

DISEÑO Y FABRICACION DE UN RADAR VHF PERFILADOR DE VIENTOS Y SU OPERACION EN LA BASE ANTARTICA PERUANA MACHU-PICCHU

Martín Sarango**, Julio Urbina*, Rodolfo Rodríguez**, Enrico Ragaini**, Edilberto Vásquez**, Ronald Woodman*

* Radio Observatorio de Jicamarca

** Universidad de Piura

I. MOTIVACION

1.1. El Perú y su participación en el Tratado Antártico.

El Perú ingresó al Tratado Antártico en el año 1981. Hasta finales de 1992 se habían realizado tres expediciones peruanas a la Antártida: 1989, 1990 y 1991. Las tres expediciones se realizaron a bordo del B.I.C. "Humboldt". Gracias a los resultados de las investigaciones científicas, realizadas por estos primeros peruanos en la Antártida, el Perú optó la calidad de Miembro Consultivo del Tratado Antártico, con todos sus derechos (Voz y voto) y obligaciones.

El Perú debe tratar, en lo posible, de mantener la calidad de Miembro Consultivo, para lo cual cada país debe cumplir con las exigencias establecidas en el tratado. La exigencia más importante es la de presentar, anualmente, por lo menos un proyecto de investigación de alto nivel relacionado con la Antártida.

1.2. El Proyecto "Radar Antártico".

La ejecución del proyecto comprende, entre otras cosas, el diseño y fabricación de un radar VHF perfilador de vientos y su operación en la base antártica peruana Machu-Picchu. El objetivo científico principal es el de realizar estudios sobre la dinámica atmosférica en la Antártida y su relación con la destrucción de la capa de ozono. Un objetivo adicional es el de realizar observación de ecos mesosféricos, para realizar estudios comparativos con datos recogidos en el Artico.

El Proyecto contempla la instalación, a largo plazo, de una red de radares en: Ushuaia (Argentina), Machu-Picchu y en la base polar.

Las instituciones involucradas son: CIRES-Universidad de Colorado, U.S. National Science Foundation, Universidad de Piura, Radio Observatorio de Jicamarca - Instituto Geofísico del Perú y la Marina de Guerra del Perú.

1.3. Instituciones y tareas.

CIRES tiene a su cargo el suministro de partes electrónicas y otros, así como el asesoramiento y capacitación de personal científico. La Universidad de Piura y el Radio Observatorio de Jicamarca (IGP), han tenido a cargo el diseño y fabricación del sistema de control y procesamiento de datos del radar, así como su instalación y operación. La Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú ha tenido a su cargo la logística de las expediciones para instalación y operación del radar en la

Antártida. Por su parte el Sistema Industrial de la Marina ha tenido a su cargo la construcción de la antena, bajo el asesoramiento de personal de la Universidad de Piura y del Radio Observatorio de Jicamarca. La U.S. National Science Foundation, la Comisión Nacional de Asuntos Antárticos y el CONCYTEC han proporcionado el soporte financiero.

1.4. Actividades realizadas.

A mitad de 1991, fue aprobada por la U.S. National Science Foundation, la propuesta de instalación de un radar atmosférico tipo MST en la Antártida. Durante el año 91 se trabajó en el ensamble de un radar con repuestos donados por la U.S. NOAA y que formaban parte del desactivado radar de Poker Flat (Alaska). Este primer radar, ensamblado en los laboratorios de la Universidad de Piura (UDEP), fue instalado en Ushuaia Argentina en el verano de 1992, por un equipo de ingenieros y técnicos de la UDEP y del Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ). No fue llevado a la base Machu-Picchu debido a la suspensión de la expedición peruana a la Antártida a finales de 1991. Durante 1992 se realizó la construcción del nuevo radar, habiéndose repartido el trabajo como se ha indicado en 1.3. La instalación y operación del radar en la base Machu-Picchu se llevó a cabo durante la IV expedición peruana a la Antártida.

