



**INAOE**

**Instituto Nacional de Astrofísica,  
Óptica y Electrónica.**

**Mediciones preliminares del patrón de  
interferencia en el sitio del GTM.**

**REPORTE TECNICO**  
COORDINACION DE ASTROFISICA

**José Eduardo Mendoza Torres**  
mend@inaoep.mx

**Abril 2003**

©INAOE 2003

Derechos Reservados

El autor otorga al INAOE el permiso de reproducir y distribuir copias de este reporte técnico en su totalidad o en partes mencionando la fuente.



# Mediciones preliminares del patrón de interferencia en el sitio del GTM

Reporte Técnico

José Eduardo Mendoza Torres  
mend@inaoep.mx

Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica  
Coordinación de Astrofísica

Abril 2003

### Resumen

El constante desarrollo de la tecnología ha permitido que las comunicaciones abarquen más y más frecuencias de radio. Por otro lado, algunas bandas de ondas de radio se han asignado para uso exclusivo de la Astronomía y otras son de uso prioritario para la Astronomía pero compartidas con algunos otros servicios.

Los radiotelescopios, debido a su alta sensibilidad, pueden captar señales de muy diversos emisores. En estos se incluyen transmisores de telecomunicaciones así como emisiones producidas por la industria. Para que estas señales no interfieran con las señales de objetos celestes es necesario identificar las direcciones de las que proceden así como también identificar sus frecuencias principales de emisión. Existen reglamentos para el uso de las bandas de radio tanto a nivel nacional como mundial. En este reporte damos información acerca de los organismos encargados de regular el uso de las bandas de radio y también reportamos los primeros resultados de mediciones del patrón de interferencia (la amplitud de la interferencia como función de la dirección) en Sierra Negra, sitio en el que se está construyendo el Gran Telescopio Milimétrico (GTM).

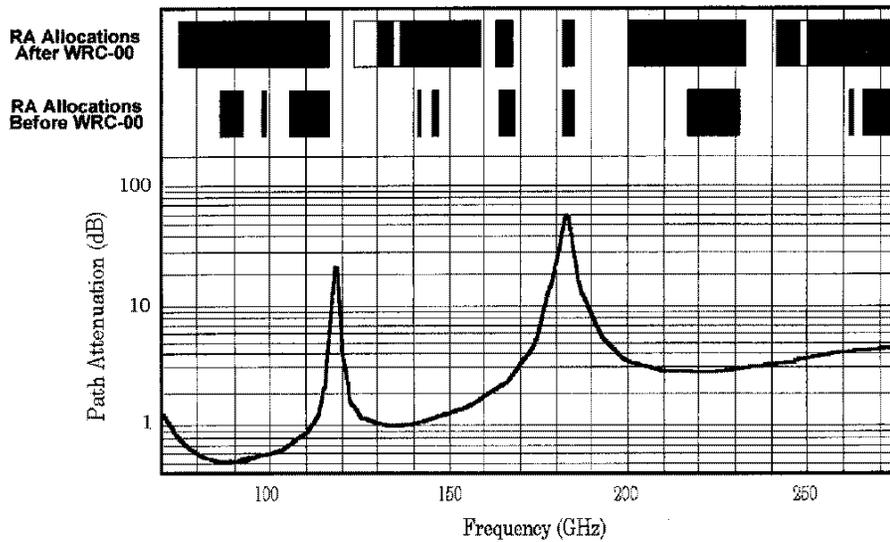


Figure 1: Espectro de absorción de la atmósfera y bandas asignadas a la Astronomía.



Figure 2: Mapa de México en el cual se denota la ubicación del GTM (con las letras LMT, por sus siglas en inglés). Figura tomada de <http://www.lmtgtm.org/>.

## Introducción

En la actualidad se emplean muy diversos instrumentos que emiten ondas de radio. En cualquier lugar en el que uno se encuentre habrá radioondas llegando continuamente, desde diversas direcciones y en una gran diversidad de frecuencias. Los teléfonos celulares, por ejemplo, son usados ampliamente en todo el mundo y también a lo largo y ancho de la República Mexicana. A diferencia de los celulares y otros instrumentos de telecomunicaciones, los radiotelescopios solo captan, pero no emiten, por lo cual se les llama instrumentos pasivos. Paradójicamente, los radiotelescopios son instrumentos pasivos pero son los instrumentos más sensibles que hay actualmente en la Tierra para captar ondas de radio.

