

ELECTRA ELECTRONICA

PRECIO S/. 8.00 N° 2
2 SEMESTRE 1994



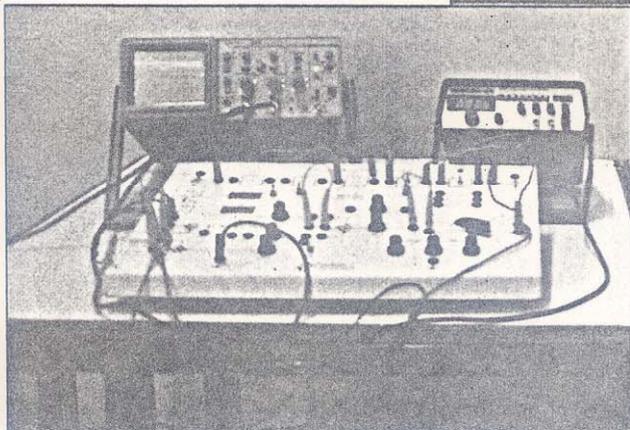
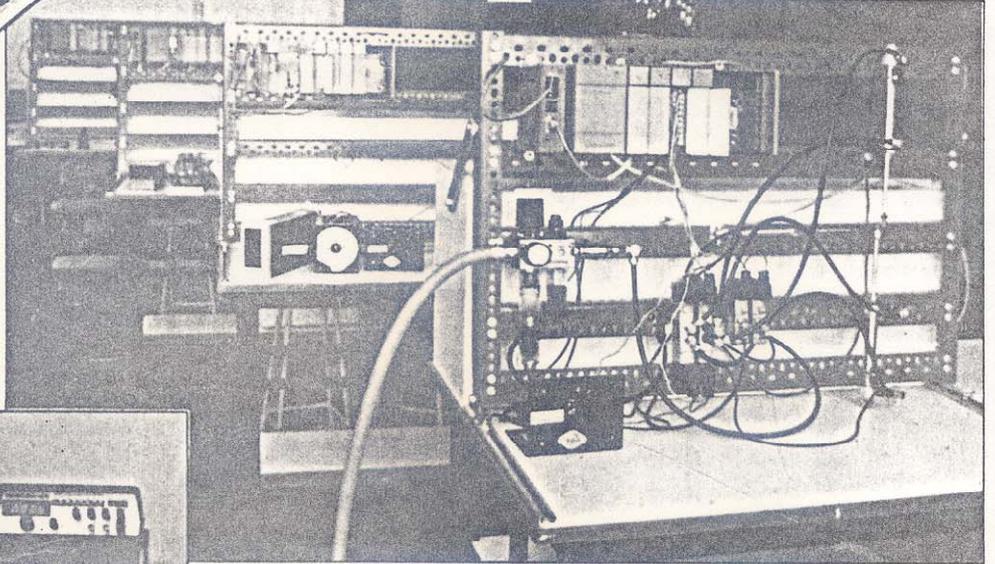
**PUBLICACION DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA SECCION ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA**

LABORATORIO

AREA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION

**CONTROL Y AUTOMATIZACION
HERRAMIENTA DE MODERNIZACION**

**SIMULADOR
DE PROCESOS**



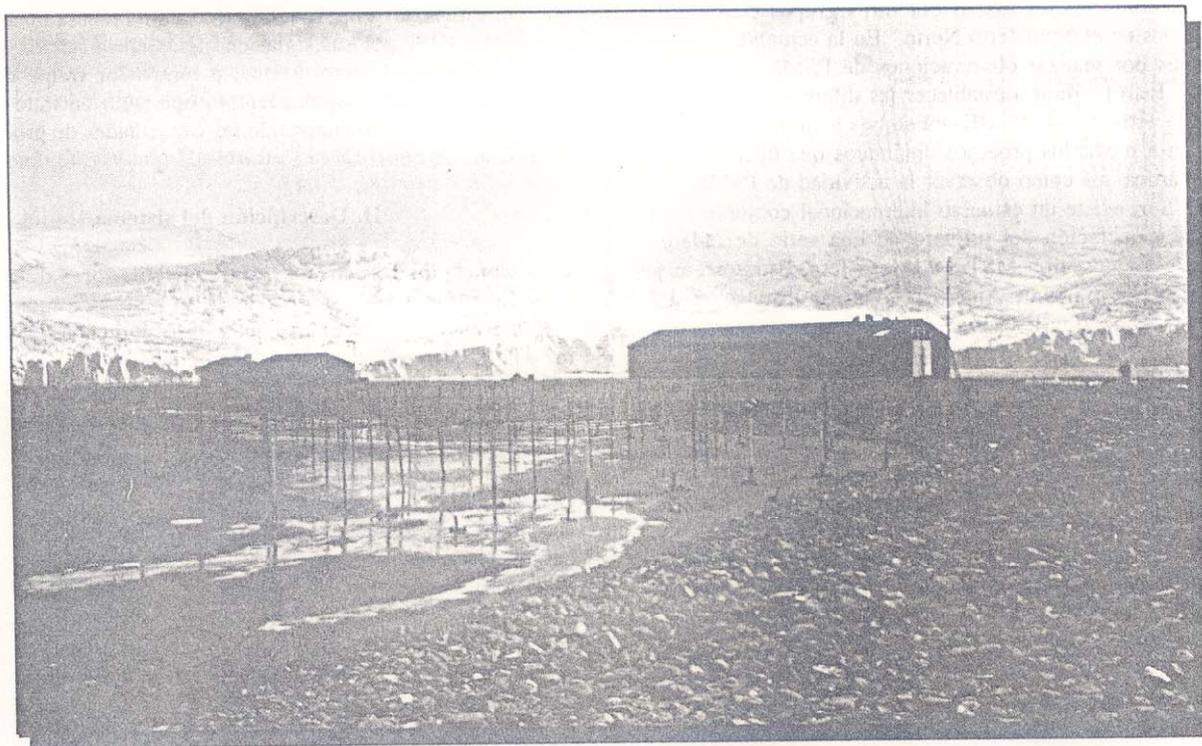
**LABORATORIO DE
CONTROL Y AUTOMATIZACION**

**JEFE DE AREA
INGENIERO
LUIS VILCAHUAMAN**



TEMAS

**ELECTRICIDAD • ELECTRONICA • MICROELECTRONICA
CONTROL Y AUTOMATIZACION • TELECOMUNICACIONES
INFORMATICA • TELEMATICA • ELECTRONICA BIOMEDICA
LABORATORIO DE ELECTRONICA • DESARROLLO DE PROYECTOS**