1.5. IV Expedición peruana a la Antártida.

El equipo estuvo integrado por 5 civiles y 10 miembros de la Marina de Guerra del Perú.

El grupo se trasladó a la base Machu-Picchu a bordo del rompehielos A.R.A. "Almirante Irizar" (Armada República Argentina). La navegación empezó el 12 de enero en Buenos Aires, culminando en la base el 20 de Enero de 1993. Los expedicionarios permanecieron desde el 20 de Enero hasta el 17 de Febrero.

1.6 Resultados preliminares.

El proyecto es pionero en el mundo puesto que ningún país ha realizado mediciones MST en la Antártida. Esto se hace más notable, considerando que el instrumento (radar) ha sido íntegramente concebido y construido en el Perú. Durante su funcionamiento en la Antártida, el radar ha proporcionado datos de vientos troposféricos de 2.5 a 12 Km., así como medidas mesosféricas, donde se observó casi total ausencia de ecos. El radar estuvo operando durante más de 20 días, con lo que se ha conseguido una buena cantidad de datos que están siendo procesados. Existe una

gran expectativa de parte de la Comunidad científica internacional, por conocer las conclusiones físicas a las que pueda llegar el equipo científico investigador.

1.7 Planes futuros.

Se tiene planeado volver a operar con un instrumento mejorado, durante el verano austral de 1994, para lo cual se espera la aprobación de la V expedición peruana a la Antártida.

II. DISEÑO Y FABRICACION DEL RADAR

2.1 Conceptos Básicos de radares MST.

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 MST (Mesósfera-eStratósfera-Tropósfera) es un instrumento que permite medir la velocidad y dirección de los vientos, en particular un radar MST es aquel que puede usarse para observar la tropósfera, estratósfera, y mesósfera. Las frecuencias que normalmente se usan pertenecen a la banda VHF, en nuestro caso se usó 50Mhz.

2.2 Esquema General del radar MST para la Base Antártica Peruana "Machu Picchu".

El sistema radar MST diseñado y construido para operar en la base antártica "Machu Picchu", está formado por los siguientes bloques (ver figura 1):

a) Sistema de Radiofrecuencia.

El sistema de radiofrecuencia lo integran la antena, los transmisores y receptores. A continuación una descripción breve de cada uno de ellos.

a.1) Antenas.- Es un arreglo de dipolos constituido por cuatro arreglos planares de 16 antenas lineales del tipo COCO (Coaxial-Colinear), cada elemento lineal consta a su vez de 24 dipolos. Los cuatro arreglos están agrupados en dos pares, con polarizaciones cruzadas, ocupando el mismo espacio y cubriendo un área cuadrada de 50x50 m. Los dos pares cuadrados se han instalado lado a lado cubriendo una área de 100x50 m en forma casi rectangular. El rectángulo ha sido dislocado en la unión de los dos pares con un desplazamiento de 20 m para adecuarse a la disponibilidad del terreno plano. Dos de las cuatro antenas, de una misma polarización han sido conectadas en paralelo y enfasadas para apuntar en una dirección inclinada del zenith en 15° en dirección Oeste. Una de las antenas restantes está enfasada para apuntar en dirección vertical, y la otra en dirección 15° Norte.

a.2) Transmisores y receptores.- Los transmisores y receptores fueron habilitados de unidades de repuesto del radar de la UDEP y de su propiedad. La potencia del transmisor pico/promedio usado fue de 25kw/400w. A la Antártida se llevó dos receptores y dos transmisores.

b) Sistema Digital.

