

EL RADAR MST: UNA TECNOLOGIA NACIDA EN EL PERU

Dr. Ronald Woodman P.

15.1.89

Cuando se habla de transferencia de tecnologías, se piensa, casi exclusivamente, en un proceso de transferencia de éstas de países desarrollados a países en desarrollo. El propósito de este artículo es informar un caso excepcional, en el que la transferencia se ha hecho en sentido contrario, específicamente del Perú a países como Estados Unidos, Alemania Federal y Japón.

Podemos añadir que las tecnologías que se transfieren de los países desarrollados a los en desarrollo, generalmente no están comprendidas en el grupo de "Altas Tecnologías" -en las que el grado de innovación es muy alto y sofisticado, e.g. ingeniería genética, miniaturización electrónica, técnicas espaciales, fusión nuclear, etc.- sino más bien en el de tecnologías ya conocidas durante muchos años en los países industrializados, como por ejemplo, tejidos, resinas, industrias mecánicas, etc. El caso que queremos informar se destaca además por tratarse de tecnologías de alto nivel, ya que se involucran técnicas de radar del tipo Doppler, capaces de medir velocidades con precisiones de centímetros por segundo y técnicas avanzadas de procesamiento con computadoras en tiempo real.

La historia que nos atañe comienza formalmente con una publicación aparecida en el **Journal of Atmospheric Sciences** de Marzo de 1974, escrita por dos peruanos: el autor de esta nota, Dr. Ronald F. Woodman P. y el Ing. Alberto Guillén, bajo el título "*Radar Observation of Winds and Turbulence in the Stratosphere and Mesosphere*", (Observaciones de Vientos y Turbulencia en la Estratósfera y Mesósfera por Medio de Radar). El artículo reportaba, como el título lo indica, las primeras mediciones hechas desde tierra, por medio de radares, de los vientos y procesos turbulentos, a alturas entre los 15 y 85 km. de altura. Lo novedoso del artículo eran las alturas involucradas. Anteriormente se habían utilizado radares para mediciones similares, pero en alturas diferentes, hasta cierto punto más fáciles de lograr. Ya se habían utilizado radares para

medir los vientos y la precipitaciones (lluvia, nieve, granizo) a alturas troposféricas, esto es hasta unos 15 km. (20 km. en casos excepcionales), altura en la cual perdían su sensibilidad, pues a ese nivel el aire es demasiado seco y no soporta condensación de vapor de agua, el cual, cuando se encuentra en estado líquido o sólido, es responsable de los ecos recibidos por los radares utilizados.

Técnicas de radar habían sido usadas también para medir una serie de parámetros físicos a alturas mayores a los 85 km. Estas alturas son parte de la ionósfera, y si bien a estas alturas la atmósfera se encuentra enrarecida (más que en los vacíos más perfectos que podamos encontrar en el laboratorio), los radares potentísimos, especialmente contruidos para este propósito, pueden recibir ecos provenientes de electrones libres existentes en esta. Su existencia se debe a que a partir de unos 60 km. de altura, la radiación ultravioleta y rayos-X, emitida por el Sol, es capaz de ionizar las pocas moléculas de aire que se encuentran a estas alturas, produciendo un ion y un electrón libre por cada molécula impactada. No se necesitan muchos de estos últimos (¡sólo unos 10, 000 por cm^3 !) para producir ecos de radar, cuando tienen una potencia como la del radar de Jicamarca.

Casualmente, el *Radar de Jicamarca*-ubicado en la quebrada seca de la cual toma su nombre-fue construido para este propósito. Este se encuentra a unos 15 Km. de Lima y fue el primero en su clase. Aún hoy en día existen apenas una media docena de radares que compiten con él en potencia (6 megavatios), y tamaños de antena (300 metros por 300 metros de lado), sin superarlo.

