968. "Numerical advection experiments". Monthly Weather Review, Vol. 96.-

Davis, P.J., 1979. "Circulant Matrices". Wiley-Interscience (John Wiley and Sons).-

Defant, F., 1951. "Local winds". Compendium of Meteorology, Boston. Mass. American Meteorological Society.-

Deardorff, J.W., 1973. "Three-dimensional numerical modeling of the planetary boundary layer". Workshop on Micrometeorology, D.A. Haugen, Ed.; American Meteorological Society.-

Eschenroeder, A.Q., Martinez, J.K., y Nordsreck, K.A., 1973. "Evaluation of a diffusion model for photochemical smog". Final Report, Contract. 68-02-0336 by General Research Corp., Santa Barbara, CA, for EPA.-

Estoque, M., 1961. "A theoretical investigation of the sea breeze". Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Vol. 87.-

Estoque, M., 1962. "The sea breeze as a function of the prevailing synoptic situation". Journal of the Atmospheric Sciences, Vol. 19, 1962.-

Fisher, E., 1961. "A theoretical study of the sea breeze". Journal of Meteorology, vol. 18.-

Fleagle, R.G., 1948. "Quantitative factors influencing pressure change". Journal of Meteorology, Vol. 5.-

Geisler, J.E. y Bretherton, F.P., 1968. "The sea Forerunner". Journal of the Atmospheric Sciences, Vol. 26.-

Gifford, F.A., 1960. "Peak to average concentration ratios according to a fluctuating plume dispersion model". International Journal of Air Pollution, Vol. 3.-

Golub, G.H. y Reinsch, C., 1970. "Singular value decomposition and least squares solutions". Numerische Mathematik, Vol. 14.-

Hanna, S.R., 1977. "Urban modelling of inert substances". ATDL Contribution File Nr. 7717; ATDL, Oak Ridge, Tenn..-

Hay, J.S. y Pasquill, F., 1957. "Diffusion from a fixed source at a height of a few hundred feet in the atmosphere". Journal of Fluid Mechanics, Vol.2.-

Hewson, E.W., Gill, G.C., y Walker, G.J., 1963. "Smoke plume photographuy study, Big Rock Point Nuclear Plant, Charlevoix, Michigan". Publication Nr.04015-3-P, Department of Meteorology and Oceanography, University of Michigan.(citado en Lyons, 1975).

Kao, S.K., Paegle, J. Youngblood, R.D., 1975. "The effect of a sinusoidal wave motion on diffusion from an infinite line source". Pure and Appl. Geophysics, Vol. 113.-

Kao, S.K., Doran, J.C., 1976. "Turbulent diffusion in linear shear flow". Pure and Appl. Geophysics, Vol. 114.

Keen y Lyons, 1975. "Trajectory analyses of mesoscale air pollution transport on the Lake Michigan Shoreline environment". Presented to the First Conference on Regional and Mesoscale modeling, Analysis and Prediction, American Meteorological Society, Las Vegas. (citado en Lyons, 1975).

Keen, K.S. y Lyons, W.A., 1978. "Lake/Land Breeze Circulations on the Western Shore of Lake Michigan". Journal of Applied Meteorology, Vol. 17.-

Labraga, J.C. y Barros, V.R., 1979. "Simulación numérica del efecto de la estabilidad estática en un modelo hidrodinámico de la capa límite". Geoacta, Vol. 11.-

Lavoie, R., 1968. "A mesoscale numerical model and lake-effect storms". Ph. D. Dissertation, Pennsylvania State University. Citado por Pielke, 1974a .-

Leith, C., 1969. "Two dimensional eddy viscosity coefficients". Proceedings of the WMO/IUGG Symposium on Numerical Weather Prediction, Tokyo; Japan Meteorological Agency. (citado por Pielke, 1974b).-

Lilly, D.K., 1961. "A proposed staggered-grid system for numerical integration of dynamic equations". Monthly Weather Review, Vol. 89.

Lilly, D.K., 1969. "The numerical simulation of three dimensional turbulence with two dimension s". Proceedings of the International Symposium on High Speed Computing in Fluid Dynamics, Monterrey, CA, 1969. (citado por Pielke, 1974b).-

Liu, C.Y. y Goodin, W.R., 1976. Atmospheric environment, Vol. 10.-

Long, P., 1976. "Dissipation, dispersion and difference schemes". NOAA TM NWS TDL 55, 1976 (Publicado por el Technique Development Laboratory National Weather Service, NOAA, Silver Spring, Maryland 20910, EE.UU.).-

Lyons, W.A., 1972. "Mesoscale transport of pollutants in the Chicago area as affected by land and lake breezes". Proceeding of the Second International Clear Air Congress.-

Lyon, W.A., 1975. "Turbulent diffusion and pollutant transport in shoreline environments". In Lectures on Air Pollution and Environmental Impact Analysis, D.A. Haugen, coord.. American Meteorological Society.-

Lyons, W.A., Olsson, L.E., 1973, "Detailed mesometeorological studies of air pollution dispersion in the Chicago lake breeze". Monthly Weather Review, Vol. 101.-

Mahrer, Y., Pielke, R., 1977. "The effects of topography on sea and land breezes in a two-dimensional numerical mode-". Monthly Weather Review, Vol. 105.-

McCormack, R.W., 1969. "The effect of viscosity in hypervelocity impact Cratering". AIAA Paper 69-354. Citado en "A comparison of numerical solutions on the advective equation", D.Anderson y B. Fattahi. Journal of the Atmospheric Sciences, Vol. 31, 1974.-

McCracken, M.C. y Grant, K.C., 1975. "Livermore Regional Air Quality model LIRAQ-1". UCRL - 76198, Lawrence Livermore Laboratory.-

Mc Pherson, R., 1970. "A numerical study of the effect of a coastal irregularity on the sea breeze". Journal of Applied Meteorology, Vol. 9.-

Molenkamp, C.R., 1968. "Accuracy of finite difference methods applied to the advection equation". Journal of Applied Meteorology, Vol. 7.-

Neumann, J., Mahrer, Y., 1971. "A theoretical study of the land and sea breeze circulation". Journal of the Atmospheric Sciences, Vol. 28.-

Neumann, J., Mahrer, Y., 1974. "A theoretical study of the sea and land breezes of circular islands". Journal of the Atmospheric Sciences, Vol. 31.-

Neumann, J., Mahrer, Y., 1975. "A theoretical study of the lake and land breezes of circular lakes". Monthly Weather Review, Vol. 103.

Noll, K.E., y Miller, T.L., 1977. "Air monitoring survey design". Ann Arbor Science Publishers.

Ogura, Y., 1963. "The evolution of a moist convective element in a shallow conditionally unstable atmosphere: A numerical experiment". (copia proporcionada por el Dr. J. Pandolfo).

Okubo, A., Karweit, M.J., 1969. "Diffusion from a continuous source in a uniform shear flow". Limnology and Oceanography, Vol. 14.-

Orville, H.D., 1964. "On mountain upslope winds". Journal of the Atmospheric Sciences, Vol. 21.-

Paegle, J.N., Kao, S.K., 1977. "Turbulent diffusion in the Ekman boundary layer". Atmospheric Environment, Vol. 1.-

Pandolfo, J.P., y Javobs, C.A., 1973. "Tests of an Urban Meteorological Pollutant Model using CO Validation Data in the Los Angeles Metropolitan Area". CEM Report 490. The Center for the Environment and Man.-

Pearce, R.P., 1955. "The calculation of the sea breeze circulation in terms of the differential heating across the coastlike". Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Vol. 81.-

Penrose, R., 1965. "On best approximate solutions of linear matrix equations". Proceeding of the Cambridge Philosophical Society, Vol. 52.-

Pielke, R., 1974a. "A three dimensional numerical model of the sea breezes over South Florida". Monthly Weather Review, Vol. 102.-

Pielke, R. 1974b. "A comparison of three-dimensional and two dimensional numerical predictions of sea breezes". Journal of the Atmospheric Sciences, Vol. 31.-

Physick, W., 1976. "A numerical model of the sea-breeze phenomenon over a lake or gulf". Journal of the Atmospheric Sciences, Vol. 33.-

Pooler, F., 1974, "Network Requirements for the Saint Louis Regional Air Pollution Study". Journal of the Air Pollution Control Association, 1974.-

Prophet, D.T., 1961. "Survey of available information pertaining to the transport and diffusion of air borne material over ocean and shoreline complexes". TR89, Aerosol Lab., Stanford University.- (Citado por Lyous, 1975).

Rao, C.R., y Mitra, S.K., 1971. "Generalized inverse of matrices and its applications". John Wiley and Sons.-

Rivero, M.M., y Barros, V.R., 1975. "Aspectos estadísticos de la Brisa de Mar en Puerto Madryn durante el verano 1975-1975". Informe Interno del Centro Nacional Patagónico.-

Rivero, M.M. y Barros, V.R., 1977. "Estadística de la red micrometeorológica de Puerto Madryn y aplicaciones a modelos de difusión". Informe Interno del Centro Nacional Patagónico.-

Robert, A.J., 1966. "The integration of a low order spectral form of the primitive meteorological equation". Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol. 44.-

Roberts, O.F.T., 1923. "The theoretical scattering of smoke in a turbulent atmosphere". Proceeding of the Royal Society. A., Vol. 104.-

Rodriguez Seró, J.A., Aiello, J.L. y Labraga, J.C., 1979. "Modelo de circulación de Brisa de Mar y Tierra". Geoacta, Vol. 9.-

Rosenthal, S., 1969. "Experiments with a numerical model of tropical cyclone development. Some effects of radial resolution". Technical Memorandum ERLTM-NHRL 87.-

§

Roth, P.M., Roberts, P.J., Liu, M.K., Reynolds, S.D. y Seinfeld, J.H., 1974. Atmospheric Environment, Vol. 8.-

Saffman, P.G., 1962. "The effect of wind shear on horizontal spread from an instantaneous ground source". Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Vol. 88.-

Scian, B., 1976. "La brisade mar en Puerto Madryn durante el verano 1975-1976". Informe Interno del Centro Nacional Patagónico.-

Shir, C.C. y Shieh, L.J., 1974. Journal of Applied Meteorology, Vol. 13.-

Slade, D.H., 1962. "Atmospheric diffusion over Chesapeake Bay". Monthly Weather Review, Vol. 90.-

Smith, M.E. y Singer, I.A., 1965. "An improved Method of Estimating Concentrations and Related Phenomena from a Point Source Emission". USAEC Report BNL-9700, Brookhaven National Laboratory. Citado por Noll y Miller, 1977.-

Spiegel, E.A. y Veronis, G., 1959. "On the Boussinesq approximation for a compressible fluid". Astrophysical Journal, Vol. 131.-

TVA, 1974. "Summary of Tennessee Valley Authority Atmospheric Dispersion Modeling". Presentado por la Conferencia sobre la experiencia de la Tennessee Valley Authority, del Institute for Applied System Analysis, Schloss Laxenburg, Austria, 1974. Citado por Noll y Miller, 1977.-

U.S. Environmental Protection Agency, 1971. "Guidelines: Air Quality Surveillance Networks". AP-98, 1971. Citado por Noll y Miller, 1977.-

Van der Hoven, I., 1967. "Atmospheric transport and diffusion at coastal sites". Nuclear Safety, Vol. 3. Citado por Lyous, 1975).