Está formado por el Controlador de Radar (CR), Sistema de

Adquisición, una Computadora Personal (PC), una SUN "Workstation", una unidad de disco óptico, una unidad de cintas de 8 mm. A continuación se describe globalmente cada una de sus partes.

b.1) Controlador de Radar.- La función del Controlador de Radar es generar los pulsos que controlan la salida del transmisor, los pulsos para controlar el muestreo de las señales análogas recibidas por el radar y su sincronismo con el pulso de transmisor. Adicionalmente, el sistema provee otras líneas de pulsos para propósitos generales.

b.2) Sistema de digitalización y procesamiento de datos.- El sistema de adquisición y procesamiento de datos está formado por tres unidades: El Convertidor Analógico Digital (ADC), una tarjeta de procesamiento rápido de señales "Digital Signal Processor" (DSP) y una computadora PC-486 a 33Mhz, mencionada anteriormente, para preprogramar el Controlador.

2.3 El Controlador de Radar

2.3.1. Generalidades.

El objetivo principal en el diseño de un controlador de radar es que sea capaz de producir cada uno de los pulsos que requiere un radar, tales como: el pulso que controla la salida del pulso de transmisor, otro pulso para modular su fase, lo que permite la codificación de éste. El controlador debe suministrar también los pulsos que controlan el muestreo de las señales recibidas y su sincronismo con el pulso de transmisión. Con este propósito se diseñó e implementó un Controlador de Radar capaz de producir 8 trenes de pulsos digitales, de duración y secuencia arbitraria, en 8 líneas diferentes, cuya secuencia se preprograma a través de un puerto serial RS-232, en nuestro caso conectado a una PC. La secuencia de cada pulso la escoge el operador, editando una pantalla de texto que define el patrón de pulsos a generar para un determinado experimento. El sistema a describir fue diseñado siguiendo la misma filosofía del Controlador de Radar del Radio Observatorio de Jicamarca (C. Gonzales, 1978 y W. Camacho, 1984), para lo cual, se desarrollaron los circuitos necesarios para conectarlo al puerto serial RS-232 de una PC, y se modificaron de las tarjetas del Controlador de Radar de Jicamarca a una versión PC.

El Controlador puede utilizarse también como un Generador de Pulsos para Propósitos Generales donde se puede realizar cualquier secuencia de pulsos.

El CR consiste básicamente de 2 memorias estáticas RAM, donde los datos, relacionados con los pulsos a generarse, son cargados por la PC. Una memoria contiene números que representan, en ciclos de reloj, el retardo o tiempo en que no se deben realizar cambios en el estado de cualquiera de los pulsos. La otra memoria, enmascara los cambios de los pulsos permitiendo, a la sección de control, cambiar solamente el estado de las líneas de pulsos que deben cambiar en el tiempo especificado por la primera memoria. La resolución de los pulsos depende de la fuente de reloj,