Estación Científica Antártica Machu-Picchu (Foto: M. Sarango)

"El Radar VHF Perfilador de Vientos de la Estación Antártica Machu-Picchu"

*Martín Sarango, Julio Urbina, Ronald Woodman
Radio Observatorio de Jicamarca*

*Enrico Ragaini y Edilberto Vásquez
Universidad de Piura*

RESUMEN

El propósito de este artículo es dar a conocer el sistema radar MST instalado en la Estación Científica Antártica Machu-Picchu. La concepción, diseño y desarrollo del instrumento (radar) es producto íntegro de la ingeniería peruana. Se presta especial atención al novedoso sistema de procesamiento de datos implementado, que constituye la primera aplicación con Procesadores Digitales de Señales (DSP por sus siglas en inglés) desarrollada en el Perú. Su diseño es totalmente original e innovador frente a los sistemas que actualmente operan en todo el mundo, alcanzando, e incluso superando las capacidades de procesamiento de muchos de ellos. Así mismo se hace una presentación de datos típicos recogidos con el instrumento, y una breve discusión sobre los primeros resultados obtenidos.

I. Introducción

Los estudios atmosféricos en el Continente Antártico están recibiendo considerable atención por parte de la comunidad científica. Este interés empezó en 1985 con el descubrimiento, por científicos del Proyecto Antártico Británico, de un decremento

pronunciado en el nivel mínimo de ozono observado durante el verano austral (Farman, et al., 1985). Esto es conocido hoy en día como el "agujero" de ozono.

A este punto, había una clara necesidad de datos observados que proporcionaran una entrada conveniente a los modelos físico-matemáticos que describen la concentración espacial y temporal de ozono en la atmósfera antártica. En particular, no se tenía información sobre los procesos dinámicos que estaban operando en la Tropósfera y Estratósfera Antárticas, ni sobre las dependencias latitudinales de estos procesos. Estos son los factores que controlan el transporte de ozono de las regiones de producción fotoquímica a la región polar, así como el transporte de energía térmica y de los compuestos clorofluorocarbonados alrededor y dentro de la región polar. Los procesos dinámicos en la atmósfera incluyen, entre otras cosas, los sistemas de circulación atmosférica, las ondas gravitatorias y las turbulencias.

Otro fenómeno, que se ha convertido en un tópico intrigante y un reto para los desarrollos de media atmósfera, es el de la actividad de Ecos Mesosféricos Polares de Verano (PSME por sus siglas en inglés). Dichos ecos fueron reportados por primera vez hace más de una década por Ecklund y Balsley (1981). Sus

observaciones, como las reportadas por otros grupos científicos, fueron realizadas en el hemisferio Norte. En la actualidad existe un gran interés por realizar observaciones de PSMEs en el hemisferio Sur. Esto permitiría establecer las diferencias y/o similitudes entre la actividad de PSMEs en ambos hemisferios.

En orden a medir los procesos dinámicos que operan en la atmósfera antártica, así como observar la actividad de PSMEs en el hemisferio Sur, existe un esfuerzo internacional conjunto para la instalación y operación del primero de una serie de radares perfiladores de vientos, tipo MST/ST (Mesósfera, Estratósfera y Tropósfera), en el Continente Antártico. Para la instalación del primer radar se escogió la Estación Científica Antártica "Machu-Picchu" que se encuentra sobre la isla "Rey Jorge" en la Península de Palmer. El equipo científico y técnico del proyecto instaló un primer prototipo del radar durante el verano austral de 1993. Durante la V Expedición peruana a la Antártida (Nov. 93 - Feb. 94) se reemplazó dicho prototipo por un sistema completo, con tres transmisores y cuyo sistema de procesamiento en tiempo real está basado en una configuración PC-DSPs.

La instalación de un perfilador de vientos en la isla "Rey Jorge" ha permitido tomar medidas continuas (cada minuto) de las velocidades del viento, incluyendo sus componentes verticales, así como la magnitud de las ondas gravitatorias en la atmósfera y la intensidad de las turbulencias. Se han conseguido perfiles verticales, de estas cantidades, entre 2.5 y 14Km (Tropósfera y baja Estratósfera), así como también entre 70 y 95Km, durante los meses de observación. Los datos de velocidad de vientos verticales, que tienen largos períodos de promediación y precisión de mm/s, proporcionan información de primera mano, nunca antes obtenida, sobre la magnitud y variabilidad de los movimientos atmosféricos verticales en la Tropósfera y baja Estratósfera.

El hecho de que los perfiladores de vientos podrían operar continuamente en lugares remotos, fue confirmado por la exitosa operación de una red trans-Pacífica de sistemas idénticos, en Piura (Perú) y otros tres lugares a lo largo del Océano Pacífico (Gage, et al., 1990). La red de perfiladores del Pacífico, como el proyecto antártico, es un esfuerzo conjunto entre la Fundación Nacional de Ciencias de EEUU (NSF), la Administración Nacional para el Océano y la Atmósfera de EEUU (NOAA), la Universidad de Colorado en Boulder, el Instituto Geofísico del Perú (Observatorio de Jicamarca) y la Universidad de Piura.

El personal del Radio Observatorio de Jicamarca y del Radar de la Universidad de Piura ha estado fuertemente involucrado en el tema de desarrollo de la técnica de perfilación de vientos desde sus primeros días. Fue precisamente en el Observatorio de Jicamarca donde se desarrolló por primera vez, a comienzos de los 70, el uso de radares en VHF para realizar mediciones de vientos, originándose la primera publicación sobre el potencial de los perfiladores de vientos (Woodman y Guillén, 1974). La tecnología de perfilación de vientos virtualmente explotó en la década y media siguientes. En la actualidad, se tienen perfiladores operando en muchos lugares del mundo.