El flujo de energía (que recibimos en la Tierra) de las transmisiones terrestres y de satélites es muy alto comparado con el de los objetos celestes. A pesar de las leyes regulatorias en ocasiones ocurren transmisiones que no cumplen con las normas establecidas y en ocasiones dichas señales producen intenso ruido en observatorios cercanos. Por eso se tienen sistemas de monitoreo para medir el espectro de interferencia (amplitud de las interferencias como función de la frecuencia) o bien el patrón de interferencia en algunas frecuencias dadas y así identificar las posibles fuentes de dichas interferencias. Con estos sistemas se pueden identificar señales que no estén en frecuencias permitidas o que emiten en bandas más anchas que las establecidas o cuya potencia es mayor a la dictada por las normas. Es conveniente medir reg-



Figure 3: Sierra Negra en primer plano y el volcán Citlatépetl, el más alto de México. Fotografía tomada de <http://www.lmtgtm.org/>.

ularmente el espectro de interferencia en cada radioobservatorio, ya que las interferencias pueden disminuir la calidad de los datos observados.

Estudios sobre posibles fuentes de interferencia en la zona del Gran Telescopio Milimétrico (GTM) son importantes para evitar, en lo posible, pérdidas en la calidad de los datos observacionales.

## Organismos de Regulación

En México la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL) es la encargada de regular el uso de las diferentes bandas de radio. Hasta ahora a nivel internacional el uso de las bandas se regula en el rango de 9 kHz a 275 GHz. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, International Telecommunication Union) es la encargada de dicha regulación a nivel mundial.

Para discutir y decidir la asignación de las bandas de radio la ITU lleva a cabo, desde 1993, una reunión cada dos o tres años (WRC, World Radiocommunication Conference) a la que son convocados todos sus miembros. La ITU cuenta con 185 países miembros y cada país representa un voto. A los acuerdos que se toman se les llegan a poner "notas" que pueden ser recomendaciones o puntos para ser tratados en futuras reuniones. La última reunión de la ITU se llevó a cabo en Estambul, Turkía (WRC-00) y la próxima se llevará a cabo en Ginebra, Suiza (WRC-03). La WRC-00 contó con la pres-



Figure 4: Radiotelescopio solar del INAOE en su montura original.

encia de más de 2000 delegados de 150 países, de 326 observadores y en ella participaron 17 radioastrónomos.

A partir de la Fig. 1 podemos tener una idea de la cantidad de bandas asignadas a la Astronomía. En el eje de las abcisas (eje x) se dan los valores de la frecuencia y en el eje de las ordenadas (eje y) de la atenuación. La curva continua muestra la atenuación atmosférica. En la parte superior se denotan con barras las bandas asignadas a la Astronomía antes de la WRC-00 (barras inferiores) y después de la misma (barras superiores).

Las resoluciones de la ITU resultan en tratados internacionales que son enviados a la ONU. Sin embargo, los países son soberanos, dentro de sus límites territoriales, en el uso del espectro. Para la asignación de las bandas el mundo se divide en tres regiones. Todo el continente americano se encuentra en la región 2. México y Estados Unidos comparten zonas de iluminación de muchos satélites geoestacionarios. Además algunos radioobservatorios de Estados Unidos se localizan en el sur de su territorio. Por ello los astrónomos estadounidenses y mexicanos compartimos el mismo interés en conservar las



Figure 5: Antena en una montura para girarla en azimuth.

zonas comunes libres de interferencias.

En Estados Unidos el uso de las bandas de radio es regulada por la Federal Communications Commission (FCC). Por otro lado, la National Telecommunications and Information Administration (NTIA) asesora al presidente para desarrollar políticas internas y externas de telecomunicaciones. La NTIA hace estudios y recomendaciones para la asignación de bandas en Estados Unidos y es la agencia responsable del uso de las bandas del gobierno. El Committee on Radio Frequencies (CORF) es un comité del National Research Council (NRC) que estudia la necesidad y pertinencia en la asignación de bandas en ciencias exactas y aplicadas. A partir de las resoluciones tomadas en la CORF, esta hace las correspondientes recomendaciones a la FCC. Investigadores del INAOE hemos asistido a varias reuniones de la CORF y desde hace varios años tenemos contacto con ellos para colaborar en la preservación de las bandas de la Astronomía.