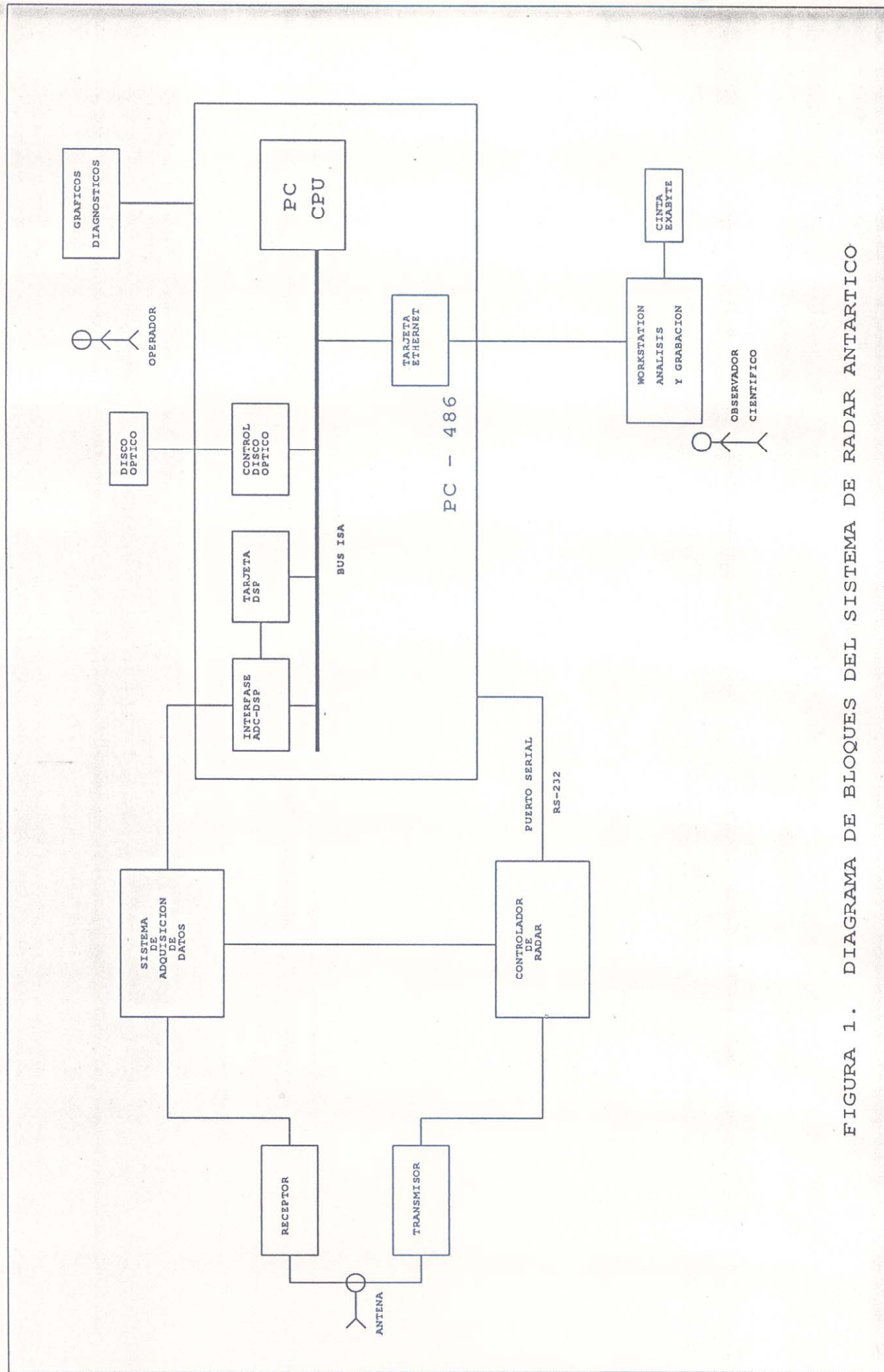


FIGURA 1. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE RADAR ANTARTICO

la misma que se puede cambiar si se desea. En nuestro caso, el reloj utilizado fue de 1Mhz. El número de transiciones que puede realizarse puede ser de hasta 2048 que es el tamaño de las memorias RAM.

La combinación de la flexibilidad del controlador y el software desarrollado permiten al operador o científico usuario controlar fácilmente todos los parámetros del mismo, como son: la altura mínima a muestrear, la distancia entre las muestras, el número de muestras (máxima altura), el ancho del pulso del transmisor y su repetición y otros parámetros, en forma interactiva, a través del terminal del computador.

2.3.2 Hardware del Controlador de Radar.

a) Esquema y Funcionamiento en Bloques del Sistema.

Los bloques que conforman el Controlador de Radar son las siguientes tarjetas: conversión serie-paralelo y viceversa, conversión de comandos, controlador de radar, memorias, generador de pulsos, oscilador, generador de velocidades. A continuación se describen globalmente cada uno de estos bloques.

a.1) Tarjeta de Conversión Serie-Paralelo/Paralelo-Serie.- Esta tarjeta es la que se encarga de convertir los bytes provenientes del puerto serial de la PC a paralelo y viceversa. Consiste básicamente de un USART 8251 e incluye la lógica necesaria para la programación del mismo y de los circuitos de generación de velocidades para la transmisión-recepción de datos. Una vez programado el USART, éste puede realizar la comunicación entre la PC y el CR.