Pues bien, por un lado teníamos los radares meteorológicos capaces de observar los fenómenos meteorológicos hasta una altura de 15 Km. y por otro, los ionosféricos, como el de Jicamarca, para estudiar la ionósfera por encima de los 85 Km. La zona, comprendida entre los 15 y 85 Km. era tierra de nadie; de allí la importancia del artículo mencionado anteriormente.

La región por encima de los 15 Km. se hacía difícil de observar por la falta de vapor de agua condensado y por el enrarecimiento de la atmósfera. Las alturas menores a 85 Km. eran difíciles por la carencia de suficientes electrones libres que pudieran producir ecos suficientemente intensos para ser detectados, aún con la gran sensibilidad de los radares ionosféricos.

El éxito de Woodman y Guillén se debió en parte a la implementación de un sistema de procesamiento digital que fue capaz de "extraer" las señales muy débiles recibidas de las alturas involucradas; y por otro lado, al aprovechamiento de la existencia de turbulencia, la que aumenta la intensidad del eco por un mecanismo que explicaremos a continuación.

La técnica desarrollada en Jicamarca 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 de éste. 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 de el tanque de combustible de un automóvil cuando se le echa gasolina. En ese 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 índices de refracción.

La técnica peruana para estudiar la alta atmósfera, consiste en iluminar a ésta con un haz concentrado de ondas de radio, emitidas a una frecuencia de 50 Mega-hertz, con una potencia de 6 Megavatios, como la que es capaz de desarrollar el Radar de Jicamarca. 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 la atraviesa sin dificultad, pero con excepción de una pequeñísima fracción que es dispersada en todas direcciones por las fluctuaciones en índice de refracción que mencionáramos antes. Una fracción menor -cercana a la billonésima de la billonésima de la potencia transmitida- incide nuevamente en la misma antena que la emitió.

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 las velocidades 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 en recibir el eco, se miden en microsegundos, lo que impone grandes demandas en el equipo digital responsable de su muestreo y procesamiento.

Para apreciar el impacto producido por la nueva técnica desarrollada en el Radio Observatorio de Jicamarca -Instituto Geofísico del Perú- en la comunidad científica internacional, hay que tomar en cuenta que no solamente se había ganado una nueva región para la aplicabilidad de técnicas de radar, sino también que se había logrado medir vientos con una precisión y continuidad nunca antes lograda. La técnica es capaz de medir perfiles de velocidad de vientos con una precisión de centímetros por segundo, y puede producir continuamente un nuevo perfil cada minuto. La alta frecuencia de medición permite hacer estudios de la dinámica de las ondas que se manifiestan a estas alturas. Casualmente, la publicación mencionada anteriormente, y otras que la siguieron, ponían en evidencia la existencia de ondas cuya amplitud y frecuencias eran desconocidos, dado que se medían por primera vez.

Los primeros en interesarse en la nueva técnica fueron un grupo de científicos del Max-Planck-Institut für Astronomie, de la República Federal Alemana, y otro de la National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA), de los E.E.U.U. Los primeros decidieron, casi de inmediato, construir un instrumento igual usando la nueva técnica y como primer paso -al igual que en todo proceso de transferencias de tecnologías- enviaron científicos y técnicos al Radio Observatorio de Jicamarca para aprender sobre la técnica y llevar a cabo algunos experimentos de adiestramiento. El Max-Planck tiene ahora un radar, especialmente construido para usar la técnica peruana, enclavado en las montañas del Harz en la frontera con la República Democrática Alemana y del cual presentamos una ilustración. El grupo de la NOAA construyó un primer radar en el valle de Sunset cerca de Boulder, Colorado, el primero de una serie que incluiría construir otros en el mismo Colorado (Sunset y Plattsville), en Alaska (Poker Flat), y en dos islas en la Polinesia (Ponape, Isla Pascua).