Wexler, R., 1946. "Theory and observations of land and sea breeze". Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 27.-





VELOCIDAD HORIZONTAL ACERCA P IP CORVA (II)
EN LA HORA 27 A LOS 36000 SEGUNOS

291.33335	292.6654	252.69414	293.52976	294.67647	297.53146	296.4331	294.17389	295.83703
292.33078	282.66054	292.64514	253.52876	294.67647	297.53146	296.4331	294.17389	295.83703
293.33075	285.41282	292.43190	293.46295	293.53531	297.53536	296.56474	294.17389	295.83703
293.33335	282.31643	292.32648	293.35274	293.38428	297.41046	296.04712	295.59056	296.56474
293.33075	283.37650	292.34514	293.35274	293.38428	297.41046	296.04712	295.59056	296.56474
293.33075	285.37695	292.59231	293.41147	293.67140	294.67647	296.4331	295.83703	296.56474
293.33075	282.42286	292.64605	293.41147	293.67140	294.67647	296.4331	295.83703	296.56474
297.67021	286.57435	295.68154	295.57563	294.67647	294.67647	296.4331	295.83703	296.56474
301.57941	295.27207	295.68426	295.61156	295.17471	296.37126	296.04712	295.61156	296.37126
301.63774	290.56414	290.68489	290.31072	290.61070	290.63378	290.62001	290.61070	290.63378
301.63625	300.10407	290.10407	290.31072	290.61070	290.63378	290.62001	290.61070	290.63378
302.34332	300.42149	300.42149	300.42149	299.62278	299.62278	299.62278	299.62278	299.62278
302.34332	300.42149	300.42149	300.42149	299.62278	299.62278	299.62278	299.62278	299.62278
302.34332	300.42149	300.42149	300.42149	299.62278	299.62278	299.62278	299.62278	299.62278
302.34332	300.42149	300.42149	300.42149	299.62278	299.62278	299.62278	299.62278	299.62278

VELOCIDAD HORIZONTAL ACERCA P IP CORVA (II)
EN LA HORA 27 A LOS 36000 SEGUNOS

294.33078	280.33078	295.55215	296.92951	298.92951	296.41001	296.56474	296.56474	296.56474
295.33078	280.33078	295.55215	296.92951	298.92951	296.41001	296.56474	296.56474	296.56474
296.33078	280.33078	295.55215	296.92951	298.92951	296.41001	296.56474	296.56474	296.56474
297.33078	280.33078	295.55215	296.92951	298.92951	296.41001	296.56474	296.56474	296.56474
298.33078	280.33078	295.55215	296.92951	298.92951	296.41001	296.56474	296.56474	296.56474
299.33078	280.33078	295.55215	296.92951	298.92951	296.41001	296.56474	296.56474	296.56474
300.33078	280.33078	295.55215	296.92951	298.92951	296.41001	296.56474	296.56474	296.56474
301.33078	280.33078	295.55215	296.92951	298.92951	296.41001	296.56474	296.56474	296.56474
302.33078	280.33078	295.55215	296.92951	298.92951	296.41001	296.56474	296.56474	296.56474
303.33078	280.33078	295.55215	296.92951	298.92951	296.41001	296.56474	296.56474	296.56474
304.33078	280.33078	295.55215	296.92951	298.92951	296.41001	296.56474	296.56474	296.56474

VELOCIDAD HORIZONTAL ACERCA P IP CORVA (VI)
EN LA HORA 27 A LOS 36000 SEGUNOS

295.33078	280.33078	295.55215	296.92951	298.92951	296.41001	296.56474	296.56474	296.56474
296.33078	280.33078	295.55215	296.92951	298.92951	296.41001	296.56474	296.56474	296.56474
297.33078	280.33078	295.55215	296.92951	298.92951	296.41001	296.56474	296.56474	296.56474
298.33078	280.33078	295.55215	296.92951	298.92951	296.41001	296.56474	296.56474	296.56474
299.33078	280.33078	295.55215	296.92951	298.92951	296.41001	296.56474	296.56474	296.56474
300.33078	280.33078	295.55215	296.92951	298.92951	296.41001	296.56474	296.56474	296.56474
301.33078	280.33078	295.55215	296.92951	298.92951	296.41001	296.56474	296.56474	296.56474
302.33078	280.33078	295.55215	296.92951	298.92951	296.41001	296.56474	296.56474	296.56474
303.33078	280.33078	295.55215	296.92951	298.92951	296.41001	296.56474	296.56474	296.56474
304.33078	280.33078	295.55215	296.92951	298.92951	296.41001	296.56474	296.56474	296.56474

VELOCIDAD HORIZONTAL ESTADÍSTICA

Table with 4 columns: station number, velocity value, station number, velocity value. Includes sub-header 'EN LA LÍNEA 26 A LOS 3600.0 SEGUNDOS'.

VELOCIDAD HORIZONTAL GENERAL A LA COSTA (II)

Table with 4 columns: station number, velocity value, station number, velocity value. Includes sub-header 'EN LA LÍNEA 26 A LOS 3600.0 SEGUNDOS'.

VELOCIDAD HORIZONTAL ESTADÍSTICA A LA COSTA (VI)

Table with 4 columns: station number, velocity value, station number, velocity value. Includes sub-header 'EN LA LÍNEA 26 A LOS 3600.0 SEGUNDOS'.

VELOCIDAD VERTICAL (A)

Table with 4 columns: station number, velocity value, station number, velocity value. Includes sub-header 'EN LA LÍNEA 26 A LOS 3600.0 SEGUNDOS'.

1681
v.2
ej.3

FCEyII - BIBLIOTECA

A N E X O I

LISTADO DE VARIABLES DINAMICAS

1681
v.2
ej.3

VELOCIDAD VERTICAL EN LA HORA 17 A LOS 3600.0 SECONDES

Table with 4 columns: Altitude (m), Vertical Velocity (m/s), Acceleration (m/s²), and Time (s). Contains data for vertical velocity measurements.

VELOCIDAD HORIZONTAL EN LA HORA 17 A LOS 3600.0 SECONDES

Table with 4 columns: Altitude (m), Horizontal Velocity (m/s), Acceleration (m/s²), and Time (s). Contains data for horizontal velocity measurements.

VELOCIDAD HORIZONTAL EN LA HORA 17 A LOS 3600.0 SECONDES

Table with 4 columns: Altitude (m), Horizontal Velocity (m/s), Acceleration (m/s²), and Time (s). Contains data for horizontal velocity measurements.

VELOCIDAD VERTICAL EN LA HORA 17 A LOS 3600.0 SECONDES

Table with 4 columns: Altitude (m), Vertical Velocity (m/s), Acceleration (m/s²), and Time (s). Contains data for vertical velocity measurements.

VELOCIDAD HORIZONTAL EN LA HORA 17 A LOS 3600.0 SECONDES

Table with 4 columns: Altitude (m), Horizontal Velocity (m/s), Acceleration (m/s²), and Time (s). Contains data for horizontal velocity measurements.

TEMPERATURA POTENCIAL EN LA MOPA 16 A LOS 3600.0 SEGUNDOS

Table with columns for temperature values ranging from 292.54053 to 292.57100, corresponding to various time points.

VELOCIDAD HORIZONTAL NOROCCIDENTAL EN LA MOPA 16 A LOS 3600.0 SEGUNDOS

Table with columns for horizontal velocity values ranging from -25413 to -58102, corresponding to various time points.

VELOCIDAD HORIZONTAL NORTOCCIDENTAL EN LA MOPA 16 A LOS 3600.0 SEGUNDOS

Table with columns for horizontal velocity values ranging from -47430 to -23206, corresponding to various time points.

VELOCIDAD VERTICAL EN LA MOPA 16 A LOS 3600.0 SEGUNDOS

Table with columns for vertical velocity values ranging from -22219 to -23206, corresponding to various time points.

TEMPERATURA POTENCIAL

Table with columns for 'EN LA HORA 15 A LOS 3600.0 SECONDES' and 'EN LA HORA 15 A LOS 3600.0 SECONDES'. Rows include data for various time points from 293.0000 to 295.3500.

VELOCIDAD HORIZONTAL

Table with columns for 'EN LA HORA 15 A LOS 3600.0 SECONDES' and 'EN LA HORA 15 A LOS 3600.0 SECONDES'. Rows include data for various time points from 293.0000 to 295.3500.

VELOCIDAD HORIZONTAL

Table with columns for 'EN LA HORA 15 A LOS 3600.0 SECONDES' and 'EN LA HORA 15 A LOS 3600.0 SECONDES'. Rows include data for various time points from 293.0000 to 295.3500.

VELOCIDAD VERTICAL

Table with columns for 'EN LA HORA 15 A LOS 3600.0 SECONDES' and 'EN LA HORA 15 A LOS 3600.0 SECONDES'. Rows include data for various time points from 293.0000 to 295.3500.

TEMPERATURA CENTRICAL EN LA UNDA 14 A LOS 3000.0 SEGUNDOS. Table with 3 columns: ID, Value, and Unit/Label.

VELOCIDAD HORIZONTAL CENTRAL A LA UNDA 14 EN LA UNDA 14 A LOS 3000.0 SEGUNDOS. Table with 3 columns: ID, Value, and Unit/Label.

VELOCIDAD HORIZONTAL PERIFERIA A LA UNDA 14 EN LA UNDA 14 A LOS 3000.0 SEGUNDOS. Table with 3 columns: ID, Value, and Unit/Label.

VELOCIDAD VERTICAL EN LA UNDA 14 A LOS 3000.0 SEGUNDOS. Table with 3 columns: ID, Value, and Unit/Label.

TEMPERATURA ORIENTADA
EN LA HORA 12 A LOS 360.0 SECUENCIAS

Table with 10 columns of numerical data for temperature readings at 12:00 across 360 sequences. Values range from approximately 203 to 299.

VELOCIDAD HORIZONTAL ACERCA DE LA COSTA (V)
EN LA HORA 12 A LOS 360.0 SECUENCIAS

Table with 10 columns of numerical data for horizontal velocity readings. Values range from approximately 1.1 to 2.6.

VELOCIDAD HORIZONTAL PERLELA A LA COSTA (V)
EN LA HORA 12 A LOS 360.0 SECUENCIAS

Table with 10 columns of numerical data for parallel horizontal velocity readings. Values range from approximately 1.1 to 2.6.

VELOCIDAD VERTICAL (V)
EN LA HORA 12 A LOS 360.0 SECUENCIAS

Table with 10 columns of numerical data for vertical velocity readings. Values range from approximately -4.1 to 1.3.

TEMERATURA ESTERNA

Table with 10 columns: Hora, Temperatura, Hora, Temperatura, Hora, Temperatura, Hora, Temperatura, Hora, Temperatura. Rows include data for various hours and temperatures.