## Mediciones en Sierra Negra

El GTM se está construyendo en la cima del volcán Sierra Negra, un lugar con alta transparencia atmosférica en longitudes de onda milimétricas. Sierra Negra está en el sur de la República Mexicana a aproximadamente 200 km de la ciudad de México y a aproximadamente 100 km de la ciudad de Puebla (Fig. 2). El volcán Sierra Negra tiene una altura de 4600 msnm y está ubicado a 7 Km del volcán Citlaltépetl, el más alto de México, cuya

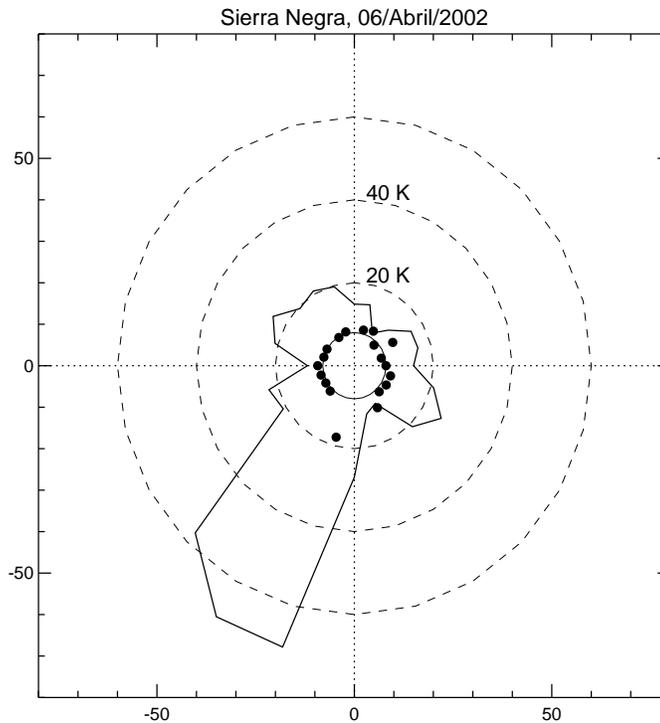


Figure 6: Patrón de interferencia obtenido de las mediciones de la mañana.

altura es de 5700 msnm. La foto de la Fig. 3 fue tomada aproximadamente hacia el Norte. Se puede ver que el volcán Citlatépetl está del lado derecho de Sierra Negra, lo que corresponde al Noreste.

Al Este de Sierra Negra está una zona montañosa que separa dos zonas con diferentes alturas sobre el nivel del mar. La zona Este está a aproximadamente 1100 msnm mientras que la zona Oeste a más de 2000 msnm. Esta diferencia produce una barrera natural a las posibles emisiones procedentes de Orizaba, Cordoba y otras ciudades ubicadas al Este.

Actualmente el INAOE cuenta con un pequeño radiotelescopio solar (RT-1) que opera en una frecuencia de 9 GHz con un ancho de banda de 200 MHz. En la Figura 4 se muestra el radiotelescopio en su montura original. El receptor y la antena de este instrumento se emplearon para hacer mediciones del patrón de interferencia en el sitio del GTM. La antena se colocó sobre una base que permitía, de una manera sencilla, girarla en azimuth (Fig. 5).

