

"RADAR ATMOSFERICO PARA ESTUDIOS CIENTIFICOS EN LA ANTARTIDA"

Ing. Rodolfo Rodríguez (UDEP) y Dr. Ronald Woodman (IGP).

Presentado al X Simposium Peruano de Física. Lambayeque

RESUMEN

Se explica una de las causas principales de la destrucción de la capa de ozono y se da a conocer el esfuerzo de un grupo de científicos e Ingenieros Peruanos por contribuir a estudiar este problema, mediante el diseño y construcción de un radar atmosférico "perfilador de vientos", del tipo ST (Troposfera, Estratosfera) y su instalación y operación en la base peruana Machu Picchu ($62^{\circ}05'29''S$, $58^{\circ}28'16''W$) en la Antártida. Este radar, que funciona a efecto Doppler, utiliza una técnica nueva desarrollada en el Perú considerada como una de las técnicas más poderosas para el estudio de la atmósfera desde tierra.

Específicamente, la investigación se dirige al conocimiento de la dinámica atmosférica de altura en esa zona, tales como los procesos convectivos que elevan a niveles estratosféricos las sustancias químicas que reaccionan con el ozono produciendo su destrucción. También se busca detectar, en el Polo Sur, los llamados Ecos Mesosféricos de verano (PSME), detectados ya en latitudes altas del hemisferio Norte con radares similares.

Se presentan algunos resultados preliminares de las observaciones realizadas entre Enero y Febrero de 1993 como parte de la IV Expedición Peruana a la Antártida. La cantidad de datos recogidos, una vez procesados, completamente, ayudarán a esclarecer importantes cuestiones que tiene planteada la comunidad científica mundial en torno a este tema.

Las instituciones Peruanas que vienen participando en este proyectos son: la Universidad de Piura (UDEP), el Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ) y la Marina de Guerra del Perú.

1) INTRODUCCION

El continente Antártico está considerado, a nivel internacional, como zona de reserva y protección. Los estudios e investigaciones en este continente están recibiendo una considerable atención por parte de la comunidad científica, más aún a partir de 1985 cuando se descubrió el pronunciado descenso del nivel mínimo de ozono atmosférico, que especialmente durante el verano austral, se produce en esa zona. Tal descenso, llamado también agujero de la capa de ozono, de seguir produciéndose tendría graves implicancias ecológicas para nuestro planeta. Cada vez es más preocupante para la comunidad científica internacional este problema.

A nivel mundial se están haciendo esfuerzos importantes para estudiar esta destrucción y buscar los mecanismos para detenerla. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) ha establecido el Sistema Mundial de Observación de Ozono (SMO03) contando actualmente con más de 140 estaciones terrestres, complementadas con observaciones por satélites.

El Perú se ha sumado a dichos esfuerzos, a través del diseño, y construcción de un radar atmosférico tipo perfilador de vientos para ser instalado y operado en la base Peruana Machu-Picchu en la Antártida y realizar observaciones de la dinámica atmosférica de esa zona, especialmente de procesos convectivos que elevan a niveles estratosféricos los clorofluorcarbonos (CFC), principales destructores del ozono atmosférico.

2) EL PROBLEMA DE LA DESTRUCCION DE LA CAPA DE OZONO

El ozono es una variedad alotrópica del oxígeno, tres átomos de oxígeno forman una molécula de ozono. En estado natural se encuentra en la atmósfera, su presencia es indeseable en las capas bajas por ser un gas venenoso, pero muy deseable en las altas capas por su fuerte efecto invernadero, a partir de los 25 Km aproximadamente.

La máxima concentración aparece en la estratósfera hacia unos 25 Km de altitud en la capa llamada ozonósfera, entre 15 Km y 40 Km donde reside el 90 % del ozono atmosférico, aún así, tan solo hay una molécula de ozono por 100,000 de oxígeno.

El ozono total contenido en la atmósfera pesa aproximadamente 3,000 millones de toneladas; si todo se colocara junto a la superficie terrestre sería apenas una capa de unos tres milímetros.

No obstante la baja proporción de ozono entre los gases de la atmósfera, éste juega un importante papel en los procesos atmosféricos y climáticos.

La primera conferencia científica para el estudio del Ozono tuvo lugar en París en 1929; en ella Chapman presentó su teoría sobre la formación y reacciones del ozono en la estratósfera, teoría que en buena parte es admitida hoy. Dobson inició en Oxford las primeras observaciones cuantitativas del ozono atmosférico; fue el introductor de la espectrometría en la observación de dicho gas y su nombre aparece hoy unido a la metodología empleada en la observación del ozono atmosférico.

El proceso de absorción de la radiación solar directa por parte del ozono es algo complicado. El ozono es bastante transparente a la radiación en el espectro visible. A la izquierda de este espectro se encuentra el espectro ultravioleta, en el que podemos distinguir las

zonas A,B y C. La zona C hasta 280 um queda fácilmente absorbida por el ozono; la zona B entre 280 y 320 um puede ser absorbida con relativa facilidad, dependiendo de la proporción del ozono existente. La zona A entre 320 y 400 um es prácticamente inofensiva y en pequeña proporción es absorbida por el ozono (figura 1).

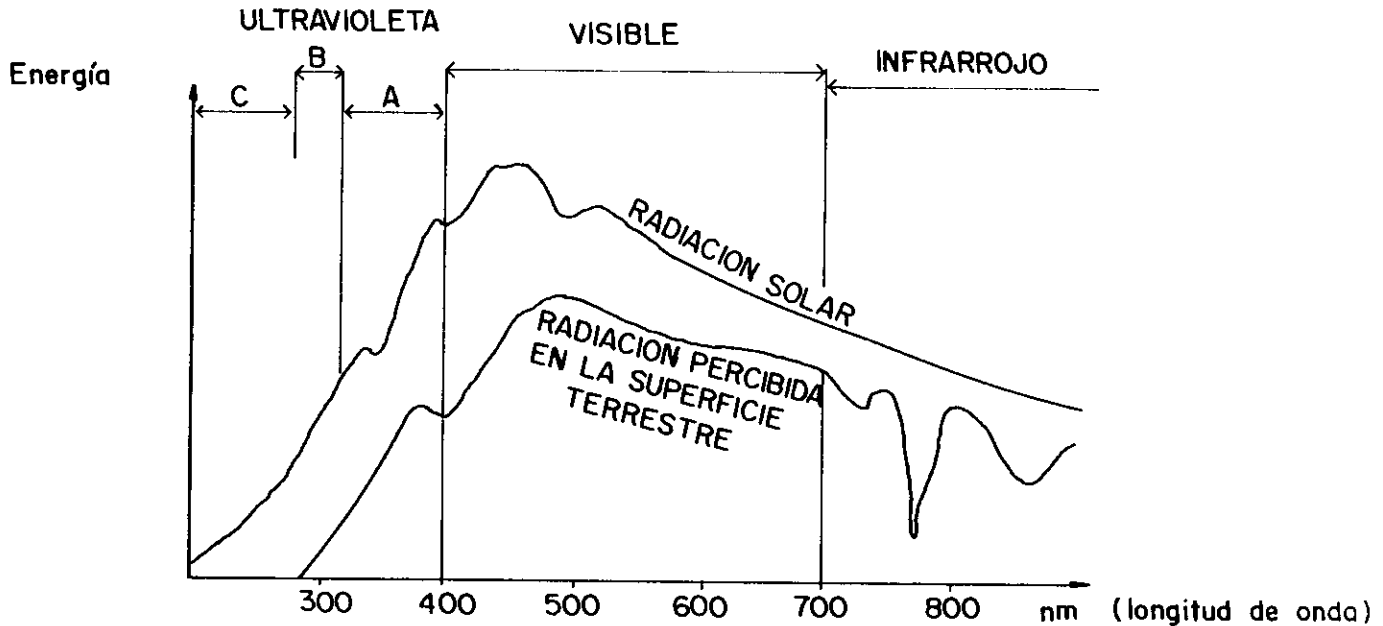


Figura (1)

Repartición de la energía en el espectro solar. Los rayos ultravioletas se ven en gran parte absorbidos por el ozono atmosférico.