En el presente trabajo, se realiza una descripción del sistema radar instalado en la estación Machu-Picchu. Se presta especial atención al desarrollo del sistema digital de control y procesamiento de datos. Así mismo, se hace una presentación de datos típicos recogidos por el instrumento, y una breve discusión sobre los primeros resultados obtenidos.

La concepción, diseño y desarrollo del instrumento (radar) es producto íntegro de la ingeniería peruana. En especial, el radar está provisto de un novedoso sistema de procesamiento de datos

que constituye la primera aplicación con Procesadores Digitales de Señales (DSP por sus siglas en inglés) desarrollada en el Perú. Su diseño es totalmente original e innovador frente a los sistemas que actualmente se encuentran operando en todo el mundo, alcanzando, e incluso superando las capacidades de procesamiento de muchos de ellos.

II. Descripción del sistema

2.1 Conceptos Básicos de radares perfiladores de vientos.

Un radar es un sistema que envía pulsos de radiofrecuencia y recibe y analiza las señales que retornan al chocar con un objeto. Un radar perfilador de vientos es un instrumento que permite medir la velocidad y dirección de los vientos y, en particular, un radar MST es aquel que puede usarse para observar la mesósfera, estratósfera y tropósfera.

Las observaciones se basan en una técnica desarrollada en el Observatorio de Jicamarca (Woodman y Guillén, 1974). Dicha técnica depende de la existencia de zonas de turbulencia de menor o mayor grado tanto a alturas estratosféricas, como mesosféricas. Estas zonas de turbulencia son similares a las que percibimos esporádicamente al volar en un avión. En el caso de alturas estratosféricas (15 a 45 Km.) esta turbulencia mezcla aires de diferentes alturas, los que se encuentran a diferente temperatura, causando fluctuaciones en el índice de refracción del mismo. Estas fluctuaciones hacen que el aire sea ligeramente visible a las ondas de radar, en forma no muy diferente a la forma en que podemos percibir la turbulencia en la boca del tanque de combustible de un automóvil cuando se reabastece de gasolina. En este caso, el aire en el tanque —enfriado por la evaporación de la gasolina— sale y se mezcla irregularmente con el aire más caliente en el exterior. En el caso de las alturas mesosféricas, la turbulencia es responsable de la mezcla de "aires" con diferente densidad de electrones libres, los que producen también fluctuaciones en su índice de refracción.

La técnica peruana para estudiar la alta atmósfera, consiste en iluminar ésta con un haz concentrado de ondas de radio, emitidas a una frecuencia de 50 Mega-hertz. La atmósfera es transparente a estas frecuencias —como lo es para la luz— y más aún, cuando ésta se encuentra tan enrarecida por la altura. La mayor parte de la energía de iluminación atraviesa sin dificultad, a excepción de una pequeñísima fracción que es dispersada en todas direcciones por las fluctuaciones en el índice de refracción del aire que mencionáramos anteriormente. Una fracción menor —cercana al billonésimo de la billonésima de la potencia transmitida— incide nuevamente sobre la antena emisora.

Estas señales son recibidas, amplificadas y procesadas digitalmente. Su intensidad es una medida de la intensidad de la turbulencia que las re-emitió, y su desplazamiento en frecuencia es una medida de la velocidad promedio de los vientos, a la altura de donde provienen, por efecto de un fenómeno que en la Física recibe el nombre de desplazamiento Doppler; permitiendo así, la medida desde tierra de la velocidad y dirección de los vientos a diferentes alturas y de la intensidad de la turbulencia responsable de los ecos.

Diferentes alturas producen ecos con diferentes demoras respecto al tiempo en que se envió el pulso transmitido. Para facilitar la discriminación de los ecos provenientes de las diferentes alturas, la duración del pulso emitido, así como la del tiempo de demora utilizado en recibir el eco, son del orden del microsegundo, lo que impone grandes demandas en el equipo digital responsable de su muestreo y procesamiento.

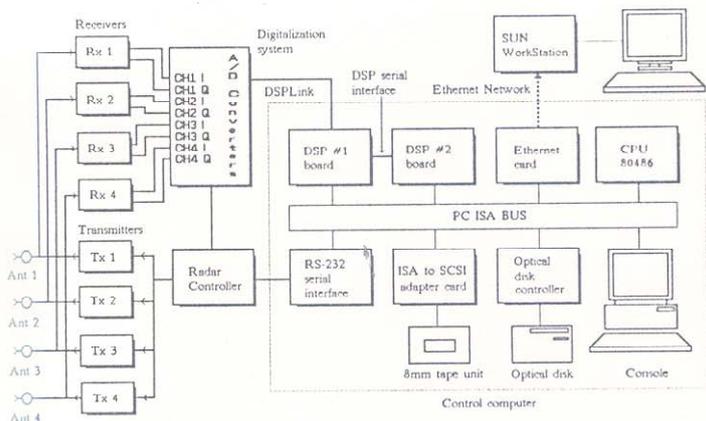
2.2 Esquema General del Instrumento.

El diseño del Sistema Radar MST que presentamos contempla la solución a una serie de requerimientos de carácter técnico, relacionados con el tipo de observaciones que se deseaba realizar.

Desde el punto de vista de "Hardware", el Radar se puede dividir en:

- Sistema de antenas,
- Sistemas de Transmisión-Recepción,
- Sistema de Digitalización,
- Sistema de Control y Procesamiento de datos,
- Sistema de Almacenamiento de información y
- Red de Transferencia de datos para procesamiento estadístico.

La Figura 1. muestra un diagrama de bloques del instrumento. a continuación haremos una descripción en detalle de cada uno de ellos.

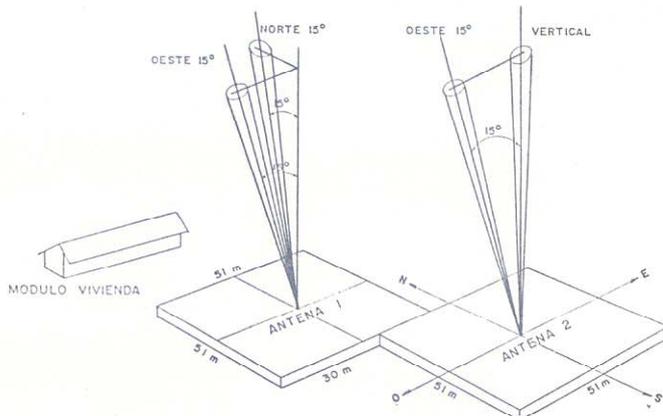


Machu-Picchu Radar. Block diagram

Figura 1: Diagrama de Bloques del Radar MST de la Estación Científica Antártica Machu-Picchu.