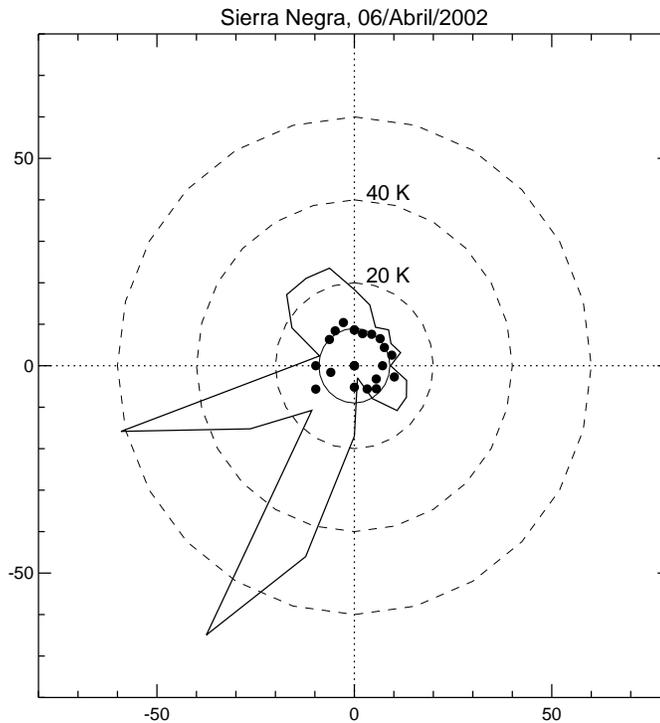


Figure 7: Patrón de interferencia obtenido de las mediciones de la tarde.

Se colocó a una elevación de  $15^\circ$  y se hicieron mediciones sobre el horizonte con intervalos de  $15^\circ$  en azimut. Se hicieron dos series de observaciones, una en la mañana y otra en la tarde.

## Resultados

En las Figs. 6 y 7 se muestran, en coordenadas polares, las amplitudes de las señales registradas en la mañana y en la tarde, respectivamente. El Oeste está a la izquierda y el Este a la derecha mientras que el Norte está en la parte superior y el Sur en la parte inferior. De los resultados se ve que, en el patrón de interferencia de la mañana, la señal más intensa proviene del Sur-Oeste. En temperatura de antena dicha señal sobrepasa los 60 K. Para las mediciones hechas en la tarde se ve una situación diferente ya que aparece una nueva fuente de emisión casi al Oeste. Comparando los diagramas de las Figs. 6 y 7 con mapas de la zona se encuentra que la región de mayor emisión

coincide con la dirección en la que se ve, desde Sierra Negra, la ciudad de Esperanza. En la Fig. 8 dicha dirección se denota por la flecha más larga. La otra flecha denota la dirección en la que se registró la señal adicional de la tarde.

La señal registrada en la mañana parece provenir de una región muy extendida (aproximadamente 30 grados) por lo que probablemente sean varias fuentes. Las dos regiones de emisión registradas en la tarde parecen ser más angostas. La región del Sur-Oeste se ve, al igual que en la observaciones de la mañana, hacia la ciudad de Esperanza. La región de interferencia que aparece casi al Oeste coincide con la dirección en la que se ve, desde Sierra Negra, la ciudad de Tecamachalco. La fuente de esta interferencia parece ser más angosta y esto probablemente indique que se trata de una sola fuente o bien varias fuentes ubicadas muy cercanas entre sí.

Es conveniente recordar que las observaciones se hicieron en una frecuencia de 9 GHz. Debido a que las frecuencias más usadas en las comunicaciones actualmente están a frecuencias menores a 1 GHz es posible que estemos registrando armónicos de la frecuencia principal de emisión.

## Trabajo Futuro

Los resultados mencionados anteriormente dejan ver la necesidad de determinar la ubicación de las fuentes así como la frecuencia principal de emisión. Por eso, tenemos planeado llevar a cabo mediciones con una mayor resolución espectral y en diferentes bandas. También se tendrán que hacer mediciones simultáneamente en dos lugares para poder triangular y así identificar la ubicación de las fuentes de las señales. Para esta tarea hemos solicitado la colaboración de la COFETEL que tiene ingenieros con mucha experiencia en la medición de interferencia y del ruido electromagnético. Para dichas mediciones se emplean las unidades llamadas decibeles (dB) o bien otras unidades relacionadas a ellos.

Para nuestro análisis primero calculamos la densidad de flujo de la señal siguiendo el método que usualmente empleamos en el radiotelescopio solar. Para ello usamos observaciones del Sol y calculamos la relación entre la densidad de flujo ( $watts\ m^{-2}\ Hz^{-1}$ ) y la temperatura de antena (K). A partir de dicha relación hacemos una estimación de la potencia recibida por la antena. Todo el proceso se describe a continuación.

En la Fig. 9 se muestra la curva trazada por el paso del Sol en el registro analógico del Radiotelescopio Solar. Para pasar de unidades del registro, ya sea milímetros (en el registro analógico) o volts (en el digital) se emplean

señales cuya temperatura es conocida. En este caso empleamos la señal de la mano como señal de referencia y como nivel cero la señal del cielo (indicado por una línea recta en la parte inferior de la Fig. 9). A partir del registro de la señal de la mano y de su temperatura, el cual es un valor conocido (aproximadamente  $36^{\circ}$  C, es decir aproximadamente 309 K), calculamos la temperatura de antena del máximo en la curva del Sol.