Otro grupo que mostró gran entusiasmo por la técnica, desde su inicio, fue el grupo de científicos y profesores de la Universidad de Kyoto, quienes han construido el radar más espectacular para este propósito en Shigarashi, Japón, a un costo del orden de los 10 millones de dólares (ver grabados). Al igual que el grupo alemán, un grupo de científicos japoneses, visitó el Observatorio de Jicamarca en diversas oportunidades para recoger nuestras técnicas y llevar a cabo experimentos de entrenamiento.

Algunos de los grandes radares ya existentes para el estudio de la ionósfera, han sido modificados para poder usar la nueva técnica. Entre ellos tenemos el radio-telescopio gigante de Arecibo, Puerto Rico, un instrumento compartido por todas las Universidades de los E.E.U.U., y el radar de Millston Hill, de la Lincoln Radiation,

Laboratories (cerca de Boston, Massachusetts). Los franceses modificaron su observatorio en Saint Satin y han construido uno nuevo del tipo ST.

Países no muy desarrollados como la República China de Taiwán, ha adquirido un sistema producido comercialmente como instrumento de investigación para su Universidad Nacional. Precisamente uno de sus científicos visitará el próximo año, por unos meses, el Observatorio de Jicamarca, en un programa de entrenamiento.

Es muy probable también que en el Perú se instale un segundo radar del tipo ST. La Universidad de Piura está en negociaciones con la NOAA, la Universidad de Colorado y el Instituto Geofísico del Perú para la instalación de un radar ST, como parte de una cadena en el pacífico ecuatorial para el estudio de los vientos en esta región, de gran importancia en el comportamiento del Fenómeno del Niño.

Hemos mencionado que la Universidad Nacional de Taiwán está adquiriendo un radar ST comercialmente. Este fue construido por Tycho Co., compañía que ha sido comprada por Vaisala Inc., una de las compañías internacionales más grandes en el suministro de instrumentos meteorológicos en el mundo. Otra Cía. que ofrece radares MST comercialmente, es la Radias Co, quien ofrece un sistema basado en el sistema construido por el Max-Planck-Institut, quien le ha vendido tecnología adquirida en el Perú unida a la propia desarrollada en los últimos diez años.

La técnica desarrollada en Jicamarca ha pasado entonces de ser un instrumento científico a convertirse en un producto comercial. El interés de las Cías. comerciales estriba en las expectativas que éstas ven en que el instrumento se use operacionalmente en una red conformada por estos instrumentos para reemplazar a las estaciones convencionales de lanzamiento de globos meteorológicos. Las posibilidades de medir el viento a todas las alturas, minuto a minuto, tiene aplicaciones de gran impacto económico como lo es el control del tráfico aéreo, seleccionando rutas y alturas con vientos favorables, con el consiguiente ahorro (en millones de dólares) de combustible. Se está hablando también de la construcción de radares de este tipo en las bases de lanzamiento de grandes cohetes, como la de Cabo Cañaveral y Waldenberg, Co. Se cree que grandes cizallamientos en el perfil de velocidades (velocity shears) pueden producir grandes esfuerzos en las estructuras de los cohetes, y que el accidente sufrido por el Challenger bien se puede deber, aparte del problema del sello de junta defectuoso, a la ocurrencia de uno de estos cizallamientos durante el lanzamiento.

¿Qué lección podemos aprender de esta historia?

Primero que es posible producir "Altas Tecnologías" en el Perú, tecnologías que pueden ser eventualmente comercializadas a nivel internacional. Todo lo que es necesario es programas de investigación en la frontera de los conocimientos a nivel internacional. Si historias como la nuestra no suceden muy a menudo, es porque en el Perú no hay suficiente investigación o investigación del nivel requerido. La investigación requiere de cuatro factores:

- 1) El factor humano: hombres con conocimientos profundos en los diferentes campos de la ciencia y tecnología.
- 2) Instrumentación adecuada.
- 3) Insumos.
- 4) Infraestructura administrativa.