2.2.1. Sistema de Antenas COCO. Físicamente consta de dos arreglos separados (antena 1 y antena 2) de 51m x 51m. Cada uno de ellos tiene dos grupos ortogonales superpuestos de antenas. Las dos polarizaciones independientes, en uno de los arreglos, tienen fases fijas para apuntar verticalmente y 15° hacia el Oeste, respectivamente. El otro arreglo, tiene sus fases fijas para apuntar 15° al Oeste y al Norte, respectivamente. Así los dos arreglos dirigidos hacia el Oeste pueden ser combinados para formar un área total de antena de 102m x 51m, mientras los arreglos dirigidos al Norte y en la Vertical tienen áreas colectoras de 50m x 50m (ver Fig. 2).

El diseño de los arreglos de antenas estuvo a cargo de la Universidad de Piura (Rodríguez 1993).



Direcciones del Sistema de Antenas "COCO" instaladas en la base peruana "Machu-Picchu" - Antártida

Figura 2: Direcciones del sistema de antenas en el radar de la Estación Machu-Picchu.

Ubicación. La Estación Científica Antártica Machu-Picchu se encuentra situada sobre la isla "Rey Jorge" en la península de Palmer. La ubicación del perfilador de vientos en una bahía pequeña y relativamente cerrada en el lado Sur de la isla, sobre un terreno que cuenta con una morrena de origen natural, reduce la posibilidad de que aparezcan problemas mayores relacionados con interferencias debidas a retornos provenientes del mar.

El área escogida para la instalación del Sistema de Antenas es aquella que va desde la parte posterior del módulo principal (de vivienda) de la base, siguiendo la dirección Sur, hasta inmediaciones del cerro colindante.

2.2.2 Sistemas de Transmisión-Recepción. Las unidades de transmisión utilizadas, fueron habilitadas a partir de unidades de repuesto del radar de la Universidad de Piura (Rodríguez 1993). La potencia pico de cada unidad es de 25 KW y la promedio de 400W.

Los sistemas de transmisión-recepción han sido dispuestos de manera que se pueda operar en forma continua y simultánea con, por lo menos, 3 canales de transmisión-recepción.

Con la finalidad de mejorar las características de potencia de las unidades de transmisión, se ha preparado la electrónica necesaria para la instalación de dos y hasta cuatro transmisores en paralelo de manera que puedan ser conectados a una sola antena.

La conexión de cada arreglo a su respectiva unidad de transmisión se hace con cable del tipo FOAM FLEX de 100 Ohm. y 150m de longitud, cuidando de adaptar la impedancia de 50 Ohm. del transmisor.

Por otro lado, se cuenta con un sistema completo de generación de Radio Frecuencia de 50 Mhz. y con tres receptores. Estos equipos también fueron habilitados de unidades de repuesto del radar de la Universidad de Piura.

2.2.3. Sistemas de Digitalización. La adquisición de datos en el radar, comprende el ingreso de 4 canales analógicos com-

plejos (ver Fig. 1). Cada canal tiene, a su vez, dos componentes (Real-I e Imaginaria-Q).

El radar ha sido provisto de un módulo de digitalización, compuesto por: 8 acondicionadores de señal (con ancho de banda 100 Mhz), 8 convertidores A/D de 20 ns. de tiempo de conversión (50 MSPS), la lógica de direccionamiento de canales y su fuente de alimentación propia. La lógica de direccionamiento de canales permite seleccionar y leer cada canal complejo de manera independiente. Así, si el usuario desea ingresar datos por los canales 1, 2 y 4, lo puede hacer, sin necesidad de leer también el canal 3. En otras palabras, cada canal se lee de forma independiente, respecto al resto de canales, siendo la secuencia de lectura programable. Con este sistema, es posible realizar secuencias de lectura tales como: 1 2 3 4, 1 4 3, 1 2 1, etc.

Aunque se habla de secuencia de lectura, se debe aclarar que la captura de datos es simultánea en los cuatro canales, siendo secuencial la lectura de los datos en cada canal programado.

El módulo de conversión A/D fue desarrollado en el Laboratorio de Electrónica de la Universidad de Piura.

2.2.4. Sistema de Control y Procesamiento de datos. El sistema digital de Control y Procesamiento de datos del radar está basado en una computadora del tipo PC-486 a 33 Mhz (Ver Fig. 1) y tiene las siguientes partes:

a) Controlador de Radar.- Su función es generar los pulsos digitales que controlan el funcionamiento del transmisor, así como una secuencia de pulsos síncronos para la toma de muestras de las señales analógicas recibidas por el radar. Adicionalmente, el Controlador de Radar provee otras líneas de pulsos para propósitos generales. El tren de pulsos es totalmente programable. El Controlador de Radar ha sido montado en una caja metálica con su fuente de alimentación propia y se comunica con la PC-486 a través de un puerto RS-232 estándar. El controlador fue diseñado siguiendo la misma filosofía del Controlador de Radar del Radio Observatorio de Jicamarca (C. Gonzales, 1978 y W. Camacho, 1984), habiéndose diseñado la interfase necesaria para la programación del equipo desde una PC.

b) Pre-procesador de datos (DSP #1).- Tiene como función recibir los datos desde el sistema de digitalización, preprocesarlos y transferir los resultados al Procesador de Señales. Se le conoce también como Integrador Coherente por el tipo de trabajo que realiza, y ha sido implementado con una tarjeta comercial DSP (Digital Signal Processor) que ha sido instalada en un slot de la PC-486 (ver Fig. 1).