VELOCIDAD HORIZONTAL MEDIA EN LA CESTA (II)

Table with 10 columns: Hora, Velocidad, Hora, Velocidad, Hora, Velocidad, Hora, Velocidad, Hora, Velocidad. Rows include data for various hours and velocities.

VELOCIDAD HORIZONTAL MAXIMA EN LA CESTA (IV)

Table with 10 columns: Hora, Velocidad, Hora, Velocidad, Hora, Velocidad, Hora, Velocidad, Hora, Velocidad. Rows include data for various hours and maximum velocities.

VELOCIDAD VERTICAL (V)

Table with 10 columns: Hora, Velocidad, Hora, Velocidad, Hora, Velocidad, Hora, Velocidad, Hora, Velocidad. Rows include data for various hours and vertical velocities.

VELOCIDAD VERTICAL (M)

Table with 4 columns: time (203.30335 to 205.52954), vertical velocity (253.70549 to 297.22765), and other data (203.30335 to 205.52954).

VELOCIDAD HORIZONTAL APICAL A LA CORONA (M)

Table with 4 columns: time (203.30335 to 205.52954), horizontal velocity (42.95117 to 71.02907), and other data (203.30335 to 205.52954).

VELOCIDAD HORIZONTAL PARALELA A LOS DIENTES (M)

Table with 4 columns: time (203.30335 to 205.52954), horizontal velocity (18.52157 to 32.43476), and other data (203.30335 to 205.52954).

VELOCIDAD VERTICAL (M)

Table with 4 columns: time (203.30335 to 205.52954), vertical velocity (162.92202 to 295.54531), and other data (203.30335 to 205.52954).

VELOCIDAD HORIZONTAL

Table with 10 columns: station ID, north velocity (cm), east velocity (cm), and other parameters. Includes sub-headers for 'VELOCIDAD HORIZONTAL' and 'EN LA MESA 7 A LOS 360.0 SECLEROS'.

VELOCIDAD HORIZONTAL

Table with 10 columns: station ID, north velocity (cm), east velocity (cm), and other parameters. Includes sub-headers for 'VELOCIDAD HORIZONTAL' and 'EN LA MESA 7 A LOS 360.0 SECLEROS'.

VELOCIDAD HORIZONTAL

Table with 10 columns: station ID, north velocity (cm), east velocity (cm), and other parameters. Includes sub-headers for 'VELOCIDAD HORIZONTAL' and 'EN LA MESA 7 A LOS 360.0 SECLEROS'.

VELOCIDAD VERTICAL

Table with 10 columns: station ID, vertical velocity (cm), and other parameters. Includes sub-headers for 'VELOCIDAD VERTICAL' and 'EN LA MESA 7 A LOS 360.0 SECLEROS'.

VELOCIDAD VERTICAL

Table with 10 columns: station ID, vertical velocity (cm), and other parameters. Includes sub-headers for 'VELOCIDAD VERTICAL' and 'EN LA MESA 7 A LOS 360.0 SECLEROS'.

A N E X O 2

LISTADO DE PROGRAMAS

```

0124      GOTO 160
0125      CALL CKRMARI
0126      GO TO 160
0127      IF (LGT,12) GOTO 160
0128      CALL CKRMARI
0129      GOTO 160
0130      CALL CKRMARI
0131      GOTO 160
0132      CALL CKRMARI
0133      GOTO 160
0134      CALL CKRMARI
0135      GOTO 160
0136      CALL CKRMARI
0137      GOTO 160
0138      CALL CKRMARI
0139      GOTO 160
0140      CALL CKRMARI
0141      GOTO 160
0142      CALL CKRMARI
0143      CONTINUE
0144      SCALE=FALSE
0145      IF (MOD(LINUM,AND(LISTA,FC,SNAND,LFO,IS,ARC,K,FC,LD)) KSB)=LJUF
0146      IF (MOD(LINUM,AND(LISTA,FC,SNAND,LFO,IS,ARC,K,FC,LD)) KSB)=LJUF
0147      IF (MOD(LINUM,AND(LISTA,FC,SNAND,LFO,IS,ARC,K,FC,LD)) KSB)=LJUF
0148      CONTINUE
0149      CONTINUE
0150      GO TO 190
0151      IF (NSUCCESS=2) GO TO 190
0152      LIST=1
0153      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(1),X),L,15),MU,M,1,10)
0154      LIST=2
0155      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(2),X),L,15),MU,M,1,10)
0156      LIST=3
0157      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(3),X),L,15),MU,M,1,10)
0158      LIST=4
0159      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(4),X),L,15),MU,M,1,10)
0160      LIST=5
0161      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(5),X),L,15),MU,M,1,10)
0162      LIST=6
0163      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(6),X),L,15),MU,M,1,10)
0164      LIST=7
0165      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(7),X),L,15),MU,M,1,10)
0166      LIST=8
0167      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(8),X),L,15),MU,M,1,10)
0168      LIST=9
0169      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(9),X),L,15),MU,M,1,10)
0170      LIST=10
0171      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(10),X),L,15),MU,M,1,10)
0172      LIST=11
0173      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(11),X),L,15),MU,M,1,10)
0174      LIST=12
0175      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(12),X),L,15),MU,M,1,10)
0176      LIST=13
0177      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(13),X),L,15),MU,M,1,10)
0178      LIST=14
0179      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(14),X),L,15),MU,M,1,10)
0180      LIST=15
0181      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(15),X),L,15),MU,M,1,10)
0182      LIST=16
0183      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(16),X),L,15),MU,M,1,10)
0184      LIST=17
0185      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(17),X),L,15),MU,M,1,10)
0186      LIST=18
0187      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(18),X),L,15),MU,M,1,10)
0188      LIST=19
0189      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(19),X),L,15),MU,M,1,10)
0189      RETURN
0190      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(20),X),L,15),MU,M,1,10)
0191      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(21),X),L,15),MU,M,1,10)
0192      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(22),X),L,15),MU,M,1,10)
0193      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(23),X),L,15),MU,M,1,10)
0194      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(24),X),L,15),MU,M,1,10)
0195      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(25),X),L,15),MU,M,1,10)
0196      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(26),X),L,15),MU,M,1,10)
0197      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(27),X),L,15),MU,M,1,10)
0198      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(28),X),L,15),MU,M,1,10)
0199      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(29),X),L,15),MU,M,1,10)
0200      CALL IPCU,155(LS,IZ,K,L,(PFI(30),X),L,15),MU,M,1,10)
0201      STOP
0202      END

```


ACI 199 IV CI RELEASE 2.0 ROLP DATE = 01/06 1672170

```

0044 WRITE(100,17) ((I,FK),K=1,100)
0045 IF(ACAR.EQ.0) GO TO 150
0046 WRITE(100,17) 300,150
0047 WRITE(100,120)
121 FORMAT(10,149,'CONCENTRACION DE CONTAMINANTE INERTE')
0048 WRITE(100,251)('C',F)SFC
0049 WRITE(100,251) 300,142
0050 DO 140 I=1,15
0051 WRITE(100,133) I
133 FORMAT(10,146,'PLANO VERTICAL NORMAL A LA COSTA MARCEP',17)
0052 WRITE(100,130) ((I,K),K=1,15),1,15)
140 CONTINUE
0053 WRITE(100,143)((I,1),I=1,15)AL=3,13)
143 FORMAT(10,153,'CONCENTRACIONES EN EL SUPERFICIE',11,12,5//10)
0054 WRITE(100,155)((I,2),I=1,15)AL=3,13)
145 FORMAT(10,148,'CONCENTRACIONES A 15 METROS DEL SUPERFICIE',12,5
//10)
0055 WRITE(100,147)((I,3),I=1,15)AL=3,13)
147 FORMAT(10,148,'CONCENTRACIONES A 30 METROS DEL SUPERFICIE',12,5
//10)
0056 WRITE(100,149)((I,4),I=1,15)AL=3,13)
149 FORMAT(10,149,'CONCENTRACIONES A 45 METROS DEL SUPERFICIE',12,5
//10)
0057 IF(ELAC.EQ.3) STOP
0058 RETURN
0059 END

```



```

1366 DO 170 I=1,15
1367 IALC=IALC+15C
1368 PCKC=PCKC+17C
1369 CALL CALLOC
1370 IFRONT=ALOF+16F+16G+16H+16I+16J+16K+16L+16M+16N+16O+16P+16Q+16R+16S+16T+16U+16V+16W+16X+16Y+16Z
1371 IALC=IALC+17
1372 SCAF=SCAF+17C
1373 SCAF=SCAF+17C
1374 SCAF=SCAF+17C
1375 SCAF=SCAF+17C
1376 SCAF=SCAF+17C
1377 SCAF=SCAF+17C
1378 SCAF=SCAF+17C
1379 SCAF=SCAF+17C
1380 SCAF=SCAF+17C
1381 SCAF=SCAF+17C
1382 SCAF=SCAF+17C
1383 SCAF=SCAF+17C
1384 SCAF=SCAF+17C
1385 SCAF=SCAF+17C
1386 SCAF=SCAF+17C
1387 SCAF=SCAF+17C
1388 SCAF=SCAF+17C
1389 SCAF=SCAF+17C
1390 SCAF=SCAF+17C
1391 SCAF=SCAF+17C
1392 SCAF=SCAF+17C
1393 SCAF=SCAF+17C
1394 SCAF=SCAF+17C
1395 SCAF=SCAF+17C
1396 SCAF=SCAF+17C
1397 SCAF=SCAF+17C
1398 SCAF=SCAF+17C
1399 SCAF=SCAF+17C
1400 SCAF=SCAF+17C
1401 SCAF=SCAF+17C
1402 SCAF=SCAF+17C
1403 SCAF=SCAF+17C
1404 SCAF=SCAF+17C
1405 SCAF=SCAF+17C
1406 SCAF=SCAF+17C
1407 SCAF=SCAF+17C
1408 SCAF=SCAF+17C
1409 SCAF=SCAF+17C
1410 SCAF=SCAF+17C
1411 SCAF=SCAF+17C
1412 SCAF=SCAF+17C
1413 SCAF=SCAF+17C
1414 SCAF=SCAF+17C
1415 SCAF=SCAF+17C
1416 SCAF=SCAF+17C
1417 SCAF=SCAF+17C
1418 SCAF=SCAF+17C
1419 SCAF=SCAF+17C
1420 SCAF=SCAF+17C
1421 SCAF=SCAF+17C
1422 SCAF=SCAF+17C
1423 SCAF=SCAF+17C
1424 SCAF=SCAF+17C
1425 SCAF=SCAF+17C
1426 SCAF=SCAF+17C
1427 SCAF=SCAF+17C
1428 SCAF=SCAF+17C
1429 SCAF=SCAF+17C
1430 SCAF=SCAF+17C
1431 SCAF=SCAF+17C
1432 SCAF=SCAF+17C
1433 SCAF=SCAF+17C
1434 SCAF=SCAF+17C
1435 SCAF=SCAF+17C
1436 SCAF=SCAF+17C
1437 SCAF=SCAF+17C
1438 SCAF=SCAF+17C
1439 SCAF=SCAF+17C
1440 SCAF=SCAF+17C
1441 SCAF=SCAF+17C
1442 SCAF=SCAF+17C
1443 SCAF=SCAF+17C
1444 SCAF=SCAF+17C
1445 SCAF=SCAF+17C
1446 SCAF=SCAF+17C
1447 SCAF=SCAF+17C
1448 SCAF=SCAF+17C
1449 SCAF=SCAF+17C
1450 SCAF=SCAF+17C
1451 SCAF=SCAF+17C
1452 SCAF=SCAF+17C
1453 SCAF=SCAF+17C
1454 SCAF=SCAF+17C
1455 SCAF=SCAF+17C
1456 SCAF=SCAF+17C
1457 SCAF=SCAF+17C
1458 SCAF=SCAF+17C
1459 SCAF=SCAF+17C
1460 SCAF=SCAF+17C
1461 SCAF=SCAF+17C
1462 SCAF=SCAF+17C
1463 SCAF=SCAF+17C
1464 SCAF=SCAF+17C
1465 SCAF=SCAF+17C
1466 SCAF=SCAF+17C
1467 SCAF=SCAF+17C
1468 SCAF=SCAF+17C
1469 SCAF=SCAF+17C
1470 SCAF=SCAF+17C
1471 SCAF=SCAF+17C
1472 SCAF=SCAF+17C
1473 SCAF=SCAF+17C
1474 SCAF=SCAF+17C
1475 SCAF=SCAF+17C
1476 SCAF=SCAF+17C
1477 SCAF=SCAF+17C
1478 SCAF=SCAF+17C
1479 SCAF=SCAF+17C
1480 SCAF=SCAF+17C
1481 SCAF=SCAF+17C
1482 SCAF=SCAF+17C
1483 SCAF=SCAF+17C
1484 SCAF=SCAF+17C
1485 SCAF=SCAF+17C
1486 SCAF=SCAF+17C
1487 SCAF=SCAF+17C
1488 SCAF=SCAF+17C
1489 SCAF=SCAF+17C
1490 SCAF=SCAF+17C
1491 SCAF=SCAF+17C
1492 SCAF=SCAF+17C
1493 SCAF=SCAF+17C
1494 SCAF=SCAF+17C
1495 SCAF=SCAF+17C
1496 SCAF=SCAF+17C
1497 SCAF=SCAF+17C
1498 SCAF=SCAF+17C
1499 SCAF=SCAF+17C
1500 SCAF=SCAF+17C