La tarjeta incluye el circuito de generación de velocidades de transmisión y recepción. Las velocidades disponibles en el sistema pueden ser de 9600,4800,2400,1200 baudios, las mismas que son elegidas de acuerdo a la combinación del dip-switch sw dip-4. Para el presente trabajo se utilizó 9600 baudios.

a.2) Tarjeta de Conversión de Comandos y Datos.- Esta tarjeta se encarga de traducir los bytes que le llegan de la PC y generar las líneas de control que la tarjeta de Controlador de Radar necesita para ejecutar una determinada acción. Proporciona también las respuestas que requiere la PC.

a.3) Tarjeta de Controlador de Radar.- Esta tarjeta es la que se encarga de decodificar los comandos para realizar las acciones que se requieren en el CR, éstas pueden ser por ejemplo cargar datos en las memorias, cargar la frecuencia de muestreo, leer datos de las memorias, realizar la recirculación de datos, habilitar o deshabilitar pulsos, entre otras. También proporciona las respuestas requeridas por la PC.

a.4) Tarjeta de Memorias.- Consta de 2 memorias estáticas RAM de 2Kbytes cada una, con una longitud de palabra de 8 bits. Al habilitarse la recirculación de datos, las dos memorias se convierten en una sola de 16 bits, donde el byte menos significativo representa el retardo en número de

pulsos de reloj en el que permanecerán las líneas de salida de la tarjeta de Generación de Pulsos, controladas por el byte más significativo.

a.5) Tarjeta de Generación de Pulsos.- Consta de un registro que almacena la velocidad de muestreo, en número de ciclos de reloj, de 8 flip-flops conectados en configuración J-K, cuyas salidas son controladas por los estados que le llegan de la Tarjeta de Memoria (byte mas significativo) y por las señales de control de la Tarjeta de Control. Las salidas se amplifican a través de 8 transistores, para quedar finalmente disponibles.

a.6) Tarjeta de Oscilador Maestro.- Esta tarjeta contiene un oscilador de 16Mhz, el mismo que se ha dividido para generar un reloj de 1Mhz, que es igual a 1us y equivalen, en radares, a 150 metros de resolución.

2.3.3 Software del Controlador de Radar.

El CR es preprogramado a través de un puerto RS-232, en nuestro caso conectado a una computadora Personal (PC). La programación del CR, como se mencionara anteriormente, se realiza editando una pantalla de texto que define la forma, duración y periodo de cada uno de los pulsos que requiere el radar. Con este propósito, se han desarrollado los programas: RADARC.C, escrito en Lenguaje C de programación, y STXMST.FOR en Lenguaje Fortran, ambos de Microsoft. Finalmente, se ha hecho un "link" de ambos programas, el programa STXMST.FOR como una rutina externa de RADARC.C, produciéndose el ejecutable "RADARC.EXE". Para fines descriptivos trataremos ambos programas en forma independiente.

a) Programa RADARC.C.

El objetivo de este programa es realizar, por defecto, la lectura del archivo denominado "panel.dat", (al que denominaremos simplemente panel), mostrarlo en la pantalla de la PC, permitir su edición, salvar dicha edición al archivo por defecto o salvarlo con otro nombre si así se desea, realizar la transferencia de los datos preparados por la rutina STXMST.FOR para transmitirlos a través del puerto serial de la PC al CR, para generar los pulsos de transmisión y muestreo necesarios para los experimentos que utilicen el Radar Antártico MST del Perú, hacer un gráfico visual en la pantalla de la PC del patrón de pulsos a generar, es decir se verá el mismo patrón de pulsos que se observará en el osciloscopio una vez programado el CR.

b) Programa STXMST.FOR.

El objetivo de esta rutina es interpretar los comandos especificados en el panel. La especificación de los comandos en un determinado panel permiten, a la rutina, generar los datos que deberán escribirse en cada una de las memorias recirculantes, así como también de la frecuencia de muestreo. La rutina genera dichos valores y los escribe en el archivo "entrada.dat", también escribe los comandos que, por hardware, el CR necesita para prepararlo a recibir

los datos. Los valores, escritos en el archivo "entrada.dat", son utilizados por el programa RADARC.C para transmitirlos al CR.