La tarjeta utilizada está basada en el Procesador Digital de Señales WE DSP32C de AT&T con un reloj maestro de 50 Mhz. Su máxima velocidad de procesamiento alcanza los 25 MFLOPS (Millones de instrucciones de punto flotante por segundo), mientras la velocidad de procesamiento promedio requerida por el sistema es del orden de 2 MFLOPS, manipulando 0.95 MBytes de datos por segundo. El monto de memoria en la tarjeta es de 140 KBytes.

El Integrador Coherente contiene una interfase paralelo estándar DSPLink de 5 MWord/s, que le permite recibir los datos desde el sistema de digitalización. Así mismo, a través de la puerta serial del DSP32C (16 Mbps), transfiere los resultados del pre-procesamiento a una segunda tarjeta DSP (Procesador de señales), haciendo uso del controlador DMA interno del WE

DSP32C.

El Procesador Digital de Señales ejecuta un programa que ha sido cargado previamente en la memoria de la tarjeta o en la memoria disponible dentro del procesador (WE DSP32C). Este programa se ejecuta de manera independiente y en simultáneo con los procesos en la PC y en alguna otra tarjeta DSP.

La máxima resolución en alturas que se consigue con el instrumento (radar) es de 150 m. (1 us.) haciendo ingreso por un solo canal, mientras que para cuatro canales, la máxima resolución es de 300 m. (2 us.)

c) Procesador de señales (DSP #2).- Los datos preprocesados son recibidos, almacenados y procesados por este sistema, que se encarga de calcular FFT's y espectros de potencia, así como promedios espectrales sin DC. Ha sido implementado con una segunda tarjeta DSP comercial montada también en un slot de la PC-486.

Respecto a los requerimientos del sistema, el total de FFT's complejas (de 64 puntos) a calcular es del orden de 240, disponiéndose de un tiempo promedio de 8.2 segundos. Puesto que el procesamiento comprende también el cálculo de espectros de potencia, sustracción de componentes DC y promediación espectral, el procesador debe ser capaz de realizar todas estas tareas en los 8.2 segundos disponibles. La velocidad de procesamiento de datos estimada es de 1 MFLOPS.

Para cubrir las necesidades antes mencionadas, se ha optado por utilizar una tarjeta tipo DSP (Digital Signal Processor) con similares características a las del Integrador Coherente (basada en el WE DSP32C), y ha sido montada en uno de los "slots" de la PC-486. En lo que sigue, nos referimos a esta tarjeta como el "Procesador de Señales".

Ahora bien, podemos hacer un análisis de acuerdo a los requerimientos del sistema. Primeramente, la velocidad máxima de procesamiento de datos en la tarjeta es de 25 MFLOPS que le permiten calcular una FFT compleja de 1024 puntos en 3.4 ms. y un producto de matrices de 3x3 en 3.2 us. Por tanto, se cubre perfectamente el requerimiento de velocidad de 1 MFLOPS. Así mismo, el Integrador Coherente entrega un promedio de 30 KBytes de datos cada 8.2 segundos, lo que significa 60 Kbps. La puerta serial que se utiliza para estas transferencias tiene una velocidad de 16 Mbps, con lo cual está ampliamente cubierto el requerimiento. Incluso nos permite utilizar velocidades de transferencia menores que siempre son más confiables.

Como se ha dicho, el ingreso de los datos desde el Integrador Coherente (DSP #1) se realiza a través de la interfase serial, utilizando el controlador DMA del DSP32C con un sistema de doble "buffer". De esta manera, mientras en un "buffer" se van recibiendo datos vía DMA desde el Integrador Coherente, el DSP va procesando los datos contenidos en el buffer alternativo. El DSP aprovecha todo el tiempo disponible para calcular las Transformadas de Fourier de los datos para cada altura y cada canal. El procesador también calcula los espectros de potencia y almacena los componentes DC para cada altura. Así mismo, realiza la transferencia de datos procesados, a través del bus ISA a la PC-486. La salida de datos se realiza vía DMA y con un sistema también de doble "buffer". En este caso, mientras el Procesador está procesando un "buffer", la PC realiza la lectura del "buffer" alternativo en la memoria de la tarjeta DSP. La transferencia de datos hacia la PC se puede realizar a una velocidad de 1.2 MBytes/s en bus de 8 bits o a 2.5 MBytes/s en bus de 16 bits.

d) **Interfase con el usuario.**- La comunicación del operador o científico usuario con el sistema se realiza a través de la consola, en este caso la PC-486. De esta manera, el usuario puede manejar prácticamente todo el equipo desde la PC. Así mismo, puede cambiar parámetros y las opciones de procesamiento y almacenamiento de datos, a través de un panel general de comando del sistema.

En realidad, la computadora es el ente coordinador de todo el sistema digital. La PC realiza las siguientes tareas:

- Presentación del programa principal y del Panel de Comandos.
- Programación del Controlador de Radar.
- Programación del Integrador Coherente (DSP #1).
- Programación del Procesador de Señales (DSP #2).
- Transferencia de datos desde el Procesador de Señales.
- Almacenamiento de datos en WORM.
- Visualización de reportes gráficos en pantalla.
- Interfase en-línea con el usuario y
- Transferencia de datos a una red Ethernet.

Gracias a la PC y al programa principal, la operación del instrumento es totalmente interactiva. Así pues, el operador o científico usuario puede diseñar sus experimentos en la misma PC, y luego programar el controlador de radar para que genere los pulsos correspondientes. Así mismo, puede escoger el tipo de reporte gráfico, el medio de almacenamiento de datos e incluso el tipo de procesamiento que se debe aplicar a los datos.

Cuando se ejecuta el programa principal en la PC, aparece en la consola el Panel de Comando del radar. El Panel es el medio por el cual el operador indica los parámetros con los que debe funcionar el sistema. Una vez que el sistema tiene los primeros resultados, los muestra en pantalla de acuerdo al tipo de reportes indicados en el Panel por el usuario. Las opciones gráficas disponibles son: Potencia de las señales respecto al nivel de detectabilidad del instrumento, Espectro de una altura seleccionada desde el teclado, Densidad Espectral (Density Plot) para todas las alturas con escala en dB, Plano de Contornos o curvas de nivel (Contour Plot) de los espectros para todas las alturas y, por último, potencia en dB para todos los canales disponibles (un color para cada canal).