```

```

111 70  CALL IRTKPHOTS(SDTP,SNTA)
112  IF (NCLD) GO TO EC
113  KCLD=K-150
114  KCLD=K-104
115  IF (K=EC) IRTKLD=I-118
116  DO 75 I=1,15
117  KSC=IKL0+150
118  PCL(I)=CCL(I)KUCI
119  CCL(I)=CCL(I)KUCI
120  CCL(I)=CCL(I)
121  IF (NSKT) PCL(I)=LORAL(I,C,15) GO TO 75
122  KCP=KCLD+117
123  SDP=PCIAL(I,KD)
124  DUTL(I)=KCLD+SC0
125  SDCA=ICTFL(I,KLD)
126  ACTAL(I)=D+SCA
127  FCL(I)=CCL(I)KUCI*(SDC+SNC)
128  CONTINUE
129  GO TO 75
130  CALL PASPT(I,X,I*PI,I*TI)
131  CALL FOCUS(I,UTP,PATF,PCTR,CHP,VA,ST,FC)
132  SJA=0
133  DO 110 I=1,15
134  KCL=15
135  KCL=IKL1
136  KSA=FALSE
137  IF (K=1) KSA=I*(C,15) KSKT=TCUF
138  DO 110 K=1,10
139  K=IKL15
140  SP=SPUL(I,K)
141  SF=SFULL(I,K)
142  SFV=SFV(I,K)
143  SFV=V(I,K)
144  SF=SPUL(I,K)
145  SF=ST(I,K)
146  IF (K=1) KSA=I*(C,15) KSKT=TCUF
147  KSB=IKL0+13
148  SOMP=O(I,K)
149  SDB=O(I,K)
150  SDF=O(I,K)
151  SDF=SF(I,K)
152  SDF=SF(I,K)
153  SDF=SF(I,K)
154  SDF=SF(I,K)
155  SDF=SF(I,K)
156  SDF=SF(I,K)
157  SDF=SF(I,K)
158  SDF=SF(I,K)
159  SDF=SF(I,K)
160  SDF=SF(I,K)
161  SDF=SF(I,K)
162  SDF=SF(I,K)
163  SDF=SF(I,K)
164  SDF=SF(I,K)
165  SDF=SF(I,K)
166  SDF=SF(I,K)
167  SDF=SF(I,K)
168  SDF=SF(I,K)
169  SDF=SF(I,K)
170  SDF=SF(I,K)
171  SDF=SF(I,K)
172  SDF=SF(I,K)
173  SDF=SF(I,K)
174  SDF=SF(I,K)
175  SDF=SF(I,K)
176  SDF=SF(I,K)
177  SDF=SF(I,K)
178  SDF=SF(I,K)
179  SDF=SF(I,K)
180  SDF=SF(I,K)
181  SDF=SF(I,K)
182  SDF=SF(I,K)
183  SDF=SF(I,K)
184  SDF=SF(I,K)
185  SDF=SF(I,K)
186  SDF=SF(I,K)
187  SDF=SF(I,K)
188  SDF=SF(I,K)
189  SDF=SF(I,K)
190  SDF=SF(I,K)
191  SDF=SF(I,K)
192  SDF=SF(I,K)
193  SDF=SF(I,K)
194  SDF=SF(I,K)
195  SDF=SF(I,K)
196  SDF=SF(I,K)
197  SDF=SF(I,K)
198  SDF=SF(I,K)
199  SDF=SF(I,K)
200  SDF=SF(I,K)
201  SDF=SF(I,K)
202  SDF=SF(I,K)
203  SDF=SF(I,K)
204  SDF=SF(I,K)
205  SDF=SF(I,K)
206  SDF=SF(I,K)
207  SDF=SF(I,K)
208  SDF=SF(I,K)
209  SDF=SF(I,K)
210  SDF=SF(I,K)
211  SDF=SF(I,K)
212  SDF=SF(I,K)
213  SDF=SF(I,K)
214  SDF=SF(I,K)
215  SDF=SF(I,K)
216  SDF=SF(I,K)
217  SDF=SF(I,K)
218  SDF=SF(I,K)
219  SDF=SF(I,K)
220  SDF=SF(I,K)
221  SDF=SF(I,K)
222  SDF=SF(I,K)
223  SDF=SF(I,K)
224  SDF=SF(I,K)
225  SDF=SF(I,K)
226  SDF=SF(I,K)
227  SDF=SF(I,K)
228  SDF=SF(I,K)
229  SDF=SF(I,K)
230  SDF=SF(I,K)
231  SDF=SF(I,K)
232  SDF=SF(I,K)
233  SDF=SF(I,K)
234  SDF=SF(I,K)
235  SDF=SF(I,K)
236  SDF=SF(I,K)
237  SDF=SF(I,K)
238  SDF=SF(I,K)
239  SDF=SF(I,K)
240  SDF=SF(I,K)
241  SDF=SF(I,K)
242  SDF=SF(I,K)
243  SDF=SF(I,K)
244  SDF=SF(I,K)
245  SDF=SF(I,K)
246  SDF=SF(I,K)
247  SDF=SF(I,K)
248  SDF=SF(I,K)
249  SDF=SF(I,K)
250  SDF=SF(I,K)
251  SDF=SF(I,K)
252  SDF=SF(I,K)
253  SDF=SF(I,K)
254  SDF=SF(I,K)
255  SDF=SF(I,K)
256  SDF=SF(I,K)
257  SDF=SF(I,K)
258  SDF=SF(I,K)
259  SDF=SF(I,K)
260  SDF=SF(I,K)
261  SDF=SF(I,K)
262  SDF=SF(I,K)
263  SDF=SF(I,K)
264  SDF=SF(I,K)
265  SDF=SF(I,K)
266  SDF=SF(I,K)
267  SDF=SF(I,K)
268  SDF=SF(I,K)
269  SDF=SF(I,K)
270  SDF=SF(I,K)
271  SDF=SF(I,K)
272  SDF=SF(I,K)
273  SDF=SF(I,K)
274  SDF=SF(I,K)
275  SDF=SF(I,K)
276  SDF=SF(I,K)
277  SDF=SF(I,K)
278  SDF=SF(I,K)
279  SDF=SF(I,K)
280  SDF=SF(I,K)
281  SDF=SF(I,K)
282  SDF=SF(I,K)
283  SDF=SF(I,K)
284  SDF=SF(I,K)
285  SDF=SF(I,K)
286  SDF=SF(I,K)
287  SDF=SF(I,K)
288  SDF=SF(I,K)
289  SDF=SF(I,K)
290  SDF=SF(I,K)
291  SDF=SF(I,K)
292  SDF=SF(I,K)
293  SDF=SF(I,K)
294  SDF=SF(I,K)
295  SDF=SF(I,K)
296  SDF=SF(I,K)
297  SDF=SF(I,K)
298  SDF=SF(I,K)
299  SDF=SF(I,K)
300  SDF=SF(I,K)
301  SDF=SF(I,K)
302  SDF=SF(I,K)
303  SDF=SF(I,K)
304  SDF=SF(I,K)
305  SDF=SF(I,K)
306  SDF=SF(I,K)
307  SDF=SF(I,K)
308  SDF=SF(I,K)
309  SDF=SF(I,K)
310  SDF=SF(I,K)
311  SDF=SF(I,K)
312  SDF=SF(I,K)
313  SDF=SF(I,K)
314  SDF=SF(I,K)
315  SDF=SF(I,K)
316  SDF=SF(I,K)
317  SDF=SF(I,K)
318  SDF=SF(I,K)
319  SDF=SF(I,K)
320  SDF=SF(I,K)
321  SDF=SF(I,K)
322  SDF=SF(I,K)
323  SDF=SF(I,K)
324  SDF=SF(I,K)
325  SDF=SF(I,K)
326  SDF=SF(I,K)
327  SDF=SF(I,K)
328  SDF=SF(I,K)
329  SDF=SF(I,K)
330  SDF=SF(I,K)
331  SDF=SF(I,K)
332  SDF=SF(I,K)
333  SDF=SF(I,K)
334  SDF=SF(I,K)
335  SDF=SF(I,K)
336  SDF=SF(I,K)
337  SDF=SF(I,K)
338  SDF=SF(I,K)
339  SDF=SF(I,K)
340  SDF=SF(I,K)
341  SDF=SF(I,K)
342  SDF=SF(I,K)
343  SDF=SF(I,K)
344  SDF=SF(I,K)
345  SDF=SF(I,K)
346  SDF=SF(I,K)
347  SDF=SF(I,K)
348  SDF=SF(I,K)
349  SDF=SF(I,K)
350  SDF=SF(I,K)
351  SDF=SF(I,K)
352  SDF=SF(I,K)
353  SDF=SF(I,K)
354  SDF=SF(I,K)
355  SDF=SF(I,K)
356  SDF=SF(I,K)
357  SDF=SF(I,K)
358  SDF=SF(I,K)
359  SDF=SF(I,K)
360  SDF=SF(I,K)
361  SDF=SF(I,K)
362  SDF=SF(I,K)
363  SDF=SF(I,K)
364  SDF=SF(I,K)
365  SDF=SF(I,K)
366  SDF=SF(I,K)
367  SDF=SF(I,K)
368  SDF=SF(I,K)
369  SDF=SF(I,K)
370  SDF=SF(I,K)
371  SDF=SF(I,K)
372  SDF=SF(I,K)
373  SDF=SF(I,K)
374  SDF=SF(I,K)
375  SDF=SF(I,K)
376  SDF=SF(I,K)
377  SDF=SF(I,K)
378  SDF=SF(I,K)
379  SDF=SF(I,K)
380  SDF=SF(I,K)
381  SDF=SF(I,K)
382  SDF=SF(I,K)
383  SDF=SF(I,K)
384  SDF=SF(I,K)
385  SDF=SF(I,K)
386  SDF=SF(I,K)
387  SDF=SF(I,K)
388  SDF=SF(I,K)
389  SDF=SF(I,K)
390  SDF=SF(I,K)
391  SDF=SF(I,K)
392  SDF=SF(I,K)
393  SDF=SF(I,K)
394  SDF=SF(I,K)
395  SDF=SF(I,K)
396  SDF=SF(I,K)
397  SDF=SF(I,K)
398  SDF=SF(I,K)
399  SDF=SF(I,K)
400  SDF=SF(I,K)