2.4. Sistema de Adquisición y procesamiento de datos.

2.4.1. Requerimientos.

Las características de velocidad de producción de datos en un radar VHF perfilador de vientos, implica contar con un sistema de adquisición y procesamiento de datos que se acomode a estos requerimientos. Podemos mencionar:

- Adquisición de datos a alta velocidad, del orden de 1 MSPS, que debe ser inferior a la de los convertidores A/D.
- Velocidad de procesamiento del orden de 1.5 MFLOPS, manipulando aproximadamente 0.5 MBytes de datos por segundo.
- Gran capacidad de almacenamiento de datos, del orden de 150 MBytes/día.

2.4.2 Soluciones.

La adquisición de datos se lleva a cabo con dos convertidores A/D de 8 bits, con una velocidad de 3 MSPS. El procesamiento de datos que se realiza es básico y consiste en implementar un algoritmo de integración coherente "on-line". Esta tarea se realiza con una tarjeta procesadora de señales (DSP) con el DSP32C de AT&T. La velocidad de procesamiento que ofrece esta tarjeta es de 25 MFLOPS. El almacenamiento de datos se realiza con la ayuda de una unidad de lectura-escritura de discos ópticos (WORM). La unidad es controlada desde la PC. La capacidad de almacenamiento de cada disco es de 1 GByte, lo que significa, aproximadamente, 6.5 días de toma de datos con el instrumento.

2.4.3. Integración del sistema.

El sistema está basado en una PC 486/33 MHz (ver figura 2), sobre la cual están montadas la tarjeta DSP y los manejadores de periféricos internos y externos (p.e. controlador de la unidad de discos ópticos), así como la interfase paralelo serie ADC's - DSP. El sistema de Adquisición de datos es externo, y en él están montados los convertidores A/D con su fuente de alimentación propia. El sistema PC cumple las siguientes tareas:

- Programación del Controlador de Radar,
- Programación del DSP,
- Transferencia de datos,
- Almacenamiento en WORM y
- Producción de reportes.

2.4.4. Programación del sistema.

El programa principal que gobierna el sistema, está escrito en lenguaje C de programación, y realiza llamadas a rutinas escritas en C y FORTRAN. El programa que ejecuta la tarjeta DSP, está escrito en lenguaje Ensamblador para el DSP32C. Ambos programas, el principal y el del DSP, se ejecutan en paralelo, uno sobre

la PC y el otro sobre la tarjeta DSP.

2.4.5. Sistemas complementarios.

La PC se encuentra conectada a una SUN Workstation a través de una Ethernet. Después de escribir en disco óptico los datos, la PC envía todos los datos a la Workstation. La SUN Workstation, realiza el procesamiento de los datos en tiempo real y almacena los resultados y los datos, recibidos de la PC, en cintas Exabyte. Cada cinta tiene una capacidad de 2 GBytes. Además, la Workstation, produce reportes gráficos "en tiempo real", en forma de perfiles de viento. Se utiliza una Ethernet para no distraer la CPU de la PC. El protocolo utilizado es el normal, para archivos DOS-UNIX con el paquete PC-NFS.

2.4.6. Sistema futuro.

El sistema mejorado, que se piensa llevar el próximo verano, contará con cuatro canales complejos de entrada. Dos DSP's se encargarán, uno de la Integración Coherente y Decodificación, y el otro, del cálculo de espectros de potencia. Con este nuevo sistema sólo será necesario almacenar datos procesados, dejándose de grabar los datos crudos. Los perfiles de viento en tiempo real se producirán con la PC.