La radiación ultravioleta de la zona B es altamente perjudicial para los seres vivos produciendo cáncer a la piel, cataratas e innumeras deficiencias, daño en las cosechas y en el ecosistema marino.

Es conocido el papel del ozono estratosférico para impedir el paso de las radiaciones ultravioletas a las capas bajas atmosféricas (figura 2).

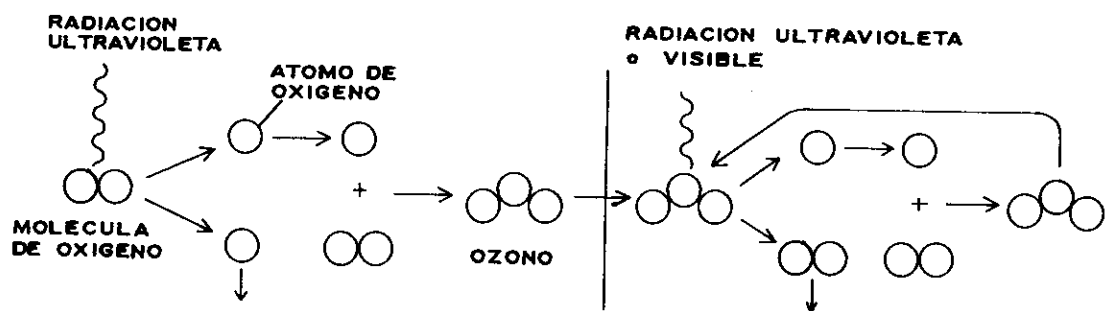


Figura (2)

El ozono en la atmósfera absorbe gran cantidad de radiación ultravioleta que de lo contrario alcanzarían la tierra. El gas es creado cuando un fotón ultravioleta altamente energizado choca con una molécula de oxígeno (O_2), liberando sus átomos (O) para combinarse con las moléculas de oxígeno cercano. El ozono así formado es repetidamente separado por fotones de luz visible o ultravioleta y rápidamente restituido listo para absorber más luz.

Pero en los últimos decenios se ha observado un alarmante decrecimiento del ozono estratosférico en la Antártida especialmente al comienzo de la primavera austral reestableciéndose al cabo de los tres meses siguientes. Este decrecimiento fue detectado en los años 60.

El hecho más llamativo del deterioro de la capa de ozono es la espectacular reducción del contenido de ozono estratosférico en la Antártida, precisamente durante la primavera austral. En el año 1987 la destrucción fue tal que en algunos niveles estratosféricos llegó a desaparecer entre Octubre y comienzos de Noviembre; es lo que se ha venido denominando EL AGUJERO DE LA CAPA DE OZONO.

2.1) CAUSAS DE LA DESTRUCCION DEL OZONO

En 1974 Mario Molina y F. Sherwood Rowland de la Universidad de California establecieron que las emisiones de cloro liberado a la atmósfera debido a diferentes procesos industriales; excedían a las de carácter natural y que la mayoría procedía de los clorofluorcarbonos (CFC) que alcanzarían la estratósfera por convección.

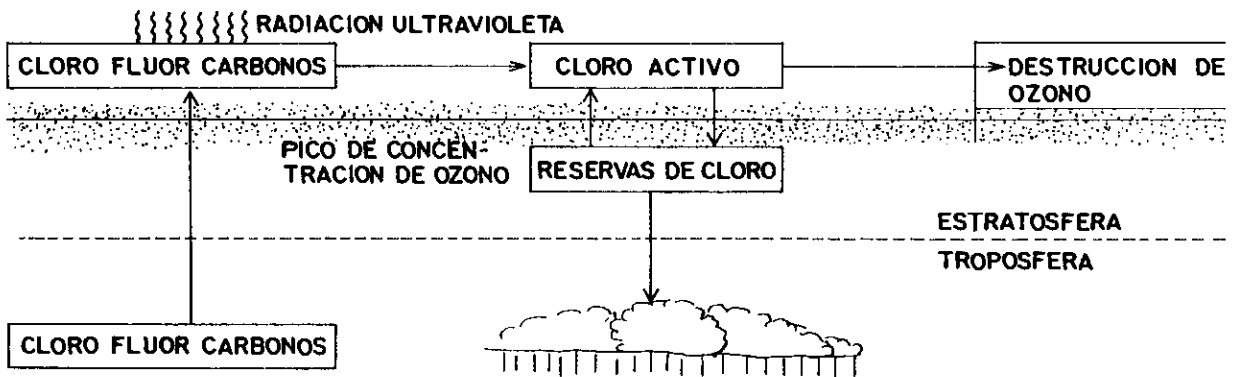


Figura (3)

Los clorofluorcarbonos (CFC), los cuales son sintetizados químicamente, están contribuyendo a la destrucción de la capa de ozono. Después de ser liberados en la tropósfera, donde son inertes, los componentes ascienden hasta la alta estratósfera, encima de la región donde la concentración de ozono es máxima. La radiación ultravioleta existente es suficientemente fuerte para separar las moléculas, liberando al átomo de cloro que ataca al ozono. Los efectos destructivos del cloro desenlazan cuando los átomos se combinan con otras sustancias para formar reservas de cloro estable. Tales moléculas puede disociarse con la presencia de calor o luz, retornando cloro a la estratósfera, pero algunos de ellos se establecen en la tropósfera donde varios procesos los remueven de la atmósfera.

Los CFC son sustancias muy estables e inertes, por lo que circulan por la baja y media tropósfera sin experimentar alteraciones, pero al alcanzar capas más altas y en particular en la estratósfera los CFC pierden su configuración estable y dejan libre el cloro activo. Este cloro es uno de los depredadores más eficaces del ozono, a tal punto que un átomo de cloro es capaz de destruir por multiplicación catalítica, miles de moléculas de ozono.

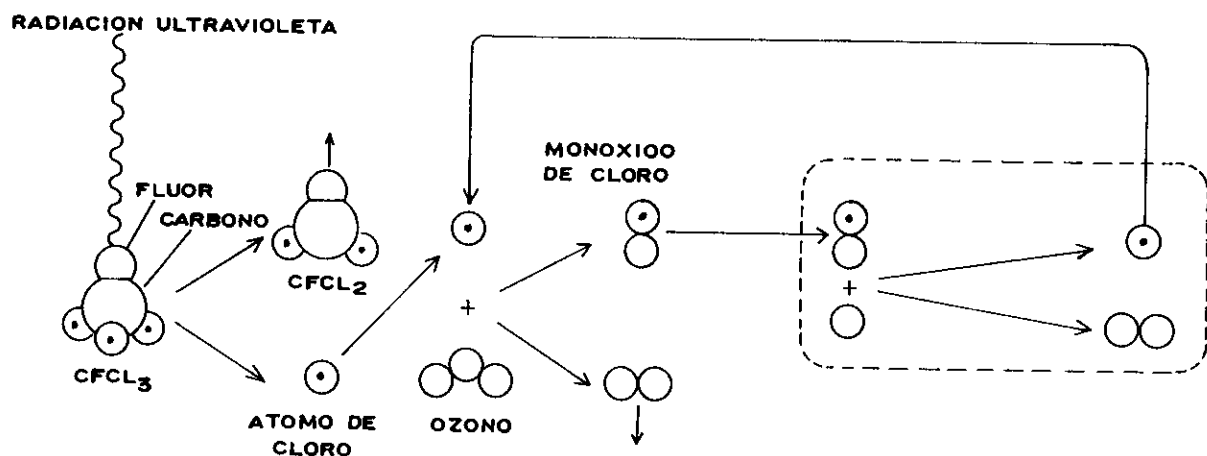


Figura (4)

Un átomo de cloro puede destruir catalíticamente al ozono sin ser consumido a sí mismo. Primero toma un átomo de oxígeno del ozono formando monóxido de cloro (ClO) y una molécula estable de oxígeno. Cuando el ClO choca con otro átomo de oxígeno, los dos oxígenos se combinan rápidamente liberando el átomo de cloro que reacciona con otra molécula de ozono.

3) PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN RADAR ATMOSFERICO

Los radares atmosféricos tipo perfiladores de vientos son radares pulsantes. Emiten pulsos de radiofrecuencia de corta duración que se repiten con cierta frecuencia.