```


DATE: 12/01/66
 NAME: HISS
 DATE: 12/01/66

001	SUBSTITUTE	
002	LETTER	
003	COMMON/ACBY/I	
004	COMMON/ACBY/I	
005	COMMON/ACBY/I	
006	COMMON/ACBY/I	
007	COMMON/ACBY/I	
008	COMMON/ACBY/I	
009	COMMON/ACBY/I	
010	COMMON/ACBY/I	
011	COMMON/ACBY/I	
012	COMMON/ACBY/I	
013	COMMON/ACBY/I	
014	COMMON/ACBY/I	
015	COMMON/ACBY/I	
016	COMMON/ACBY/I	
017	COMMON/ACBY/I	
018	COMMON/ACBY/I	
019	COMMON/ACBY/I	
020	COMMON/ACBY/I	
021	COMMON/ACBY/I	
022	COMMON/ACBY/I	
023	COMMON/ACBY/I	
024	COMMON/ACBY/I	
025	COMMON/ACBY/I	
026	COMMON/ACBY/I	
027	COMMON/ACBY/I	
028	COMMON/ACBY/I	
029	COMMON/ACBY/I	
030	COMMON/ACBY/I	
031	COMMON/ACBY/I	
032	COMMON/ACBY/I	
033	COMMON/ACBY/I	
034	COMMON/ACBY/I	
035	COMMON/ACBY/I	
036	COMMON/ACBY/I	
037	COMMON/ACBY/I	
038	COMMON/ACBY/I	
039	COMMON/ACBY/I	
040	COMMON/ACBY/I	
041	COMMON/ACBY/I	
042	COMMON/ACBY/I	
043	COMMON/ACBY/I	
044	COMMON/ACBY/I	
045	COMMON/ACBY/I	
046	COMMON/ACBY/I	
047	COMMON/ACBY/I	
048	COMMON/ACBY/I	
049	COMMON/ACBY/I	
050	COMMON/ACBY/I	
051	COMMON/ACBY/I	
052	COMMON/ACBY/I	
053	COMMON/ACBY/I	
054	COMMON/ACBY/I	
055	COMMON/ACBY/I	
056	COMMON/ACBY/I	
057	COMMON/ACBY/I	
058	COMMON/ACBY/I	
059	COMMON/ACBY/I	
060	COMMON/ACBY/I	
061	COMMON/ACBY/I	
062	COMMON/ACBY/I	
063	COMMON/ACBY/I	
064	COMMON/ACBY/I	
065	COMMON/ACBY/I	
066	COMMON/ACBY/I	
067	COMMON/ACBY/I	
068	COMMON/ACBY/I	
069	COMMON/ACBY/I	
070	COMMON/ACBY/I	
071	COMMON/ACBY/I	
072	COMMON/ACBY/I	
073	COMMON/ACBY/I	
074	COMMON/ACBY/I	
075	COMMON/ACBY/I	
076	COMMON/ACBY/I	
077	COMMON/ACBY/I	
078	COMMON/ACBY/I	
079	COMMON/ACBY/I	
080	COMMON/ACBY/I	
081	COMMON/ACBY/I	
082	COMMON/ACBY/I	
083	COMMON/ACBY/I	
084	COMMON/ACBY/I	
085	COMMON/ACBY/I	
086	COMMON/ACBY/I	
087	COMMON/ACBY/I	
088	COMMON/ACBY/I	
089	COMMON/ACBY/I	
090	COMMON/ACBY/I	
091	COMMON/ACBY/I	
092	COMMON/ACBY/I	
093	COMMON/ACBY/I	
094	COMMON/ACBY/I	
095	COMMON/ACBY/I	
096	COMMON/ACBY/I	
097	COMMON/ACBY/I	
098	COMMON/ACBY/I	
099	COMMON/ACBY/I	
100	COMMON/ACBY/I	

COPIES IN CT RELEASE 2.0 POJEN DATE = 8/1/96 16/2/34 PAGE 000

```

110 01P2=DIK2
111 01P2=DIK2
112 01P2=DIK2
113 01P2=DIK2
114 01P2=DIK2
115 01P2=DIK2
116 01P2=DIK2
117 01P2=DIK2
118 01P2=DIK2
119 01P2=DIK2
120 01P2=DIK2
121 01P2=DIK2
122 01P2=DIK2
123 01P2=DIK2
124 01P2=DIK2
125 01P2=DIK2
126 01P2=DIK2
127 01P2=DIK2
128 01P2=DIK2
129 01P2=DIK2
130 01P2=DIK2
131 01P2=DIK2
132 01P2=DIK2
133 01P2=DIK2
134 01P2=DIK2
135 01P2=DIK2
136 01P2=DIK2
137 01P2=DIK2
138 01P2=DIK2
139 01P2=DIK2
140 01P2=DIK2
141 01P2=DIK2
142 01P2=DIK2
143 01P2=DIK2
144 01P2=DIK2
145 01P2=DIK2
146 01P2=DIK2
147 01P2=DIK2
148 01P2=DIK2
149 01P2=DIK2
150 01P2=DIK2
151 01P2=DIK2
152 01P2=DIK2
153 01P2=DIK2
154 01P2=DIK2
155 01P2=DIK2
156 01P2=DIK2
157 01P2=DIK2
158 01P2=DIK2
159 01P2=DIK2
160 01P2=DIK2
161 01P2=DIK2
162 01P2=DIK2
163 01P2=DIK2
164 01P2=DIK2
165 01P2=DIK2
166 01P2=DIK2
167 01P2=DIK2
168 01P2=DIK2
169 01P2=DIK2
170 01P2=DIK2
171 01P2=DIK2
172 01P2=DIK2
173 01P2=DIK2
174 01P2=DIK2
175 01P2=DIK2
176 01P2=DIK2
177 01P2=DIK2
178 01P2=DIK2
179 01P2=DIK2
180 01P2=DIK2
181 01P2=DIK2
182 01P2=DIK2
183 01P2=DIK2
184 01P2=DIK2
185 01P2=DIK2
186 01P2=DIK2
187 01P2=DIK2
188 01P2=DIK2
189 01P2=DIK2
190 01P2=DIK2
191 01P2=DIK2
192 01P2=DIK2
193 01P2=DIK2
194 01P2=DIK2
195 01P2=DIK2
196 01P2=DIK2
197 01P2=DIK2
198 01P2=DIK2
199 01P2=DIK2
200 01P2=DIK2

```


1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

COPLAN IV CI RELEASE 2.00 MATH DATE = 11/15/84 PAGE 0003

```

0034 03 17 1=1,13
0035 DTFL(K)=0.5*(DTF(L,K)+DTF2(L,K))+DTF(L,K)
0036 D 20 1=1,15
0037 KSAI=FALSE,
0038 IF(CCC=1,DJ,1.50,15) KSAI=.TRUE,
0039 141=1-
0040 NI 20 K=1,10
0041 IF(NSKT=0,K=50,1.76,K=50,1.0) GOTO 30
0042 K=K-1
0043 FLAP(L,K)=FLAP(L,K)+WDC*(DTF(L,K)+DTF2(L,K,K))
0044 CONTINUE
0045 IF(MGC((L+1)*2)
0046 CALL FLAP
0047 CALL FLAP2(L,FLAP)
0048 CALL FLADT(DTF,ELAP)
0049 D 30 1=1,15
0050 KSAI=FALSE,
0051 IF(CCC=1,DJ,1.50,15) KSAI=.TRUE,
0052 141=1-
0053 NI 30 K=1,10
0054 IF(NSKT=0) KSAI=.TRUE,
0055 IF(NSKT=0,K=50,1) GOTO 30
0056 K=K-1
0057 DTF(L,K)=KAL(K).5*(DTF(L,K)+DTF2(L,K,K))
0058 DTFL(K)=C.5*(DTF(L,K)+DTF2(L,K))+DTF(L,K)
0059 CALL WDCPS
0060 CONTINUE
0061 STOP
0062 END

```


A N E X O 3

LISTADO DE RESULTADOS DE DESCOMPOSICION SINGULAR

VALORES SINGULARES

1 A 8
 3.12557 1.63774 1.51446 .970475 .675525 .542676 .387950 .291663
 9 A 16
 .215900 .165710 .162721 .112364 .604259-01 .660565-01 .457975-01 .337510-01
 17 A 24
 .267716-01 .248764-01 .220605-01 .177642-01 .100552-01 .062253-02 .548527-02 .420683-02

NORMA CUADRÁTICA DE LA MATRIZ = 16.44604100

NORMAS DE COLUMNAS DE LA MATRIZ DE AUTOVECTORES

1 A 8
 .794563-01 .721659-01 .491765-01 .427315-01 .322382-01 .261602-01 .297463-01 .310672-01
 9 A 16
 .201002-01 .561699-01 .750316-01 .753927-01 .102084 .102387 .142020 .115454
 17 A 24
 .619560-01 .468516-01 .463732-01 .446301-01 .114820 .244042 .103942 .121475
 25 A 32
 .158623 .203973 .421193 .319158 .975240-01 .325584 .122524 .212761
 33 A 40
 .402713 .146450 .137775 .221370 .435266 .424326 .374114 .137223
 41 A 48
 .541316-01 .259582 .269110 .419239 .158633 .265413 .564935 .446634
 49 A 56
 .553714 .368581 .193693 .153707 .386162 .274521 .617529 .764559-1
 57 A 64
 .165637 .172745 .178787 .716206-01 .633697-01 .274228 .357227 .498616
 65 A 72
 .581366 .591911 .606490-01 .248365 .120945 .767955-01 .629452-01 .351074
 73 A 80
 .658860 .552809 .162690 .235397 .298031 .113010 .126560 .110379
 81 A 88
 .498279-01 .901973-01 .243642 .366120 .104350 .131421 .237084 .220321
 89 A 96
 .203061 .963650-01 .437188-01 .573587-01 .873213-01 .107973 .134515 .528468-01
 97 A 104
 .541142-01 .940492-01 .134796 .356253 .611605-01 .378249-01 .583831-01 .574166-01
 105 A 112
 .754641-01 .958735-01 .765491-01 .938224-01 .301977 .603305 .721741 .381464-01
 113 A 120
 .437056-01 .535206-01 .697231-01 .959963-01 .563985-01 .634633-01 .970681-01 .181269
 121 A 121
 .332008