Lo primero es tal vez lo que más nos acompleja, pero hay que tener presente que la especie humana, Homo Sapiens, es una sola y que el peruano es miembro de esa especie. Nadie tiene el monopolio de materia gris. Por otro lado, la inteligencia humana debe ser cultivada y educada, y mientras nuestras Universidades no ofrezcan cursos de post grado, estaremos limitados a educar sólo a unos cuantos en el exterior, muchas veces sin llegar a una masa crítica necesaria.

El segundo y tercer factor dependen de capital y financiación, que en países como el nuestro se pueden lograr, salvo excepciones, sólo a nivel estatal. La investigación es cara y son pocas las empresas que pueden financiar programas de nivel adecuado. El estado SI TIENE esta capacidad, desafortunadamente no hay voluntad de gasto, por razones equivocadas de prioridad.

Con respecto al cuarto factor se necesita infraestructura, pero una infraestructura que funcione. Aquí nuevamente, las infraestructuras existentes, Universidades e Institutos, al ser estatales, tienen dificultades de operación por una serie de regulaciones diseñadas a controlar la honradez de sus funcionarios, pero que no permite un funcionamiento eficiente.

Dentro de infraestructura está la legislación vigente. Aún la empresa privada está limitada por la legislación existente. Tenemos como ejemplo las leyes y reglamentos de importación: se necesita importar un insumo y hay que esperar meses para que un Ministerio se pronuncie en el sentido que éste no se produce en el país. Y no hay actividad que necesite más de la importación que la investigación.

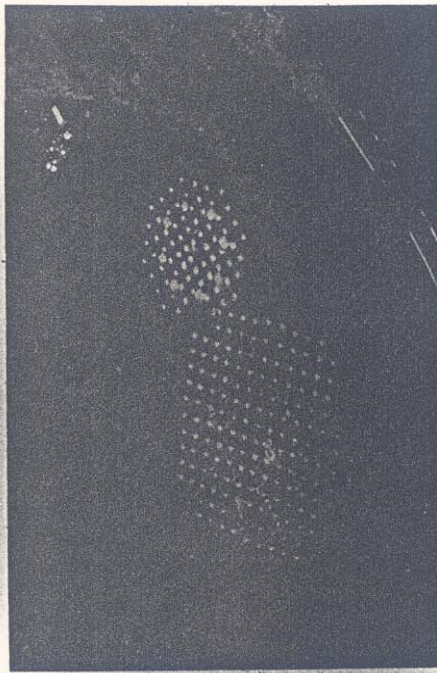
La legislación vigente afecta también al factor humano, dado que no le permite le permite al estado -principal empleador del investigador- pagar salarios competitivos. El científico y el técnico de alto nivel gozan de un mercado internacional. Así como no esperamos que nuestros grandes futbolistas jueguen en el Perú, o por el Perú, a menos que les paguemos lo que valen, tampoco podemos esperar -porque así lo limita arbitrariamente la Ley- que nuestros mejores técnicos y científicos trabajen en el Perú por salarios que no corresponden a su capacidad.

¿Cómo así, entonces, logró el Instituto Geofísico del Perú tener éxito en uno de sus programas de investigación? Por gozar de una situación de privilegio: contar con ayuda extranjera. La ayuda extranjera le permitió contar con los tres primeros factores. Preparó sus científicos en las mejores Universidades del extranjero, haciendo uso de becas y ganancias de proyectos con auspicio exterior. Contaba con el Observatorio de Jicamarca, el cual fue donado al Instituto por la (hoy en día) NOAA el año 1969, y con los insumos necesarios a través de un convenio con la NSF, quien donaba todos los insumos que fueran requeridos y que no se pudieran conseguir en el país. Con esto no queremos decir que ésta es la fórmula a seguir, aunque sí lo sería si reemplazamos "la ayuda extranjera", por "la ayuda peruana".

Con respecto a la infraestructura administrativa, podemos decir que el éxito se logró a pesar de ella. Probablemente porque el Instituto Geofísico gozaba en sus comienzos de mayor autonomía, casi la autonomía de una empresa privada, la que se ha ido perdiendo día a día, debido a su dependencia, cada vez mayor, de los fondos del Tesoro, y por ende de las normas de austeridad y de las leyes recientes de presupuesto que parecen diseñadas a prohibir la investigación.