Cada pulso viaja a lo largo de la atmósfera y al incidir en el aire en movimiento (viento) produce la dispersión de la energía electromagnética, debido a irregularidades secundarias en el índice de refracción del aire de las capas bajas de la atmósfera (Tropósfera y Estratósfera). Dicho índice depende principalmente de la temperatura, presión y humedad relativa.

Debido a que las irregularidades existen en un rango de tamaño desde centímetros a muchos metros, la longitud de onda de la radiofrecuencia emitida también debe estar en esos rangos. Las mejores frecuencias de operación están en la banda de HF (3 a 30 MHz), VHF (30 a 300 MHz) y las bajas de UHF (300-3000 MHz).

La dispersión de energía produce 'ecos' de radar que usualmente provienen de la tropósfera y baja estratósfera, el rango de altura típico está entre unos cientos de metros y 18 Kilómetros aproximadamente. En las altas alturas la dispersión detectada depende de la potencia media transmitida, el tamaño de la antena, condiciones meteorológicas y la longitud de onda, mientras que en alturas bajas depende de la electrónica del perfilador.

El receptor se desconecta de la antena antes de la transmisión de un pulso, para proteger a su circuito de sobrecargas, y se vuelve a conectar un corto tiempo después que el pulso de radiofrecuencia se ha transmitido. Esta conexión y desconexión es comandada

por una señal lógica de transmisión-recepción (TR), figura 5.

Debido a que la energía dispersada de muy bajas alturas arriban cuando el receptor está desconectado, los ecos que se originan en la porción de la atmósfera adyacentes a la tierra (unos 1.5 Km) no son usados.

Los ecos son recibidos de todas las alturas en el rango de operación del radar. La señal recibida es extendida en el tiempo, los ecos de alturas bajas llegan antes de aquellos que llegan de grandes alturas, esta señal es muestreada en tiempos igualmente espaciados, obteniendo de estos tiempos la altura de la que provienen los ecos.

SEÑALES DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA RADAR

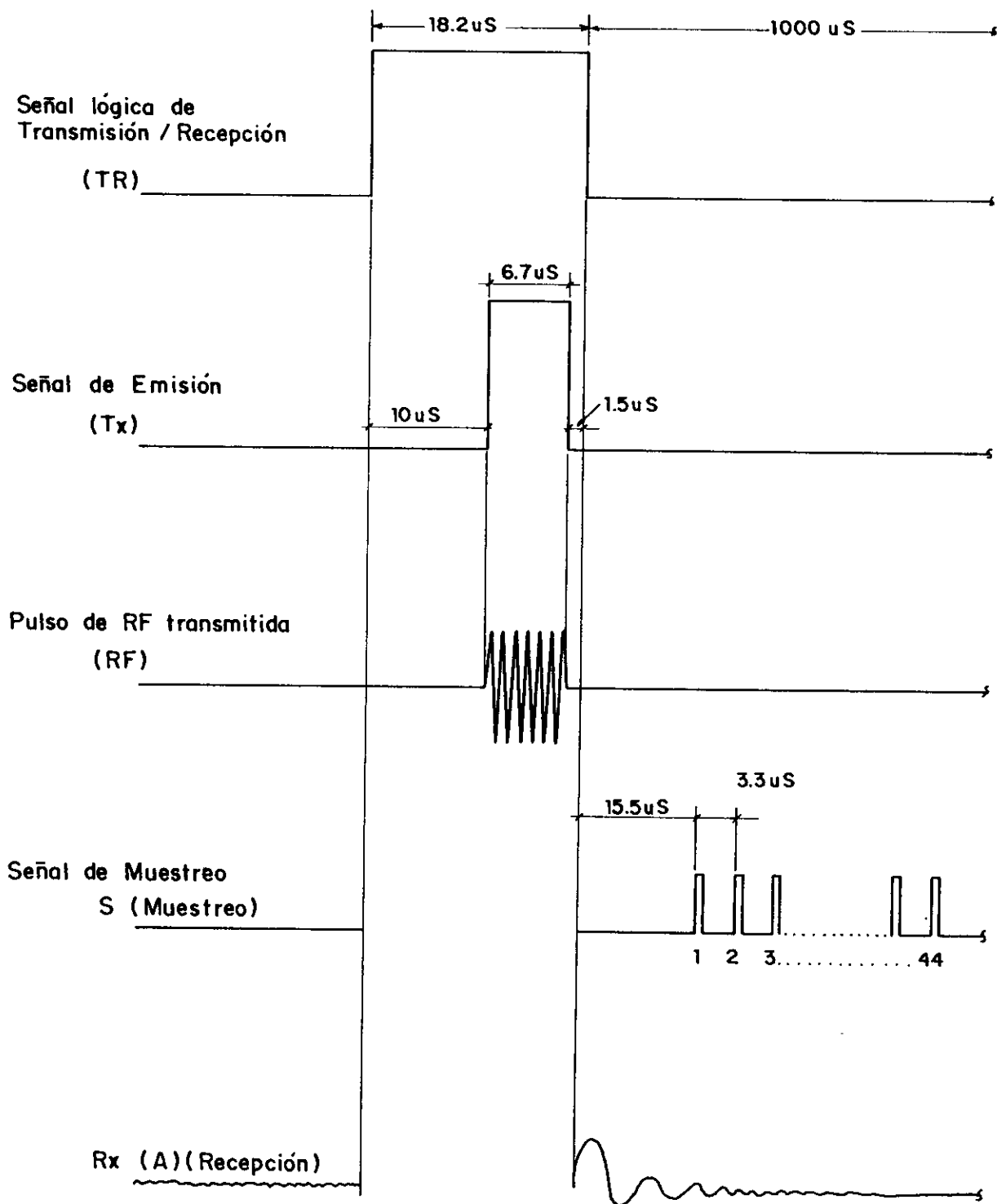


Figura (5)

Principio de funcionamiento de un radar atmosférico, perfilador de vientos. Después que el pulso de radio frecuencia es transmitido a la atmósfera se recibe el eco proveniente del aire por dispersión, debido a irregularidades en el índice de refracción del aire.

4) EL PROYECTO RADAR ANTARTICO

El Perú adoptó el 9 de Octubre de 1989 el status de miembro consultivo del tratado Antártico, para mantener tal calidad viene desarrollando proyectos de alto nivel relacionados con la Antártida. El proyecto radar Antártico ha comprendido entre otras cosas el diseño y fabricación de un radar atmosférico y su operación en la base Antártica Peruana "Machu-Picchu", con el objeto de realizar estudios sobre la dinámica atmosférica de ese continente y su relación con la destrucción de la capa de Ozono. Adicionalmente realizar la observación de ecos mesosféricos polares de verano (PSME), y compararlos con los recogidos en las altas latitudes del hemisferio norte con radares similares.

Las instituciones involucradas en el desarrollo de este proyecto son CIRES de la Universidad de Colorado (USA), el Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ), la Universidad de Piura (UDEP) y la Marina de Guerra del Perú.

CIRES suministra las partes electrónicas y otros, así como el asesoramiento y capacitación de personal científico. La Universidad de Piura y el Radio Observatorio de Jicamarca han diseñado y construido el sistema de control y procesamiento de la señal, así como la instalación y operación.

La Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú tiene a su cargo la logística de las expediciones a la Antártida.

En 1991 se ensambló en los laboratorios de la Universidad de Piura un radar con repuestos del primer sistema que funcionó en Piura, este fue llevado e instalado a la ciudad de Ushuaia (54°47'S, 68°18' W), al extremo Sur de Argentina, en el verano de 1992 por un grupo de Ingenieros y técnicos de la UDEP y del ROJ.

Durante 1992 se trabajó en la construcción del nuevo radar. La Universidad de Piura y el ROJ han diseñado y construido el sistema de control y procesamiento de la señal. El Servicio Industrial de la Marina (SIMA) ha tenido a su cargo la construcción de la antena.

5) INSTALACION Y OPERACION DEL RADAR

La Instalación, operación, y primeras observaciones de vientos, en la base Machu-Picchu se llevaron a cabo como parte de IV Expedición Peruana a la Antártida realizada entre Enero y Febrero de 1993 (anexo A).