NORMAS DE COLUMNAS DE LA MATRIZ DE MULTIPLICADORES

1 A 8
 .283050 .168711 .129889 .109021 .994025-01 .903530-01 .860944-01 .826189-01
 9 A 16
 .744349-01 .610224-01 .693126-01 .262676 .153414 .123024 .105179 .955612-01
 17 A 24
 .819663-01 .783556-01 .757489-01 .660447-01 .634718-01 .831615-01 .244809 .145615
 25 A 32
 .131451 .133311 .120831 .102094 .659948-01 .767647-01 .704363-01 .799963-01
 33 A 40
 .107333 .232032 .142768 .145836 .175123 .192117 .114600 .837520-1
 41 A 48
 .788120-01 .728314-01 .942593-01 .123582 .222235 .143376 .165621 .203618
 49 A 56
 .161024 .918776-01 .751605-01 .778169-01 .612719-01 .101847 .130112 .235506
 57 A 64
 .147885 .125497 .165845 .918556-01 .478619-01 .779389-01 .964438-01 .103982
 65 A 72
 .111353 .147756 .305402 .134149 .158365 .151029 .169659 .194889
 73 A 80
 .454724 .596032-01 .573268-01 .581409-01 .577752-01 .379920 .243530 .196217
 81 A 88
 .100454 .218201 .242820 .426218 .483688-01 .459100-01 .525473-01 .549914-01
 89 A 96
 .457483 .301595 .221513 .197497 .182641 .167763 .120006 .559317-0
 97 A 104
 .519730-01 .546656-01 .583384-01 .410351 .281524 .124767 .691084-01 .643044-01
 105 A 112
 .809153-01 .760341-01 .759485-01 .741632-01 .763132-01 .766542-01 .215983 .132051
 113 A 120
 .893256-01 .759845-01 .795092-01 .756970-01 .888162-01 .851662-01 .629363-01 .674175-01
 121 A 121
 .307716-01

VALORES SINGULARES

1 A 8
 5.47501 3.08059 1.56163 1.22932 .866389 .578151 .568762 .250246
 9 A 16
 .255003 .242319 .166942 .122163 .112876 .726179-01 .601481-01 .497485-01
 17 A 24
 .307634-01 .255042-01 .240661-01 .182219-01 .128555-01 .992481-02 .593671-02 .435008-02

NORMA CUADRÁTICA DE LA MATRIZ = 45.17888801

NORMAS DE COLUMNAS DE LA MATRIZ DE AUTOVECTORES

1 A 8
 .793309-01 .720649-01 .492021-01 .402439-01 .266631-01 .255389-01 .291835-01 .304995-01
 9 A 16
 .276827-01 .294513-01 .443817-01 .752755-01 .182117 .102171 .129201 .622518-01
 17 A 24
 .363187-01 .342194-01 .335609-01 .377418-01 .961543-01 .147136 .103794 .120608
 25 A 32
 .158155 .187803 .240620 .388073-01 .234330-01 .253837 .108745 .195146
 33 A 40
 .350293 .146310 .137633 .218914 .434522 .406686 .963155 .932162
 41 A 48
 .427757-01 .248172 .265628 .415954 .196789 .364799 .561687 .432837
 49 A 56
 .389009 .957361 .538703-01 .127751 .382761 .274867 .616342 .763175-01
 57 A 64
 .163410 .171931 .170315 .612988-01 .589785-01 .263978 .356351 .495051
 65 A 72
 .560497 .985988 .806691-01 .247967 .118395 .784915-01 .621891-01 .350425
 73 A 80
 .657429 .548806 .178284 .231943 .297924 .112836 .126671 .110048
 81 A 88
 .455516-01 .901357-01 .243583 .365987 .968954-01 .126158 .233948 .155240
 89 A 96
 .282716 .562266-01 .432776-01 .563310-01 .870881-01 .186209 .133777 .469573-01
 97 A 104
 .482424-01 .826414-01 .128008 .358407 .889813-01 .288519-01 .541570-01 .552909-01
 105 A 112
 .658612-01 .688669-01 .684653-01 .881813-01 .261473 .558924 .704949 .763446-01
 113 A 120
 .388620-01 .404886-01 .665847-01 .844484-01 .449266-01 .684735-01 .906424-01 .140096
 121 A 121
 .263286

NORMAS DE COLUMNAS DE LA MATRIZ DE MULTIPLICADORES

1 A 8
 .283050 .168712 .129889 .168821 .394024-01 .985889-01 .860942-01 .826188-01
 9 A 16
 .744148-01 .610224-01 .685127-01 .262676 .153413 .123024 .105179 .955810-01
 17 A 24
 .819663-01 .783555-01 .757488-01 .680449-01 .634719-01 .831616-01 .244809 .145615
 25 A 32
 .151451 .133311 .138831 .102094 .859950-01 .787649-01 .704366-01 .799965-01
 33 A 40
 .187381 .232591 .142768 .145836 .175125 .182117 11.4880 8.37523
 41 A 48
 .760132-01 .728814-01 .942504-01 .123582 .222255 .143576 .165621 .203618
 49 A 56
 .198324 9.16788 .751695-01 .778169-01 .612710-01 .181847 .150112 .235506
 57 A 64
 .147885 .125497 .105845 .918835-01 .438820-01 .779368-01 .964428-01 .183982
 65 A 72
 .111153 .147756 .305482 .194149 .158364 .152829 .168058 .194689
 73 A 80
 .494723 .596031-01 .573268-01 .581489-01 .577753-01 .378928 .243930 .196216
 81 A 88
 .100453 .218261 .242828 .426218 .483666-01 .458200-01 .525474-01 .549915-01
 89 A 96
 .457482 .381595 .221517 .197497 .182641 .167763 .123006 .555817-01
 97 A 104
 .519793-01 .546055-01 .583384-01 .413050 .281534 .124767 .681033-01 .843842-01
 105 A 112
 .808252-01 .760840-01 .759484-01 .741831-01 .763131-01 .766542-01 .235982 .132851
 113 A 120
 .693255-01 .796845-01 .795891-01 .796978-01 .800160-01 .634862-01 .829562-01 .874175-01
 121 A 121
 .907714-01

VALORES SINGULARES

1 A 8
 33.9969 13.8096 5.68226 2.09214 1.55541 1.08363 .899242 .675780
 9 A 16
 .395221 .245812 .193491 .113517 .725637-01 .427345-01 .343471-01 .265374-01
 17 A 24
 .168240-01 .158059-01 .118331-01 .692395-02 .567427-02 .382283-02 .316276-02 .240154-03

NORMA CUADRÁTICA DE LA MATRIZ = 1390.548683

NORMAS DE COLUMNAS DE LA MATRIZ DE AUTOVECTORES

1 A 8
 .438702-04 .165169-03 .156850-03 .169483-03 .233212-03 .340714-03 .432228-03 .816758-04
 9 A 16
 .454830-03 .152817-02 .291143-02 .214894-03 .173871-02 .152907-02 .288175-02 .541331-02
 17 A 24
 .274403-02 .431674-02 .713580-02 .153630-01 .443936-01 .265672-01 .532234-03 .717433-02
 25 A 32
 .586408-02 .167763-01 .989397-01 .168832-01 .445011-01 .274785 .103802 .196815
 33 A 40
 .138787 .151131-02 .147315-01 .772540-01 .175228 .383593 .996722 .987467
 41 A 48
 .195102 .382931 .427864 .359861 .400256-02 .574895-01 .601861 .886069
 49 A 56
 .839854 .999681 .839867 .577636 .718208 .588370 .154005 .288393-01
 57 A 64
 .622248 .582543 .993789 .994692 .936692 .984872 .966185 .955748
 65 A 72
 .849352 .773893 .338527-01 .910641 .255816 .354781 .405023 .925431
 73 A 80
 .218447 .312782-03 .443229-04 .275319-03 .302879-04 .162170-01 .121831 .336692-01
 81 A 88
 .258206-01 .257557-01 .186895-01 .415780-01 .668692-04 .228896-03 .681056-04 .358382-04
 89 A 96
 .158877-02 .881556-02 .948807-03 .401671-03 .158155-03 .834455-04 .427265-03 .867811-05
 97 A 104
 .535038-05 .295913-05 .427707-05 .285167-04 .191935-03 .332238-04 .113835-04 .222297-04
 105 A 112
 .258189-04 .368263-04 .301134-04 .382937-04 .548856-05 .258129-04 .740427-06 .776384-06
 113 A 120
 .169870-05 .848144-05 .258963-04 .248972-04 .288256-05 .210400-04 .238675-04 .188425-04
 121 A 121
 .127863-05

NORMAS DE COLUMNAS DE LA MATRIZ DE MULTIPLICADORES

1 A 8
 .382274-05 .721123-04 .197708-03 .281642-03 .299511-03 .277881-03 .282193-03 .203849-03
 9 A 16
 .219802-03 .219620-03 .169178-03 .301412-04 .551857-03 .142841-02 .213072-02 .250602-02
 17 A 24
 .257350-02 .190887-02 .190448-02 .195776-02 .158175-02 .698566-03 .965315-04 .175177-02
 25 A 32
 .465252-02 .108159-01 .164547-01 .294378-01 .175374-01 .161534-01 .146938-01 .102025-01
 33 A 40
 .188469-02 .268822-03 .438787-02 .128783-01 .447336-01 .180571 .44.8491 .15.4435
 41 A 48
 .127835 .694816-01 .488832-01 .270380-02 .788778-03 .122826-01 .529798-01 .264461
 49 A 56
 .893583 .626.204 .1.28331 .789798 .372659 .788598-01 .217897-02 .813983-02
 57 A 64
 .391444 .3.37889 .15.8878 .43.9616 .685.935 .21.9286 .5.95536 .1.27189
 65 A 72
 .841832-01 .138604-02 .338247-02 .101880 .234588 .263865 .273595 .318588
 73 A 80
 .177248-01 .124833-04 .186845-04 .408487-05 .244535-06 .739274-03 .176329-01 .148824-01
 81 A 88
 .778495-02 .527347-02 .327754-02 .521591-03 .319861-05 .215834-05 .159853-05 .194776-06
 89 A 96
 .328883-04 .765748-03 .238278-03 .848893-04 .354508-04 .284176-04 .597516-05 .132335-05
 97 A 104
 .113827-05 .573935-06 .871168-07 .382255-06 .699362-05 .228635-05 .148584-05 .131883-05
 105 A 112
 .119483-05 .105481-05 .828183-06 .637726-06 .298786-06 .468759-07 .188880-07 .227286-06
 113 A 120
 .481815-05 .675705-06 .665995-06 .885125-06 .786785-06 .567886-06 .424356-06 .169286-06
 121 A 121