2.2.5. Sistemas de Almacenamiento de Información.- Un sistema de radar requiere un buen soporte de almacenamiento de información. En el caso del radar de Machu-Picchu, se produce un promedio de 68.9 MBytes de datos por día.

Se ha utilizado una unidad grabadora-lectora de discos ópticos, la misma que puede ser manejada por la PC a través de la tarjeta manejadora correspondiente. Las tareas de escritura y lectura pueden ser programadas en cualquier lenguaje, lo que ha permitido hacerla compatible con el Programa Principal de Control y Procesamiento de datos del Radar, que ha sido escrito en lenguaje C de programación.

Cada disco óptico tiene una capacidad para almacenar 1 GByte de datos en dos caras.

Para el futuro, se tiene planeado utilizar una unidad escritora-lectora de cintas de video de 8 mm., la misma que sería conectada a la PC a través de una tarjeta adaptadora ISA-SCSI (ver Fig. 1).

2.2.6. Red de Transferencia de datos para Procesamiento Estadístico.- El sistema ha sido provisto de una conexión en red del tipo Ethernet que permite enviar los datos procesados, producidos por el radar, desde la PC-486 a una estación de trabajo (una SUN Workstation). Para tal efecto, se ha montado en la PC-486 una tarjeta de comunicaciones para Ethernet (ver Fig. 1).

La estación de trabajo SUN tiene instalado el sistema operativo UNIX, que ofrece la posibilidad de realizar multitareas. Esta característica del sistema operativo y la gran capacidad de cálculo de la SUN permite programarla para que realice varias tareas a la vez.

La SUN está conectada a una unidad de cintas Exabyte que permite grabar cintas de video de 8mm. con capacidad para almacenar hasta 2 GBytes de datos.

Se ha considerado la configuración en red Ethernet con el propósito de poder analizar, en tiempo diferido, cualquier resultado obtenido anteriormente por el radar. El análisis a nivel científico de los datos es una facilidad importante cuando se maneja gran cantidad de información.

III. Presentación de datos y resultados

3.1 Campañas antárticas de verano.

Las observaciones realizadas con el radar de la estación Machu-Picchu fueron llevadas a cabo durante las expediciones peruanas de 1993 y 1994. Durante la IV expedición peruana a la Antártida (Ene. - Feb. 1993), se instaló un prototipo de radar, el mismo que operó satisfactoriamente durante los 25 días de observaciones. Un instrumento mejorado, cuya descripción se incluye en este trabajo, fue instalado durante la V expedición peruana a la Antártida (Nov. 1993 - Feb. 1994).

A continuación presentamos algunos datos típicos recogidos con el instrumento durante los dos períodos de operación.

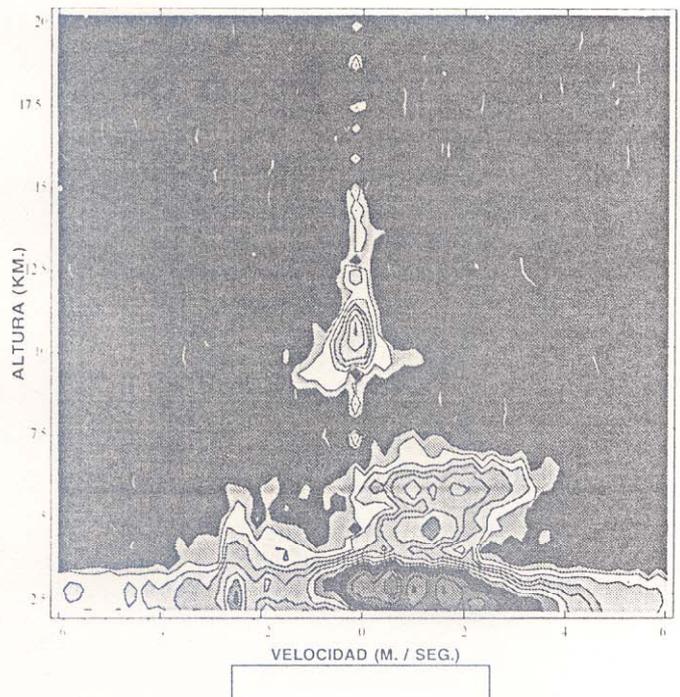


Fig. 3: Observaciones de Tropósfera y baja Estratósfera con el radar de la Estación Machu-Picchu el 5 de Feb. 1993.

3.2. Observaciones de la Tropósfera.

La capacidad del sistema para producir reportes en "tiempo real", permitió ubicar rápidamente las situaciones especiales suscitadas durante la toma de datos.

Entre otras cosas, se puede señalar que en ocasiones, el sistema registró ecos troposféricos hasta alturas cercanas a los 14 Km. como se muestra en la Figura 3. Así mismo, se registraron ecos de regular intensidad en las partes bajas de la tropósfera (Fig. 4), que coincidían con la aparición de vientos en superficie, los mismos que alcanzaban los 40 nudos. Los reportes de vientos a alturas troposféricas han permitido observar con el radar las características cíclicas de la dinámica atmosférica, que se presentan como fuertes tormentas seguidas por períodos de calma.

Una gran cantidad de datos, con estas características, están siendo procesados y merecerán nuestra atención en los próximos meses.

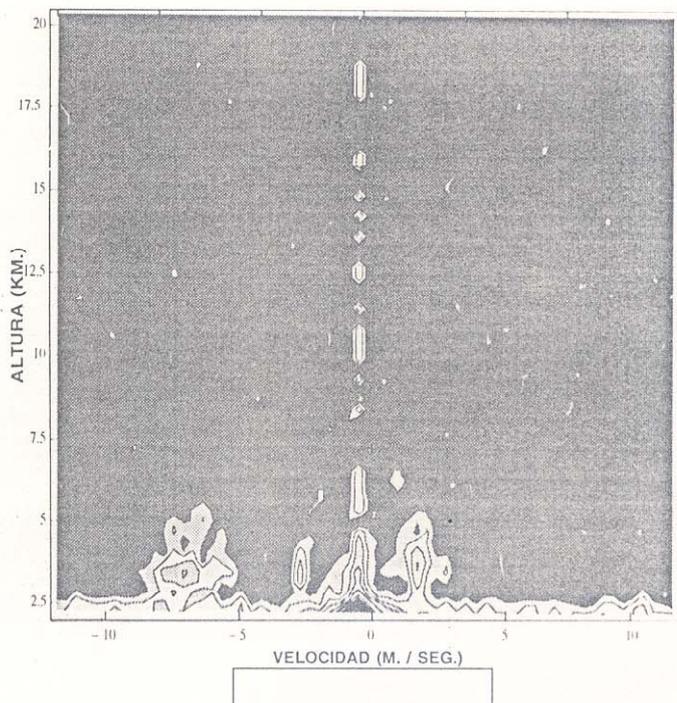


Figura 4: Observaciones de Tropósfera y baja Estratósfera con el radar de la Estación Machu-Picchu el 11 de Febrero de 1993.