El proyecto global contempla la instalación, a largo plazo, de una red de radares a lo largo de la Península Antártica desde Ushuaia (Argentina), base Machu Picchu y otras hasta la base Polar.

El radar consta principalmente de los sistemas de Antenas, transmisión, recepción, control y procesamiento de datos.

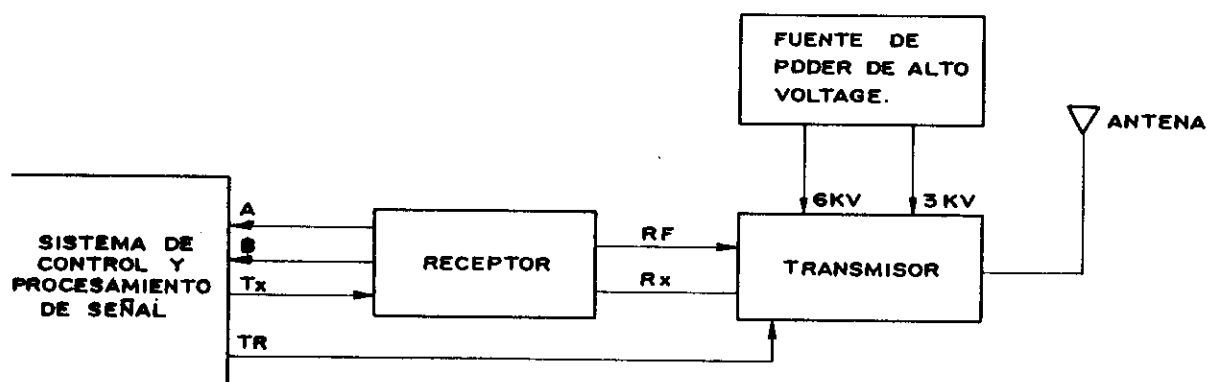


Figura (6)

Partes del radar. Antena, transmisión, recepción y procesamiento de datos.

5.1) SISTEMA DE ANTENA

El sistema de Antenas consta de 2 antenas planas que ocupan una área 51m X 51m cada una. Cada antena está compuesta por dos arreglos ortogonales (N-S y E-O) superpuestos, a su vez cada arreglo está conformado por 16 líneas de antena COCO (coaxial-colineal) de 48 metros cada una, compuesto de 24 dipolos de $\lambda/2$ dispuesto colinealmente (anexo B).

5.2) SISTEMA DE TRANSMISION

Está conformado básicamente por una transmisor y una fuente de poder de alto voltaje. El transmisor es una unidad electrónica que amplifica el pulso radiofrecuencia (50 MHz) a emitirse a la atmósfera, los niveles de voltaje para tal fin le son suministrados por la fuente poder.

5.3) SISTEMA DE RECEPCION

Recibe y amplifica la señal de retorno, proveniente del aire, y la compara con la señal emitida para deducir los cambios de frecuencia y obtener de estos la magnitud del viento en la atmósfera.

5.4) SISTEMA DE CONTROL

Genera los pulsos eléctricos que controlan la salida del transmisor, los pulsos de muestreo de la señal analógica recibida y otros pulsos para propósitos general.

5.5) SISTEMA DE PROCESAMIENTO

Está conformado por el Convertidor Analógico Digital (ADC), una tarjeta de procesamiento rápido de sus señales (DSP) y una computadora PC-486 a 33 MHz.

6) RESULTADOS Y CONCLUSIONES PRELIMINARES

- 1) El radar Peruano instalado en la Antártida es el primero de su clase instalado en ese continente. Permitirá la observación de vientos de altura verticales y horizontales, relacionados los procesos convectivos de la zona.
- 2) Durante su funcionamiento se hicieron observaciones de vientos troposféricos hasta 12 Km de altura con antena vertical (vientos verticales), lo que incluye la tropopausa y las primeras alturas estratosféricas.
Con la antena con inclinación Oeste 15° , respecto a vertical (vientos horizontales), que tiene el doble de área, se obtuvo ecos hasta aproximadamente los 9 Km (Anexo C).
- 3) Con la medición de los vientos de altura se estudiarán los mecanismos del gran vórtice que se genera, en los meses de verano en este continente, bloqueando el flujo de nuevo ozono procedente de latitudes tropicales.
Los datos que de estas observaciones se obtengan, una vez procesadas, ayudarán a esclarecer importantes cuestiones que tiene planteada la comunidad científica mundial respecto al problema de la destrucción de la capa ozono.
- 4) Se observó ausencia de los Ecos Mesosféricos Polares de Verano (PMSE), los cuales se producen en alturas entre 65 a 95 Km. Estos ecos han sido observados en el Hemisferio Norte, lo que nos indicaría la existencia de una asimetría en el comportamiento mesosférico en los veranos del Polo Norte y Sur (anexo D).

REFERENCIAS

1. Diseño y fabricación de un radar VHF perfilador de Vientos y su operación en la base Antártida Peruana "Machu Picchu".
M. Sarango, Julio Urbina, R Rodríguez, E Ragaini, E. Vásquez, R. Woodman.
2. A. VHF Wind profiler for Antartic Research.
B. Balsley, R. Woodman, M. Sarango, J. Urbina, R. Rodriguez, E. Ragaini, J. Carey.
Revista EOS Agosto 1993
3. Southern-Hemisphere PMSE: Where are they?
B. Balsley, R. Woodman, M. Sarango, J. Urbina, R. Rodríguez, E. Ragaini y J. Carey.
Geophysical Research Letters, Vol. 20, N°18, pp1983-1985
September 15, 1993.
4. Wind Profiler Installed en Antartica
B. Balsley, J. Carey, R. Woodman, M. Sarango, J. Urbina, R. Rodríguez, E. Ragaini.
Revista EOS. Vol. 74 N° 35 Agosto 1993
5. On the lack of Southern-Hemispheric PSME
B. Balsley, R. Woodman, M. Sarango, R. Rodríguez, J. Urbina, E. Ragaini, M. Huamán.
Revista: JGR.
6. The Antartic Ozone Hole
Richard Stolaiski
Scientific American, January 1988 Vol. 258 N° 1.
7. El problema del Ozono
Alberto Linés

ANEXOS

ANEXO A: BASE PERUANA EN LA ANTARTIDA

- A1 Ruta seguida por la IV Expedición Peruana a la base Peruana "Machu-Picchu" en la Antártica, realizada entre enero y febrero de 1993, abordo del buque rompehielos ARA "Almirante Irizar".
- A2 Isla Rey Jorge donde se encuentra ubicada la Base Peruana "Machu-Picchu" ($62^{\circ}05'S$, $58^{\circ}28'W$).
- A3 Croquis de la Base Peruana "Machu-Picchu" Consta de tres módulos: vivienda, taller y emergencia.
- A4 Fotos de la Base Peruana "Machu-Picchu"