Introducing CAPSONDE

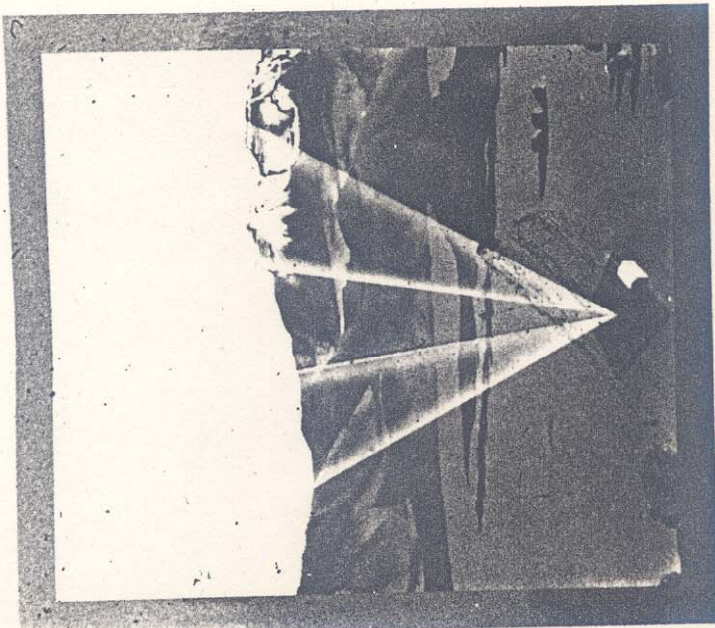
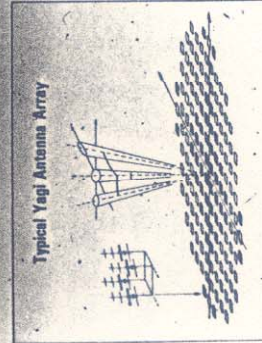
An integrated VHF/UHF Continuous Atmospheric Profiler radar system for remotely probing the structure and dynamics of the middle and lower atmosphere



CAPSONDE Features

- VHF/UHF operation
- Variable element Yagi antenna array
- Peak power to 600 KW
- Power aperture products to 8×10 Wm
- Duty cycle 6.4%
- Pulse lengths from 0.5 - 100 μ s
- Proprietary pulse coding