DIAG. DE BLOQUES DEL SISTEMA DE CONTROL Y PROCESAMIENTO DE DATOS

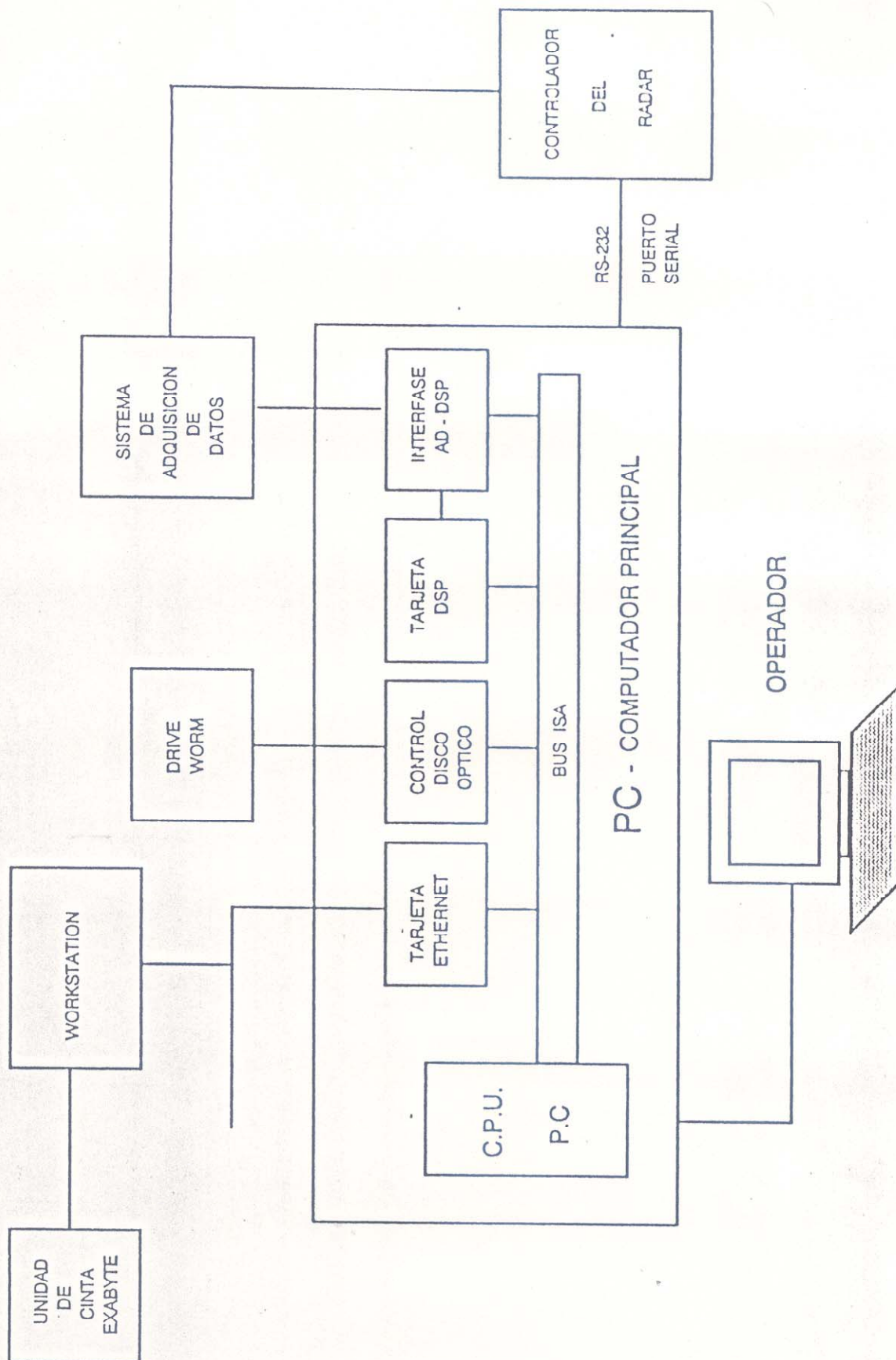


Fig. 2