ANEXO B: SISTEMA DE ANTENAS DEL RADAR ATMOSFERICO

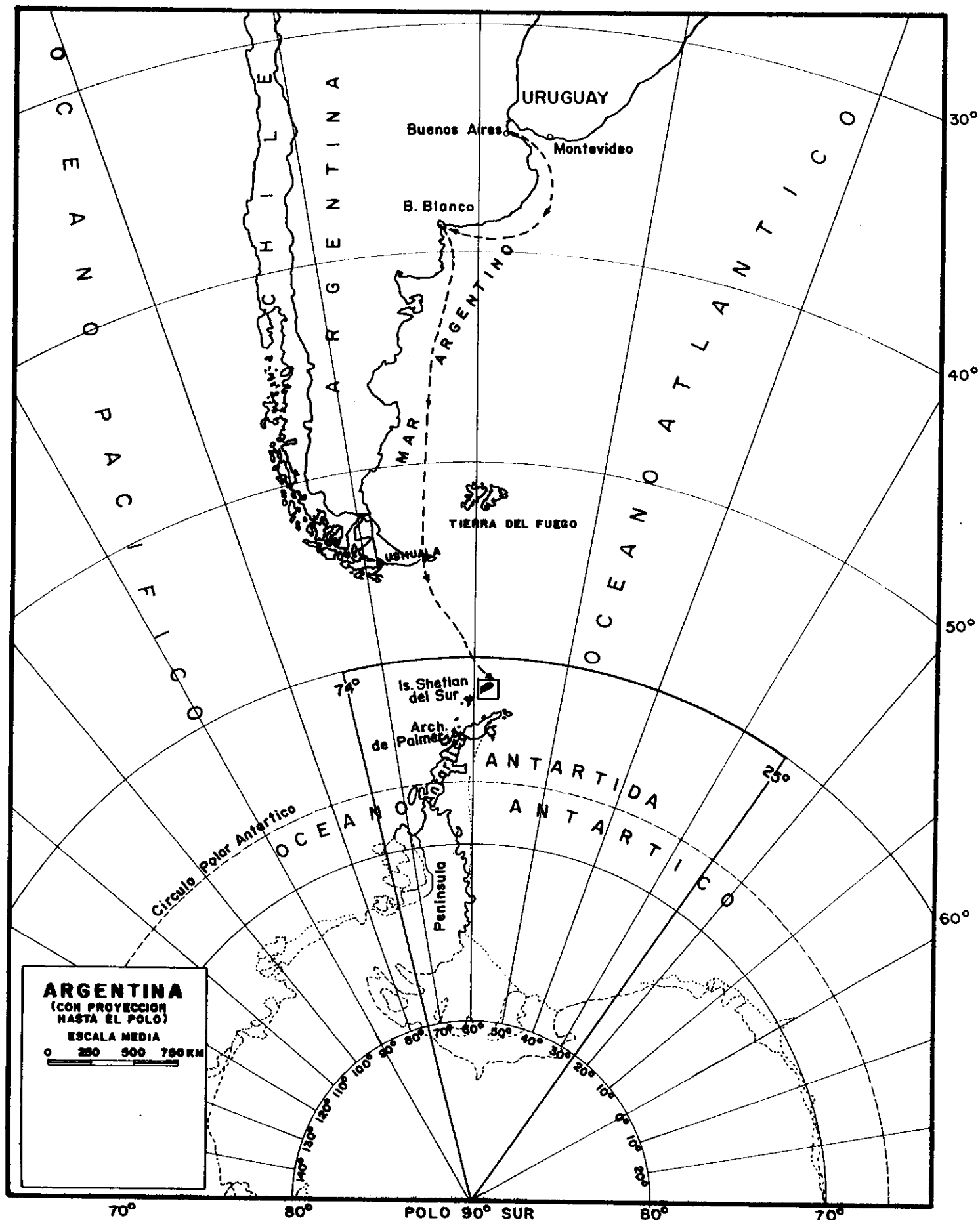
- B1 Area de ubicación del sistema de Antenas "COCO" del radar, respecto al módulo de vivienda.
- B2 Direcciones de Emisión del Sistema de Antenas "COCO".

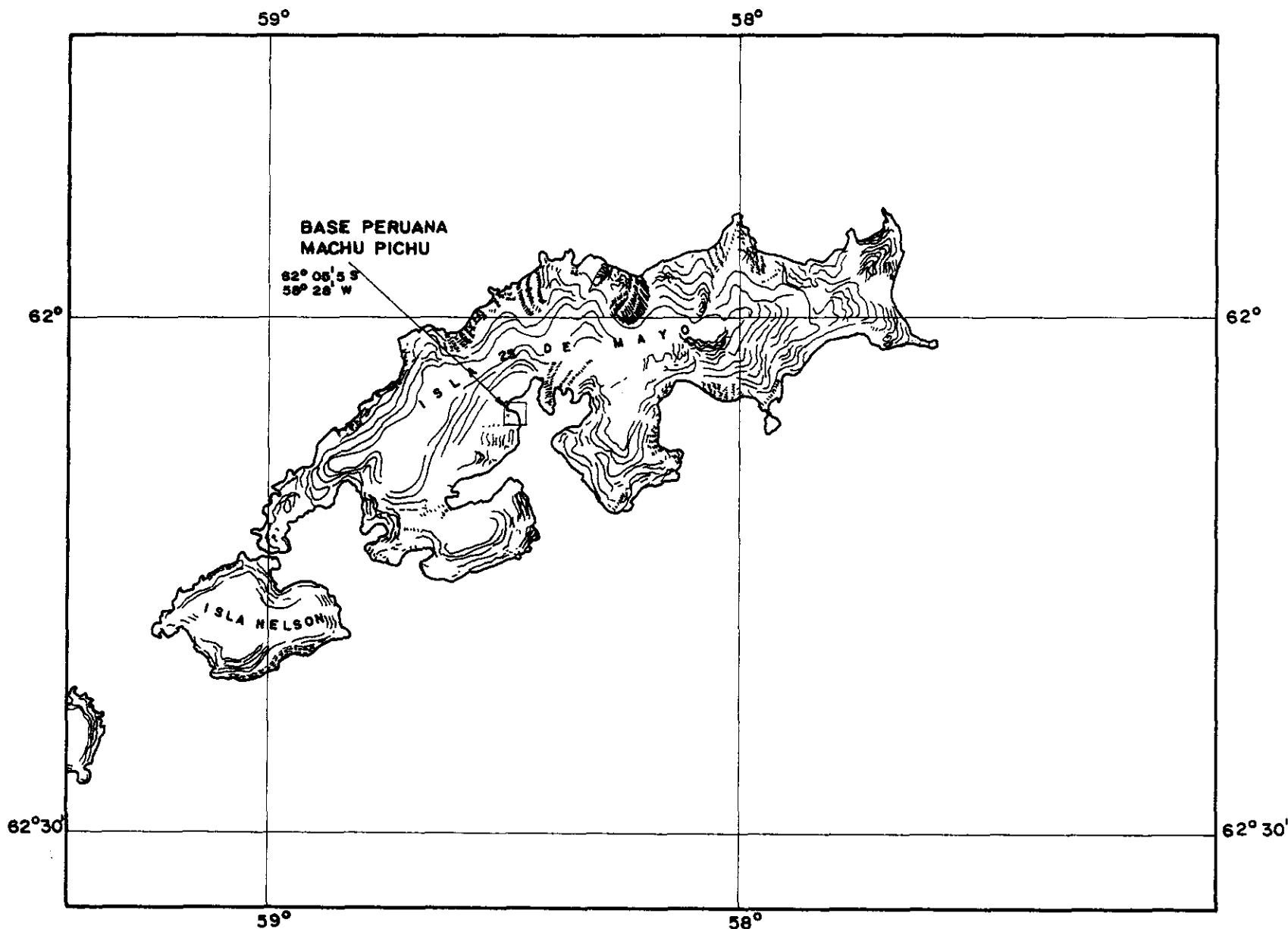
ANEXO C: VIENTOS TROPOSFERICOS

- C1 Perfiles de vientos de altura observados con el radar atmosférico en la Antártida.