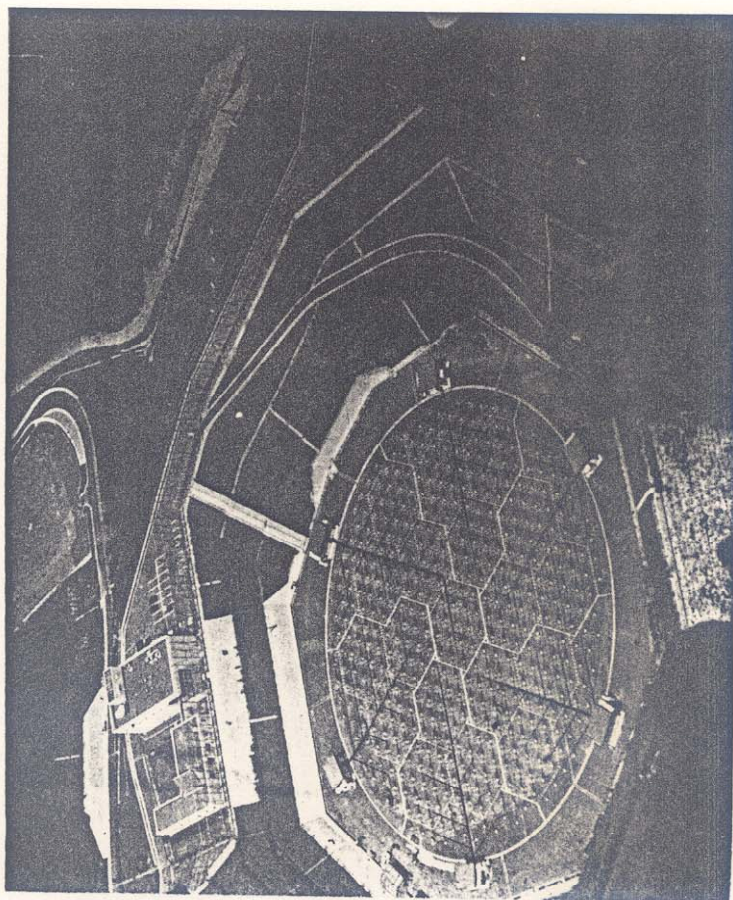
RADIAN
CORPORATION



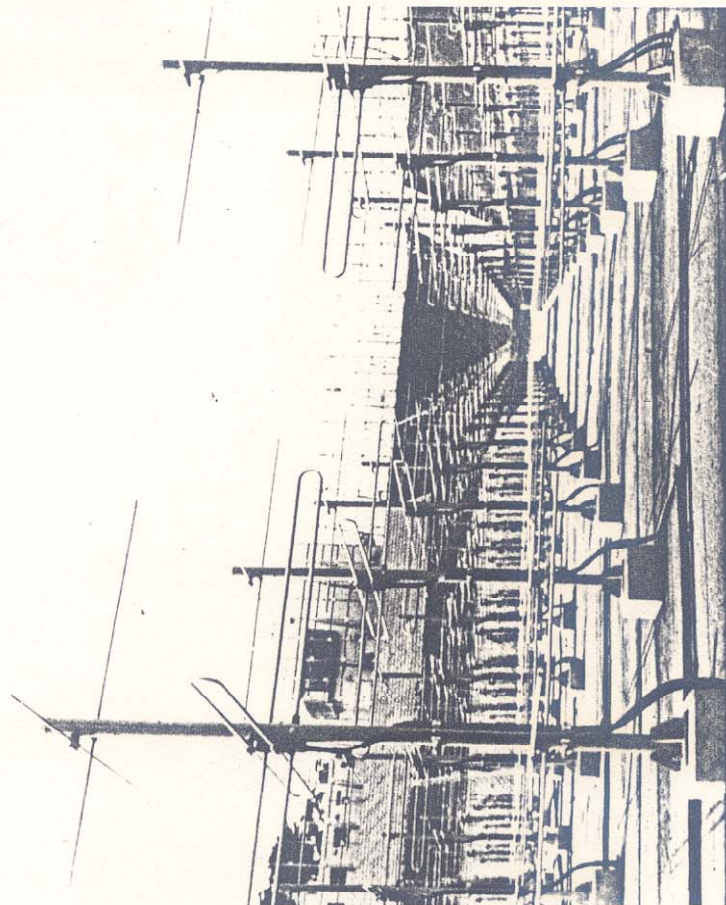
THE WINDPROFILER™ RADAR



DOS RADARES QUE SE OFRECEN COMERCIALMENTE POR LA VAISALA Y LA RADIAN CO.



EL MU-RADAR CONSTRUIDO EN SHIGARAKY
POR LA UNIVERSIDAD DE TOKIO, JAPON.