3.3 Observaciones de PSMEs.

Uno de los principales aportes del radar de la Estación Machu-Picchu (62°06' S, 58°28' W) a la ciencia internacional han sido las observaciones de Mesósfera a grandes latitudes Sur que ya han sido reportadas en relación a los Ecos Mesosféricos Polares de Verano (Balsley, et al., Set. 1993). Los estudios se realizaron en combinación con los datos recogidos por un radar MST instalado por la Universidad de Piura en Ushuaia - Argentina (54°47' S, 68°18' W).

Durante el primer período de observaciones que va desde finales de enero hasta mediados de febrero de 1993, se realizaron tomas de datos de Mesósfera y baja Termósfera, entre 70 y 95 km., de 14 a 17 hrs.; con algunas excepciones que incluyen

tomas de 24 horas y otros períodos breves. El resto del tiempo se dedicó a observaciones de tropósfera.

Los resultados iniciales obtenidos al procesar estos datos fueron sorprendentes e intrigantes. El bloque completo de datos mostraba muy poca evidencia sobre la existencia de ecos mesosféricos polares de verano, tanto para la estación Machu-Picchu como para el radar de Ushuaia.

Cabe indicar que la latitud y la estación del año eran favorables para realizar observaciones de ecos PSME (enero - febrero en el hemisferio sur corresponden a julio-agosto en el hemisferio norte). El radar de Machu-Picchu a 62°S se puede comparar con la latitud de Poker Flat-Alaska (65°N), donde se realizaron las primeras observaciones de ecos PSME (Ecklund y Balsley, 1981). El radar de Ushuaia, aunque se encuentra unos 7 grados más alejado del polo, es comparable en latitud al radar alemán SOUSY a 52°N, que también reportó observaciones ocasionales de ecos PSME.

Aunque los dos radares eran capaces de detectar ecos PSME débiles, las sesenta horas de datos, recogidos en un período de tres semanas en ambas estaciones, muestran únicamente la aparición de algunos ecos esporádicos, durante el verano austral. Estos ecos, sin embargo, pueden ser atribuidos razonablemente a reflexiones debidas a trayectorias de meteoros, las mismas que se pueden observar comúnmente a estas alturas (típicamente entre 90 y 95 km.).

Se han realizado las comparaciones pertinentes de parámetros entre los radares instalados en el hemisferio Norte y los de Machu-Picchu y Ushuaia, descartándose la posibilidad de que estos últimos no fueran capaces de detectar ecos PSME (Balsley, et al., 1993).

La segunda campaña de observaciones fue preparada para comienzos de diciembre de 1993. La posibilidad de que existiera un desplazamiento de carácter estacional, en la actividad de PSMEs en el hemisferio Sur no había sido descartada, y por tanto, el adelantar las observaciones en algunas semanas, podría rendir frutos favorables.

La toma de datos en la segunda campaña fue similar a la primera, en lo que a rangos de alturas se refiere (70 - 95 km). Sin embargo, la cantidad de horas de observación durante el día fue mayor, e incluso se programaron períodos de observación de varios días continuos.

La gran expectativa por analizar los datos de Mesósfera recogidos durante ANTAR V se debía a que las tomas de datos se realizaron en fechas más cercanas al solsticio de verano (21 - 22 de diciembre), donde cabía la posibilidad de que aparecieran ecos. Los esfuerzos han sido dirigidos, hasta el momento, únicamente al procesamiento de una toma continua de datos de Mesósfera realizada entre los días 11 y 13 de enero de 1994. Como resultado de un cuidadoso procesamiento y estudio, se ha conseguido detectar ecos durante todo el período de observación mencionada. Los reportes obtenidos muestran ecos alrededor de los 86 km., con una relación S/N máxima de 15 dB (ver Fig. 5). Estos valores alcanzan los niveles esperados en su cota más baja puesto que deberían encontrarse entre los 15 y los 45 dB (Balsley, et al. 1993).

Todo esto no hace sino confirmar la hipótesis de que la presencia de Ecos Mesosféricos Polares de Verano en el hemisferio Sur no es del todo simétrica frente a lo que sucede en el Norte. Las conclusiones a las que se pueda llegar con este nuevo descubrimiento serán materia de una nueva publicación en la que se está trabajando.