ANEXO D: ECOS MESOSFERICOS

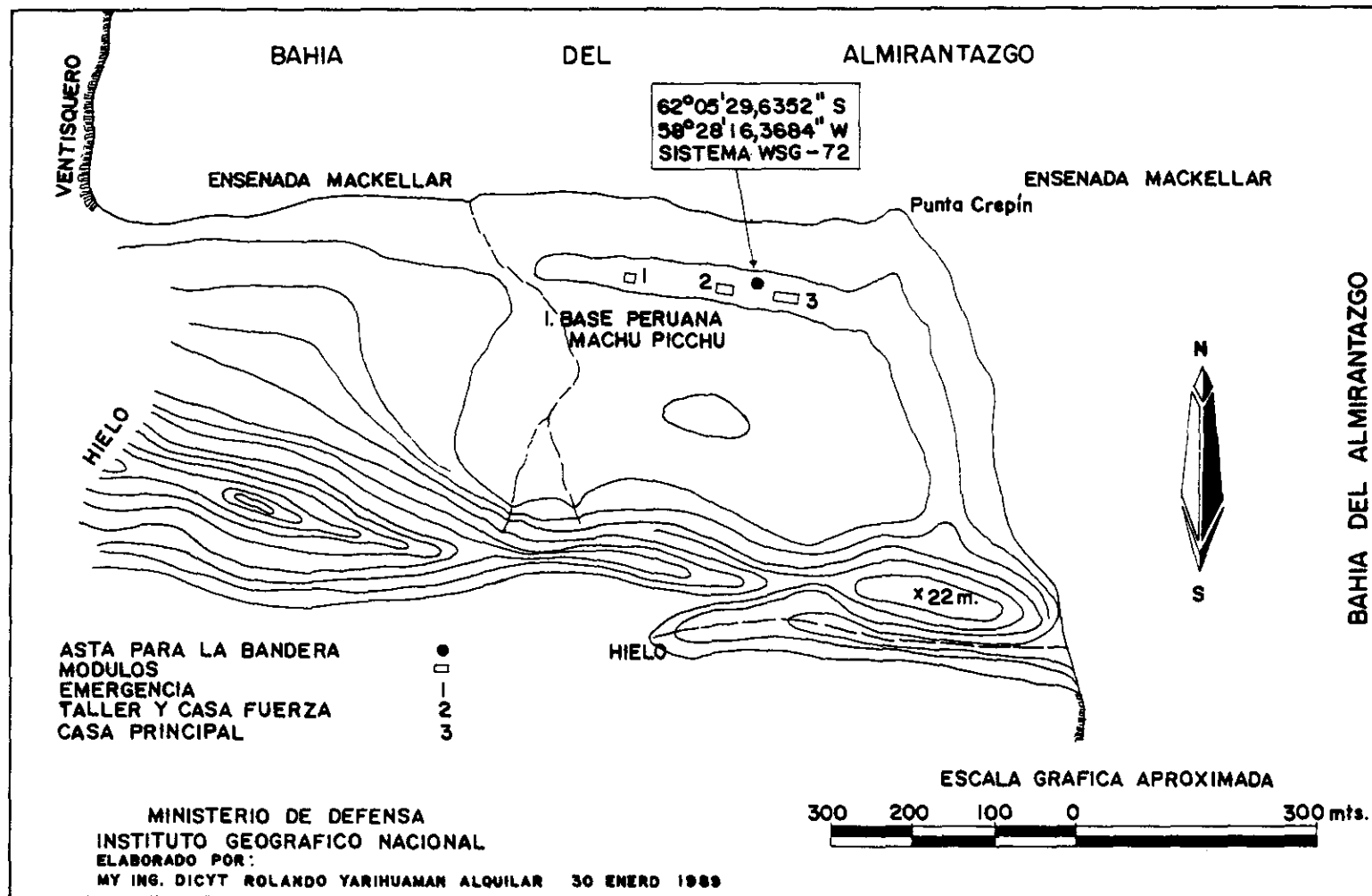
- D1 Gráficos en tres dimensiones de la potencia del eco obtenido, muestran ocasionales ecos debido a meteoros y demuestran la ausencia de los Ecos Mesosféricos Polares de verano (PSME) en alturas entre 65 a 95 Km. correspondientes al 26 de Enero de 1993.

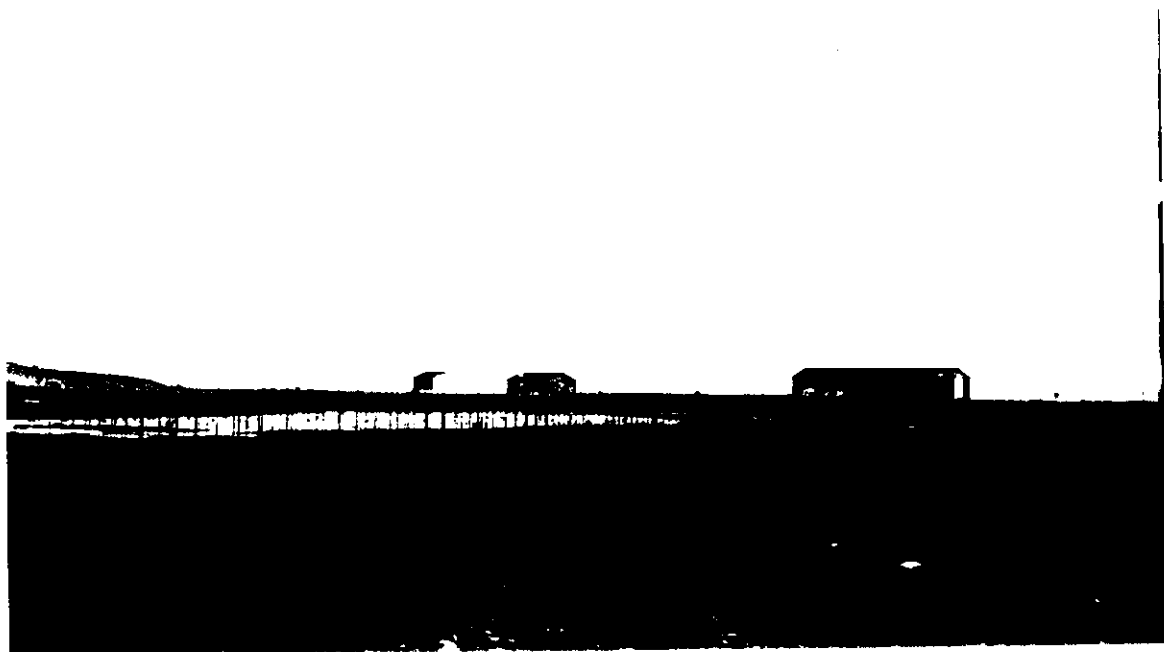
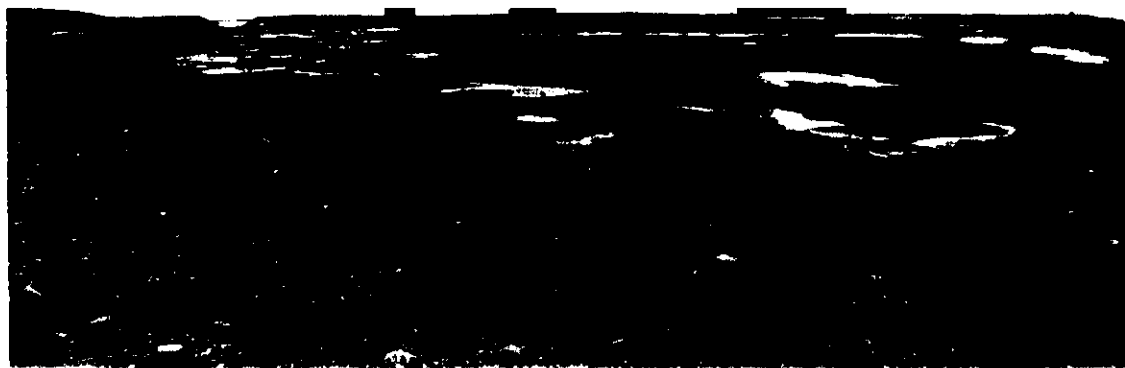