VALORES SINGULARES

1 A 8
 25.5142 6.64196 3.14048 1.77475 1.15109 .914074 .617507 .393649
 9 A 16
 .229614 .226593 .608559-01 .734001-01 .476552-01 .337170-01 .295040-01 .234714-01
 17 A 24
 .150123-01 .133157-01 .109753-01 .686700-02 .540426-02 .365661-02 .295643-02 .692051-03
 NORMA CUADRÁTICA DE LA MATRIZ = 710.9163971
 NORMAS DE COLUMNAS DE LA MATRIZ DE AUTOVECTORES

1 A 8
 .379110-04 .176869-03 .217982-03 .171071-03 .254526-03 .446763-03 .506636-03 .102032-03
 9 A 16
 .539261-03 .235678-02 .304939-02 .227141-03 .176607-02 .161303-02 .211230-02 .700940-02
 17 A 24
 .551817-02 .563520-02 .656741-02 .174970-01 .495252-01 .272440-01 .600750-03 .725644-02
 25 A 32
 .993869-02 .175893-01 .125009 .130195 .600931-01 .275670 .110106 .206627
 33 A 40
 .115613 .152863-02 .145034-01 .772906-01 .176009 .353532 .766990 .446903
 41 A 48
 .449262 .414338 .435767 .407046 .481385-02 .577882-01 .803903 .606123
 49 A 56
 .673846 .974062 .864198 .560724 .722769 .500696 .231430 .291160-0
 57 A 64
 .823736 .903120 .993965 .995043 .999700 .994055 .567350 .956724
 65 A 72
 .650721 .791918 .364542-01 .911781 .255473 .362575 .412782 .929074
 73 A 80
 .239458 .530635-03 .448156-04 .364062-03 .637483-04 .180363-01 .123526 .335554-01
 81 A 88
 .256230-01 .259450-01 .186324-01 .470270-01 .817523-04 .331173-03 .837829-04 .383221-04
 89 A 96
 .177096-02 .856324-02 .102959-02 .466312-03 .150647-03 .936302-04 .500509-03 .112263-04
 97 A 104
 .552113-05 .351176-05 .447247-05 .313545-04 .162162-03 .404203-04 .140227-04 .326286-04
 105 A 112
 .366355-04 .624013-04 .430079-04 .412214-04 .651553-05 .361334-04 .748502-06 .920145-06
 113 A 120
 .172111-05 .101067-04 .373955-04 .345941-04 .407724-05 .291326-04 .316352-04 .130539-04
 121 A 121
 .130552-05

NORMAS DE COLUMNAS DE LA MATRIZ DE MULTIPLICADORES

1 A 8
 .261029-05 .721676-04 .197685-03 .281645-03 .299511-03 .277380-03 .202199-03 .263847-03
 9 A 16
 .115005-03 .213620-03 .169178-03 .301413-04 .551030-03 .142811-02 .223072-02 .250602-02
 17 A 24
 .257350-02 .150287-02 .190448-02 .195776-02 .150175-02 .698566-03 .965316-04 .175177-02
 25 A 32
 .455253-02 .106159-01 .164547-01 .254377-01 .175374-01 .161534-01 .146908-01 .162025-01
 33 A 40
 .166469-02 .260022-03 .408767-02 .120705-01 .447339-01 .103571 .440491 .154435
 41 A 48
 .127635 .694615-01 .405232-01 .270300-02 .700700-03 .121026-01 .539790-01 .264461
 49 A 56
 .693593 6.26204 1.20331 .709797 .372658 .765556-01 .217097-02 .813965-02
 57 A 64
 .391444 3.37889 15.6078 43.9616 685.935 21.9206 5.95566 1.27189
 65 A 72
 .940995-01 .126603-02 .358248-02 .101890 .234568 .263065 .273595 .310509
 73 A 80
 .177240-01 .124832-04 .106644-04 .400487-05 .344526-06 .725274-03 .176329-01 .146824-01
 81 A 88
 .776435-02 .527248-02 .327754-02 .521591-03 .219061-05 .315925-05 .159650-05 .194776-06
 89 A 96
 .323005-04 .735741-03 .230276-03 .648593-04 .354507-04 .204176-04 .597916-05 .132336-05
 97 A 104
 .113123-05 .573936-06 .671160-07 .382255-06 .899363-05 .226635-05 .146305-05 .131004-05
 105 A 112
 .119453-05 .105402-05 .833105-06 .637726-06 .296766-06 .465760-07 .106060-07 .227206-06
 113 A 120
 .481616-06 .675705-06 .669595-06 .685126-06 .706765-06 .567406-06 .424356-06 .169326-06
 121 A 121
 .326950-07

```

0125      600 P=DELE(DPV(J,K2))*2+P
0126      610 S=P+KDELE(G(J))*2+5
0127      620 DK1=DNGLK(S)
0128      630 CONTINUE
0129      640 GO TO 628
0130      650 CONTINUE
0131      660 WRITE(6,615)
0132      670 FORMAT(' NOMBRES CON UNA SOLA ESTROFONIA')
0133      680 CALL GER(0,1/111)
0134      690 F=0.0
0135      700 INB=1
0136      710 DO 699 K1=1,121
0137      720 DK1=D(K1)
0138      730 IF(KF.GT.DK1) GO TO 638
0139      740 F=DK1
0140      750 INB=K1
0141      610 CONTINUE
0142      760 INKROND=INB
0143      770 WRITE(6,640)(INR(I),I=1,KON)
0144      640 FORMAT(/,' CON ESTROFONES',619)
0145      780 ST=DNGLK(T5)
0146      790 F=100.0*(ST-F)/ST
0147      800 WRITE(6,650)F
0148      650 FORMAT(' EL ERROR PORCENTUAL ES',G15.7)
0149      810 DO 699 J=1,24
0150      660 DPV(J,KON)=R(KINB,J)
0151      820 CALL D180(KF,2,14,KON,INB)
0152      700 CONTINUE
0153      830 STOP
0154      840 END

```

+ NO ERRORS+ PROGRAM = 10055 COMMON = 02030

```

0063      *) GO TO 150
0064 250 CONTINUE
0065      DO 300 J=1,N
0066      A(39,J)=10.0*A(39,J)
0067      A(40,J)=10.0*A(40,J)
0068 300 A(50,J)=10.0*A(50,J)
0069 150 CONTINUE
0070      CALL DERRA(A,V,G,EPS,TOL,K,N,WD,WT)
0071      TS=0.000
0072      DO 370 J=1,24
0073      TS=DELE(Q(KJ))+1+TS
0074 370 CONTINUE
0075      IF(KY.EQ.3) CALL DDF(A,V,E,N,K,KL,KS)
0076 110 CONTINUE
0077      WRITE(6,380)TS
0078 130 FORMAT('NORMA CUADRATICA DE LA MATRIZ =',317.2)
0079      DO 400 I=1,121
0080      S=0.000
0081      P=0.000
0082      DO 400 J=1,24
0083      A1=DELE(A(I,J))
0084      F1=DELE(Q(KJ))*A10
0085      A(I,J)=ENGL(FU)
0086      S=A10A+2+S
0087 400 F1F0A=2+S
0088      D(I)=ENGL(S)
0089 450 ENO=ENGL(F)
0090 500 FORMAT('NORMAS DE COLUMNAS DE LA MATRIZ DE AUTOVECTORES')
0091 550 FORMAT('NORMAS DE COLUMNAS DE LA MATRIZ DE MULTIPLICADORES')
0092 580 CONTINUE
0093      IF(KY.NE.3) GO TO 560
0094      WRITE(6,500)
0095      CALL GER(D,1,121)
0096      WRITE(6,550)
0097      CALL GER(E,1,121)
0098      GO TO 560
0099 560 CONTINUE
0100      WRITE(6,570)
0101 570 FORMAT('MATRIZ DE MULTIPLICADORES')
0102      CALL GER(A,121,24)
0103 590 CONTINUE
0104      DO 600 I=1,6
0105 610 INAI)=0
0106      IS=0
0107      DO 700 KON=1,6
0108      I1=INAI(1)
0109      I2=INAI(2)
0110      I3=INAI(3)
0111      I4=INAI(4)
0112      I5=INAI(5)
0113      I6=INAI(6)
0114      DO 620 K1=1,121
0115      D(K1)=0.0
0116      IF(K1.EQ.11.OR.K1.EQ.12.OR.K1.EQ.13.OR.K1.EQ.14
0117      .OR.K1.EQ.15.OR.K1.EQ.16.OR.(MOD(K1,11).LE.5)) GO TO 620
0118      DO 604 J=1,24
0119      DFK(KON)=A(K1,J)
0120      CALL DDEE(DFW,E,24,KON,K1)
0121      S=0.000
0122      DO 610 J=1,24
0123      F=0.000
0124      DO 608 K2=1,KON

```

```

0001 FTN4.L
0002 PROGRAM TVX
0003 DIMENSION INK(72)
0004 DIMENSION INS(6)
0005 DIMENSION R(121, 24), RC(121, 23), YC(24, 24), G(24)
0006 DOUBLE PRECISION P, S
0007 DOUBLE PRECISION TS
0008 DOUBLE PRECISION P0, R13
0009 DIMENSION X(24), Y(24), Z(24)
0010 DIMENSION ED(121)
0011 EQUIVALENCE(S, Z(1, 3))
0012 DIMENSION D(121), E(121), DF(X(1), 6), WF(X(6), 6), CF(6), G(24), R(24), T(24)
0013 EQUIVALENCE(D, NE), B(X(1, 2)), (R, B(1, 5)), (G, DF(7)), (n, DPV(1, 2)), (7, DPV
0014 (2, 3)), (8, DPV(1, 4)), (7, DF(X(1, 6))), (2, DF(X(1, 6)))
0015 LOGICAL NL, P0, WS, NY, NY
0016 DATA DIP/5, GE=7, KO, FKO/1, TRUE, 7, NS, NO, NY/DK, FALSE, 7
0017 DATA N/121/
0018 DATA N/24/
0019 4 WRITE(1, 5)
0020 5 FORMAT('POR FAVOR TECLEE NUMERO DE CASO (DE 1 A 12)')
0021 READ(1, 6) KY
0022 6 FORMAT(I2)
0023 IF(KY, GE, 1, AND, KY, LE, 12) GO TO 8
0024 WRITE(1, 7)
0025 7 FORMAT('NUMERO NO VALIDO (MENOR QUE 1 O MAYOR QUE 12)')
0026 GO TO 4
0027 8 WRITE(1, 9)
0028 9 FORMAT('MUCHAS GRACIAS')
0029 WRITE(6, 10) KY
0030 10 FORMAT(' CASO', I7)
0031 IF(KY, LT, 5) GO TO 12
0032 CALL BURNKINK
0033 DO 15 I=1, 121
0034 DO 15 J=1, 24
0035 15 R(I, J)=FURNKINK)+1. 2000002
0036 GO TO 120
0037 20 CONTINUE
0038 DO 25 J=1, 23
0039 DO 25 K=5, 121, 11
0040 L=K+5
0041 25 READ(5, 50)(S(I, J), I=K, L)
0042 DO 200 J=1, 23
0043 50 FORMAT(6F6, 5)
0044 DO 200 K=1, 121, 11
0045 L=K+4
0046 200 READ(5, 100)(D(K, J), I=K, L)
0047 100 CONTINUE
0048 150 FORMAT(6F6, 5)
0049 DO 220 I=1, N
0050 S=0. 200
0051 DO 220 J=1, N
0052 RJ=DF+R(I, J)
0053 R(I, J)=RJ
0054 200 S=DOUBLE(RJ)+S
0055 ED(I)=SNGL(S)
0056 IF(KY, NE, 3, AND, KY, NE, 4, AND, KY, NE, 7, AND, KY, NE, 6, AND, KY, NE, 11, AND, KY
0057 4, NE, 12) GO TO 220
0058 S=1. 200, 5
0059 DO 220 J=1, N
0060 220 R(I, J)=ENGL(S+DOUBLE(R(I, J)))
0061 220 CONTINUE
0062 IF(KY, EQ, 1, OR, KY, EQ, 2, OR, KY, EQ, 3, OR, KY, EQ, 7, OR, KY, EQ, 6, OR, KY, EQ, 11,