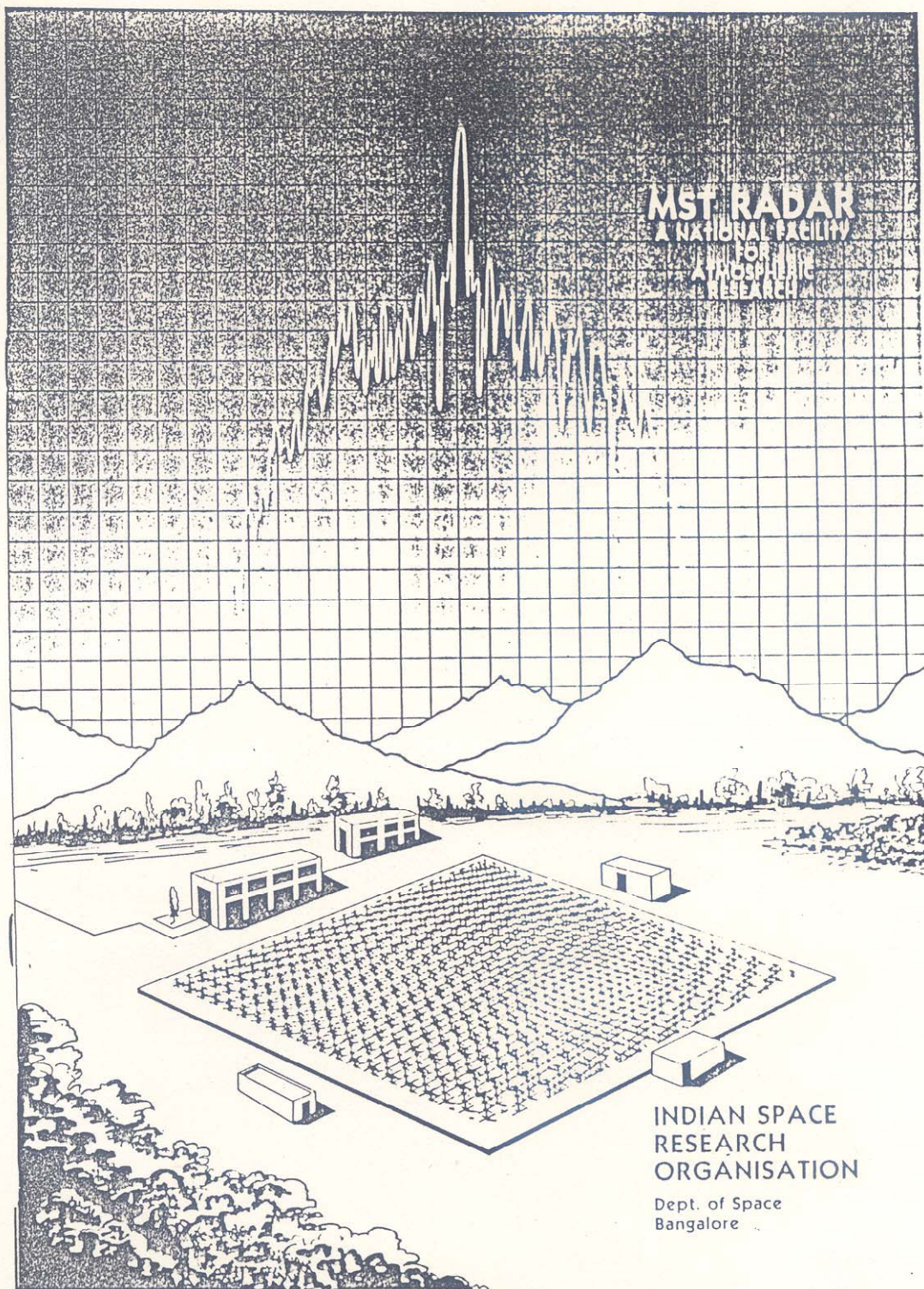
VISTA DEL ARREGLO DE ANTENAS
DEL MU - RADAR .



VISTA DEL ESPEJO REFLECTOR DEL RADAR DEL
OBSERVATORIO DE ARECIBO, PUERTO RICO .



VISTA DEL RADAR MST, POKER FLAT, ALASKA. PARTE DE
ESTOS EQUIPOS HAN SIDO TRASLADADOS A PIURA, PERU.



RADAR A SER CONSTRUIDO POR LA ORGANIZACION
NACIONAL DEL ESPACIO DE LA INDIA .