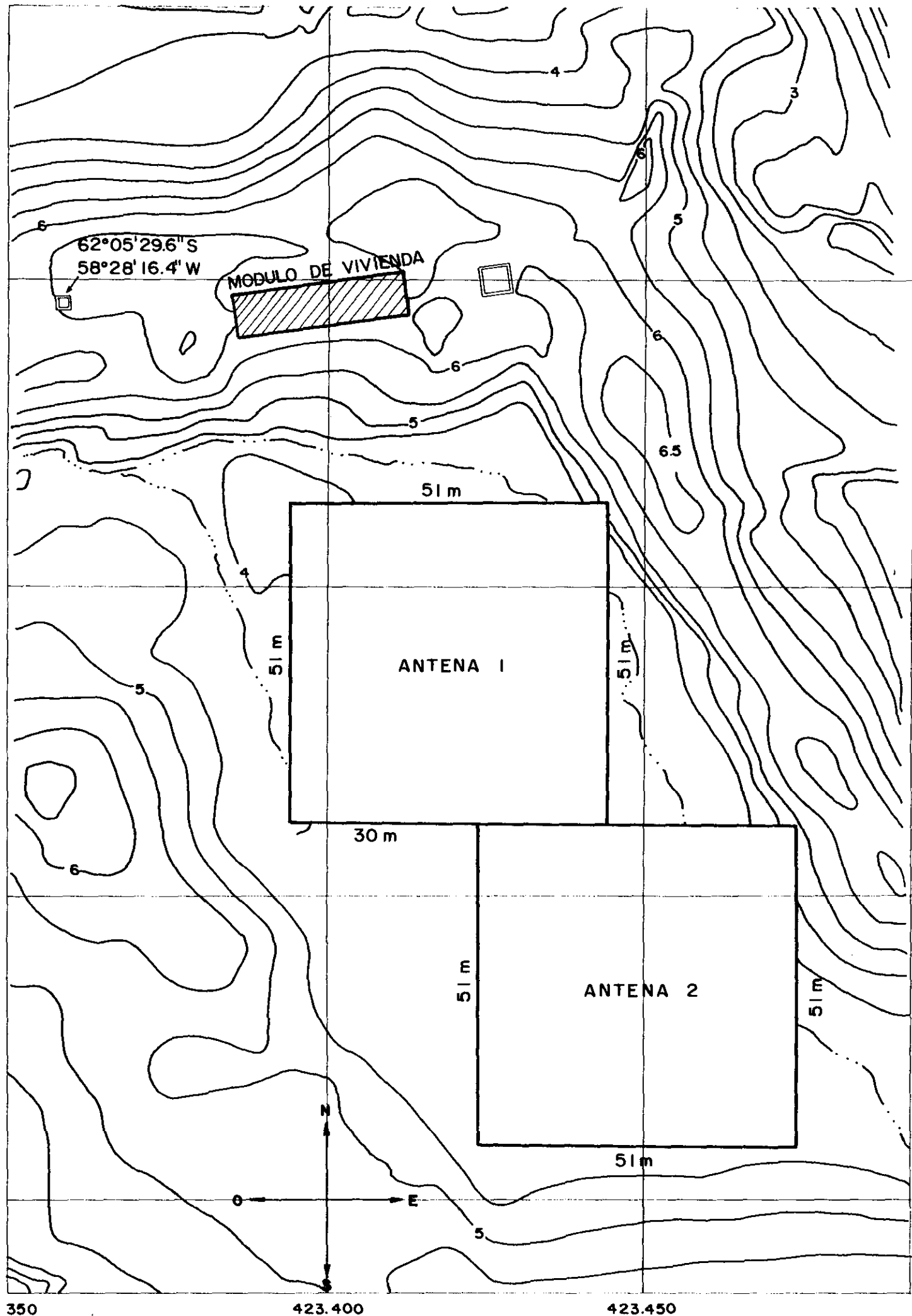


ANTARTIDA ISLAS SHETLAND / BASE PERUANA MACHU PICCHU

CROQUIS DE LA BASE PERUANA MACHU PICCHU EN LA ANTARTIDA / CABO CREPIN





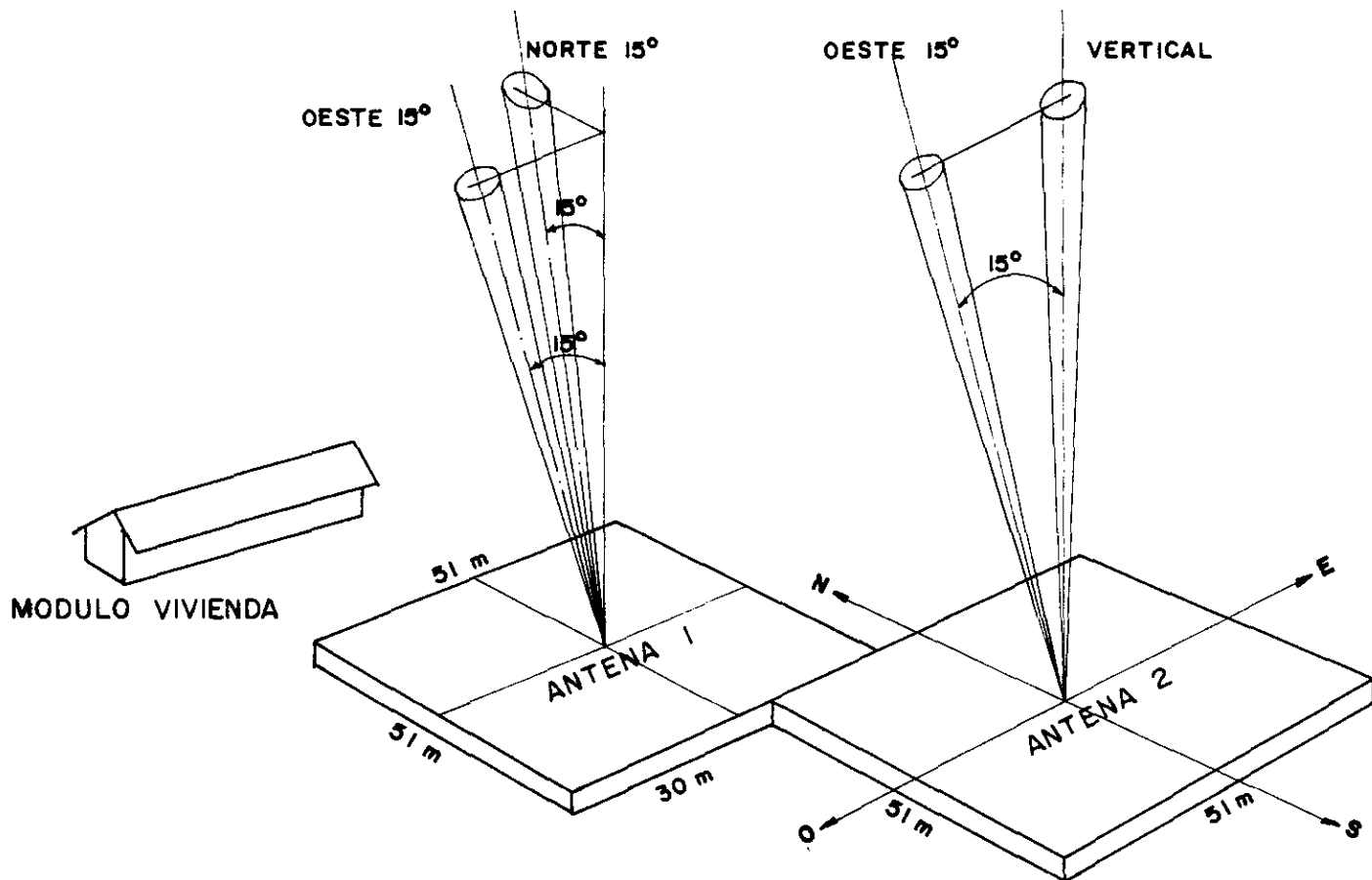


350

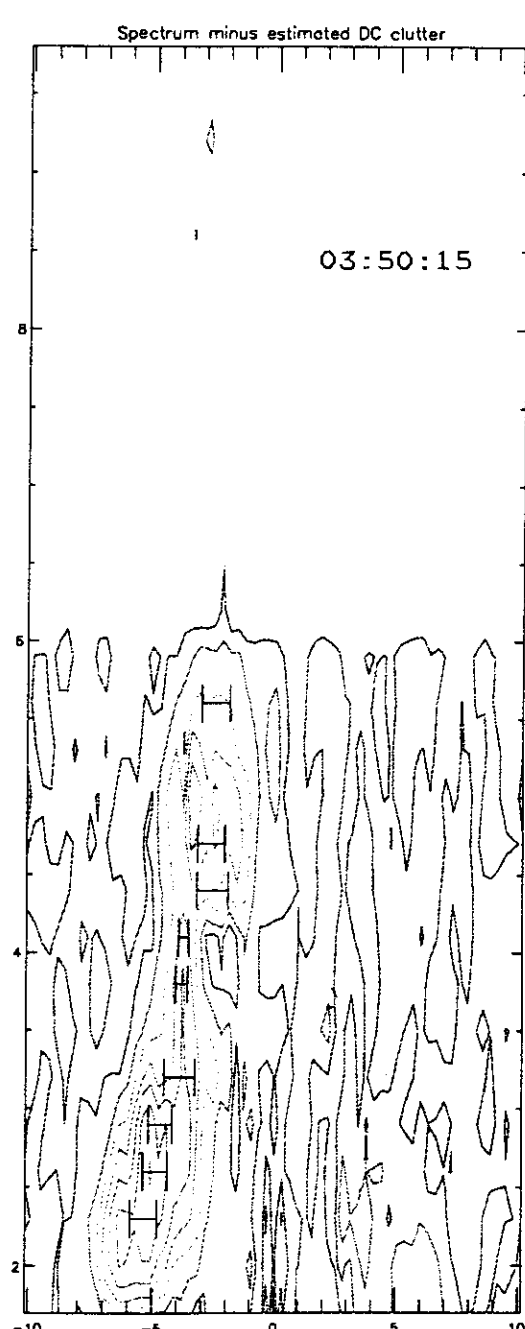
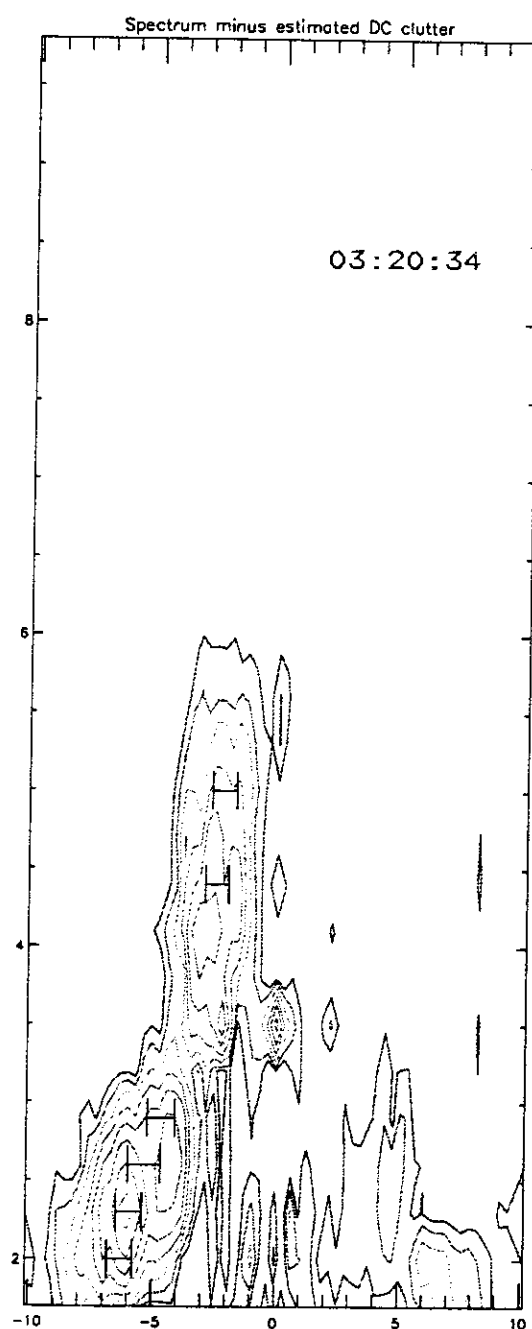