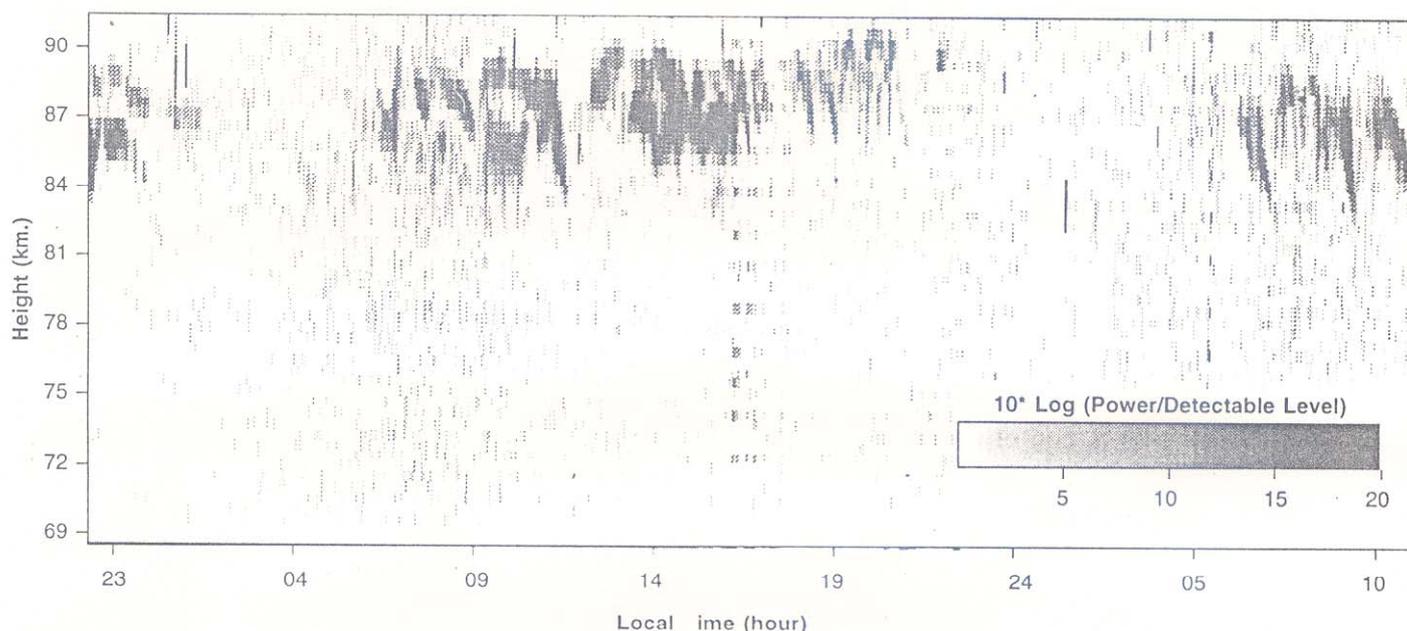


Figura 5: Observaciones de Mesósfera y actividad de PSM en la Estación Machu-Picchu (11-13 de enero de 1994)

Una pregunta que se le podría ocurrir al lector interesado es si los sistemas de radar de Machu-Picchu y Ushuaia estuvieron trabajando correctamente. Afortunadamente podemos responder afirmativamente utilizando tres evidencias:

- Primero, la presencia de ecos de meteoros en todos los registros de Mesósfera en ambas estaciones, confirma que los sistemas operaron correctamente.
- Segundo, ambos sistemas fueron utilizados para obtener ecos troposféricos. La máxima altura a la que se observaron dichos ecos (Ver 3.2 y Fig. 3) muestra que la sensibilidad de ambos instrumentos era la esperada.
- Finalmente, la magnitud de variación del ruido cósmico en ambas situaciones proporciona amplia evidencia de que la figura de ruido de los sistemas estaba dentro de los valores aceptables.

REFERENCIAS

Balsley, B.B., R.F. Woodman, M. Sarango, J. Urbina, R. Rodríguez, E. Ragaini y J. Carey (Set. 1993), "Southern-Hemisphere PMSE: Where are They?", *Geophysical Research Letters, Trans., American Geophys. Union, Vol. 20, No. 18 p. 1983 - 1985, Set. 15, 1993.*

Balsley, B.B., R.F. Woodman, M. Sarango, J. Urbina, R. Rodríguez, E. Ragaini y M. Huamán (1993), "On the Lack of Southern-Hemispheric PSME", *J. Geophys. Res., en prensa, 1993.*

Balsley, B.B., R.F. Woodman, M. Sarango, J. Urbina, R. Rodríguez, E. Ragaini y J. Carey (Ago. 1993), "Wind Profiler installed in Antarctica", *EOS Trans., American Geophys. Union, Vol. 74, No. 35, p. 395-396, Ago. 31, 1993*

Basley, B.B., W.L. Ecklund, y D.C. Fritts (1983), "VHF echoes from the high latitude mesosphere and lower thermosphere: Observations and interpretations", *J. Atmos. Sc., 40, pp 2451-2466.*

Ecklund, W.L. y B.B. Balsley (1981), "Long-term observations of the Arctic

mesosphere with the MST radar at Poker Flat, Alaska", *J. Geophys. Res., 86, p. 1775-1780.*

Camacho, W. (1984), "Sistema de digitalización y control del Radio Observatorio de Jicamarca", *Instituto Geofísico del Perú, Reporte técnico interno.*

Farman, J.C., B.G. Gardiner y J.D. Shanklin (1985), "Large Losses of Total Ozone in Antarctica Reveal Seasonal ClOx/NOx Interaction", *Nature, 315, 207-210.*

Gage, K.S., B.B. Balsley, W.L. Ecklund, R.F. Woodman, S.K. Avery (1990), "Wind-Profiler Doppler Radars for Tropical Atmospheric Research", *EOS Trans., American Geophys. Union, Vol. 71, No. 50, Dic. 11, 1990.*

Gonzales, C. (1978), "Sistema de digitalización y control del Radio Observatorio de Jicamarca", *Instituto Geofísico del Perú, Reporte técnico interno.*

Rodríguez, R. (1993), "Instalación de sistema de antenas COCO para radar antártico", *Universidad de Piura, Reporte técnico interno, 1993.*

Sarango, M., J. Urbina, R. Rodríguez, E. Ragaini, E. Vásquez y R. Woodman (Jun. 1993), "Diseño y Fabricación de un Radar VHF Perfilador de Vientos y su Operación en la Base Antártica Peruana Machu-Picchu", *CONIMERA '93, Lima-Perú, Jun 23, 1993.*

Sarango, M., J.L. Chau, E. Ragaini y E. Vásquez (Oct. 1993), "A DSP - based Data Processing System for MST Radar", *Fourth International Conference on Signal Processing Applications and Technology (ICSPAT '93), San Francisco, Oct. 1993.*

Woodman, R.G. y A. Guillén (1974), "Radar Observations and Turbulence in the Stratosphere and Mesosphere", *J. Atmos. Sci., 31, 491-505, Mar., 1974.*

Woodman, R.F. y R.P. Kugel, "A Coherent Integrator - Decoder Preprocessor for the Soudy VHF Radar", *Radio Science, 15, 233-242, 1980.*