```

```

0125      INDEX=1
0126      605 READ(1,605) INR(INDEX)
0127      605 FORMAT(13)
0128      INDEX=INDEX+1
0129      IF(INDEX.EQ.7) GO TO 606
0130      WRITE(1,607)
0131      607 FORMAT("OTRA. POR FAVOR")
0132      GO TO 605
0133      606 KON=6
0134      WRITE(1,9)
0135      DO 604 J=1,24
0136      DO 604 I=1,6
0137      K1=INR(I)
0138      604 DFV(J,I)=R(K1,J)
0139      DO 602 K1=1,6
0140      CALL DGBD(DFV,E,24,K1,INR(K1))
0141      602 CONTINUE
0142      S=0.000
0143      DO 603 J=1,24
0144      F=0.000
0145      DO 603 K2=1,KON
0146      603 F=DELE(DFV(J,K2))*+2+P
0147      S=FX(CBLE(G(J))*+2)+S
0148      D(K1)=SBL(S)
0149      F=D(K1)
0150      610 CONTINUE
0151      GO TO 633
0152      631 CONTINUE
0153      WRITE(6,615)
0154      615 FORMAT(" NORMAS CON UNA SOLA ESTACION")
0155      CALL GER(0,1,121)
0156      620 F=0.8
0157      INB=1
0158      DO 630 K1=1,121
0159      D(K1)=D(K1)
0160      IF(F.GT.D(K1)) GO TO 630
0161      F=D(K1)
0162      INB=K1
0163      630 CONTINUE
0164      INR(KON)=INB
0165      615 CONTINUE
0166      ST=ENL(15)
0167      F=100.0*(ST-F)/ST
0168      WRITE(6,619)(INR(I),I=1,KON)
0169      619 FORMAT(//) " CON ESTADIONES",619)
0170      WRITE(6,620)F
0171      620 FORMAT(" EL ERROR PORCENTUAL ES",615.7)
0172      DO 600 J=1,24
0173      600 DFV(J,KON)=F(DFV,J)
0174      CALL DGBD(DFV,E,24,KON,INB)
0175      700 CONTINUE
0176      STOP
0177      END

```

← NO ERRORS → PROGRAM = 10216 COMMON = 00000

```

0063      9) GO TO 350
0064 350 CONTINUE
0065      DO 360 J=1,N
0066      A(39,J)=10.0+A(39,J)
0067      A(40,J)=10.0+A(40,J)
0068 360 A(50,J)=10.0+A(50,J)
0069 350 CONTINUE
0070      CALL GER(KA,V,G,EPS,TOL,IG,N,KU,WV)
0071      TS=0.000
0072      DO 370 J=1,24
0073      TS=DELE(G(J))*2+TS
0074 370 CONTINUE
0075      WRITE(1,372)
0076 372 FORMAT(' SI DESEA IMPRIMIR TABLAS DE DESCOMPOSICION SINGULAR TECLÉ
0077      #E 1, SINO 0')
0078      READ(1,6)KS
0079      WRITE(1,9)
0080      IF(KS.NE.0) CALL GER(KA,V,G,IG,N,KU,WV,KS)
0081 380 CONTINUE
0082      WRITE(6,390)TS
0083 390 FORMAT('NORMA CUADRADA DE LA MATRIZ =',G17.10)
0084      DO 400 I=1,121
0085      F=0.000
0086      DO 405 J=1,24
0087      A(I,J)=DBLE(A(I,J))
0088      FU=DBLE(G(J))+A(I,J)
0089      A(I,J)=SING(FU)
0090      F=A(I,J)**2+F
0091 405 F=FU**2+F
0092 400 F=FU**2+F
0093      D(I)=SING(S)
0094      E(I)=SING(P)
0095 500 FORMAT('NORMAS DE COLUMNAS DE LA MATRIZ DE AUTOVECTORES')
0096 550 FORMAT('NORMAS DE COLUMNAS DE LA MATRIZ DE MULTIPLICADORES')
0097 560 CONTINUE
0098      GO TO 580
0099 557 CONTINUE
0100      WRITE(6,500)
0101      CALL GER(D,1,121)
0102      WRITE(6,550)
0103      CALL GER(E,1,121)
0104      GO TO 580
0105 560 CONTINUE
0106      WRITE(6,570)
0107 570 FORMAT(' MATRIZ DE MULTIPLICADORES')
0108      CALL GER(A,121,24)
0109 580 CONTINUE
0110      WRITE(1,382)
0111 382 FORMAT(' SI DESEA ELEGIR ESTACIONES AL AER TECLÉE 1, SINO 0')
0112      READ(1,6)KS
0113      WRITE(1,9)
0114      IF(KS.EQ.0) GO TO 601
0115      DO 590 I=1,6
0116 590 IN(I)=0
0117      CALL EURN(INK)
0118      DO 600 I=1,6
0119 600 INE=INT(RS5(121.0+RURN(INK)))
0120      IF(INEQ(INE,11).LE.5) GO TO 595
0121 600 IN(I)=INE
0122 601 WRITE(1,603)
0123 603 FORMAT('TECLÉE DE A UNO POR VEZ NÚMEROS DE 6 ESTACIONES CON QUE
0124      # DESEA CALCULAR ERROR ')

```



```

0001 FTN4,L
0002 PROGRAM TOCK
0003 DIMENSION INK(72)
0004 DIMENSION INR(6)
0005 DIMENSION A(121,24),B(121,25),V(24,24),Q(24)
0006 DOUBLE PRECISION P,S
0007 DOUBLE PRECISION TS
0008 DOUBLE PRECISION FU,RIJ
0009 DIMENSION X(24),Y(24),Z(24)
0010 DIMENSION ED(121)
0011 EQUIVALENCE(B,B(1,3))
0012 DIMENSION D(121),E(121),DPV(24,5),VPC(6,6),CP(6),G(24),R(24),T(24)
0013 EQUIVALENCE(D,D(1,3)),(E,B(1,2)),(R,B(1,5)),(G,DPV),(H,DPV(1,2)),(I,DPV
0014 (1,3)),(K,DPV(1,4)),(Y,DPV(1,5)),(Z,DPV(1,6))
0015 LOGICAL KL,FK,WS,WU,WY
0016 DATA DPV/5, 0E-77, KL, FK/24, TRUE, 7, WS, WU, WY/34, FALSE, 7
0017 DATA N/121/
0018 DATA N/24/
0019 4 WRITE(1,5)
0020 5 FORMAT('POR FAVOR TECLEE NUMERO DE CASO(DE 1 A 12)')
0021 READ(1,5)KY
0022 6 FORMAT(11)
0023 IF(KY.EQ.1.AND.KY.LE.12) GO TO 8
0024 WRITE(1,7)
0025 7 FORMAT('NUMERO NO VALIDO (MENOR QUE 1 O MAYOR QUE 12)')
0026 GO TO 4
0027 8 WRITE(1,5)
0028 9 FORMAT('MUCHAS GRACIAS')
0029 WRITE(6,10) KY
0030 10 FORMAT(' CASO', I7)
0031 IF(KY.LT.5) GO TO 20
0032 CALL BURKINGO
0033 DO 15 I=1,121
0034 DO 15 J=1,24
0035 15 R(I,J)=BURKINGO+1.0000002
0036 GO TO 100
0037 20 CONTINUE
0038 DO 25 J=1,29
0039 DO 25 K=5,121,11
0040 L=K+5
0041 25 READ(5,50)(B(I,J),I=K,L)
0042 DO 100 J=1,29
0043 50 FORMAT(6F6.5)
0044 DO 100 K=1,121,11
0045 L=K+4
0046 100 READ(5,100)(B(I,J),I=K,L)
0047 100 CONTINUE
0048 150 FORMAT(3F6.5)
0049 DO 200 I=1,N
0050 S=0.000
0051 DO 200 J=1,N
0052 RJ=DPV+R(I,J)
0053 R(I,J)=RJ
0054 200 S=DOUBLE(RJ)+S
0055 ED(I)=ENGL(S)
0056 IF(KY.EQ.3.AND.KY.NE.4.AND.KY.NE.7.AND.KY.NE.8.AND.KY.NE.11.AND.KY
0057 .NE.12) GO TO 220
0058 S=1.000/S
0059 DO 210 J=1,N
0060 210 R(I,J)=ENGL(S+DBLE(R(I,J)))
0061 210 CONTINUE
0062 IF(KY.EQ.1.OR.KY.EQ.3.OR.KY.EQ.5.OR.KY.EQ.7.OR.KY.EQ.9.OR.KY.EQ.11

```

PAGE 0004 DGRA FTH4 COMPILER: HP24177 (SEPT. 1974)

```
0187      KN=N-IN
0188      605 L=0
0189      DO 640 J=1,KN
0190      I=J+IN
0191      QJ=Q(J)
0192      QI=Q(I)
0193      IF(QI.LT.QJ) GO TO 640
0194      L=1
0195      D=QI
0196      Q(I)=QJ
0197      Q(J)=D
0198      IF(KV) GO TO 620
0199      DO 610 K=1,N
0200      D=V(K,I)
0201      V(K,I)=V(K,J)
0202      610 V(K,J)=D
0203      620 IF(NV) GO TO 640
0204      DO 630 K=1,M
0205      D=U(K,I)
0206      U(K,I)=U(K,J)
0207      630 U(K,J)=D
0208      640 CONTINUE
0209      IF(L.NE.0)GOTO 605
0210      GO TO 600
0211      END
```

** NO ERRORS** PROGRAM = 02782 COMMON = 00200