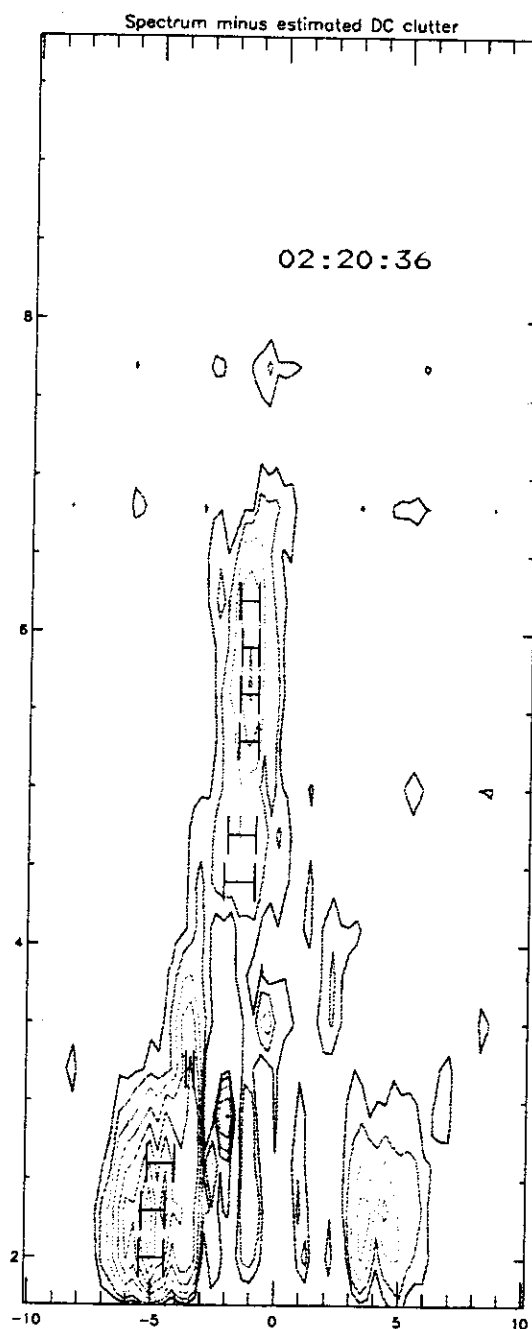
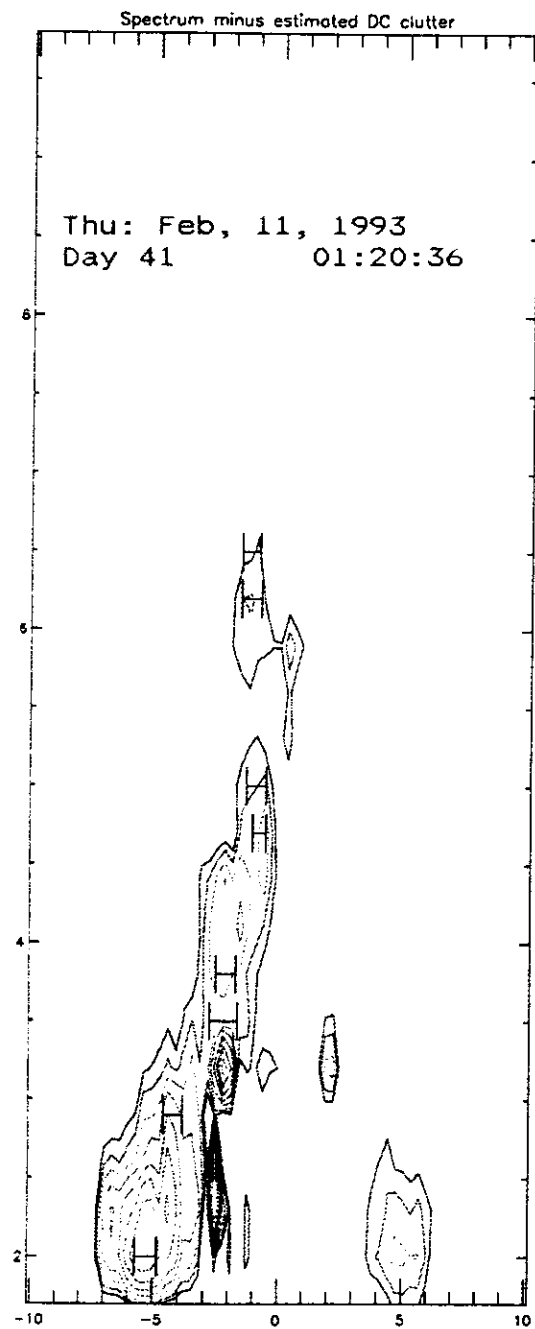
423.400

423.450

UBICACION DEL SISTEMA DE ANTENAS EN LA BASE PERUANA EN LA ANTARTIDA



DIRECCIONES DEL SISTEMA DE ANTENAS 'COCO' INSTALADAS EN LA BASE PERUANA 'MACHU PICHU' - ANTARTIDA.



Machu Picchu Radar, Antarctica

Mesospheric Power Profiles