Durante aproximadamente un mes hicimos varios barridos diarios del Sol, como el de la Fig. 9. Debido a la actividad solar el máximo de la curva puede variar de un momento a otro. El valor más bajo (de entre los registrados un mismo día) es el que más se aproxima al nivel del Sol quieto.

En la Fig. 10 se muestra una gráfica con los valores de los flujos del Sol quieto (círculos negros) registrados en varias radiofrecuencias en el observatorio de Learmonth, Australia. Con un círculo blanco se denota el flujo que le correspondería a la frecuencia del RT-1. Las unidades del eje de las ordenadas son Unidades de Flujo Solar (SFU, por sus siglas en inglés). Una SFU es  $10^{-22} \frac{\text{watts}}{\text{m}^2 \text{ Hz}}$

La diferencia entre la hora de Learmonth y la de Tonantzintla es de casi medio día y en ese tiempo la actividad solar puede variar considerablemente. Para evitar usar señal cuyo nivel no correspondiera al del Sol quieto comparamos las horas en las que registramos la señal del Sol más baja con los datos de varios observatorios. Con base en dicha comparación seleccionamos los valores que registramos en intervalos de tiempo en los que no se reportaron ráfagas.

En la Fig. 11 se muestran (con círculos negros) las temperaturas de antena registradas en los días en los que, de acuerdo a reportes de varios observatorios, no hubo actividad solar notable. Con círculos blancos se muestran los flujos registrados para el Sol quieto en Learmonth. Como puede verse, de esta figura la correlación entre el flujo del Sol quieto registrado en Learmonth y la temperatura de antena medida en Tonantzintla es alta pero, la temperatura de antena registrada el cuarto día de observaciones es considerablemente mayor a las de los otros días. Esto podría ser resultado de que la actividad solar no hubiera decaído totalmente al momento de nuestras observaciones.

A partir de los datos de la Fig. 11 calculamos, con una regresión lineal, la relación entre la temperatura de antena y el flujo. La pendiente resultó ser de 0.67 y el cruce por el eje vertical de 0.005. Esto significa que a partir de la temperatura de antena podemos calcular el valor en SFU, con solo multiplicar por 0.67.

El máximo valor registrado en el patrón de interferencia en Sierra Negra

corresponde a aproximadamente 70 K, lo cual, multiplicado por 0.67 resulta ser aproximadamente 50 SFU. Esto es igual a  $50 \times 10^{-22} \frac{\text{watts}}{\text{m}^2 \text{ Hz}}$ .

La potencia, P, se puede expresar en dBm como

$$P(\text{dBm}) = 10 \log \frac{P}{10^{-3} \text{ watts}} \quad (1)$$

Multiplicando el flujo por el área de la antena y por el ancho de banda tenemos que la potencia recibida fue de aproximadamente -90 dBm. Los instrumentos que se usan para mediciones de ruido en comunicaciones generalmente tienen una sensibilidad del orden de -75 dBm. Es decir, la señal que registramos es más débil que dicho valor. Sin embargo, en algunos casos también en las comunicaciones se tienen que medir señales más débiles y para ello se usan preamplificadores. Esto se podría hacer para las mediciones de las señales que registramos nosotros. Aunque, si se emplea un receptor que opere a frecuencias menores a 9 GHz, tal vez registremos la señal proveniente en la frecuencia principal. En dicha frecuencia la señal sería más intensa que la que se registra en los armónicos y en ese caso la potencia sería mayor a -90 dBm. Por eso consideramos que las siguientes tareas son:

1. Hacer mediciones en frecuencias menores a 1 GHz. De esa manera podremos identificar las posibles frecuencias principales de emisión.
2. Hacer mediciones simultáneas desde diferentes lugares para triangular y así poder identificar la ubicación de las fuentes de las señales.

## Agradecimientos

Quisiera agradecer el apoyo de Alfonso Quintero y de Javier Arriaga durante el desarrollo del trabajo. También quisiera agradecer el apoyo de Omar Yam, Abraham Luna, Jacobo Meza y Alfredo Torres por recabar información sobre la regulación internacional de las bandas de radio.

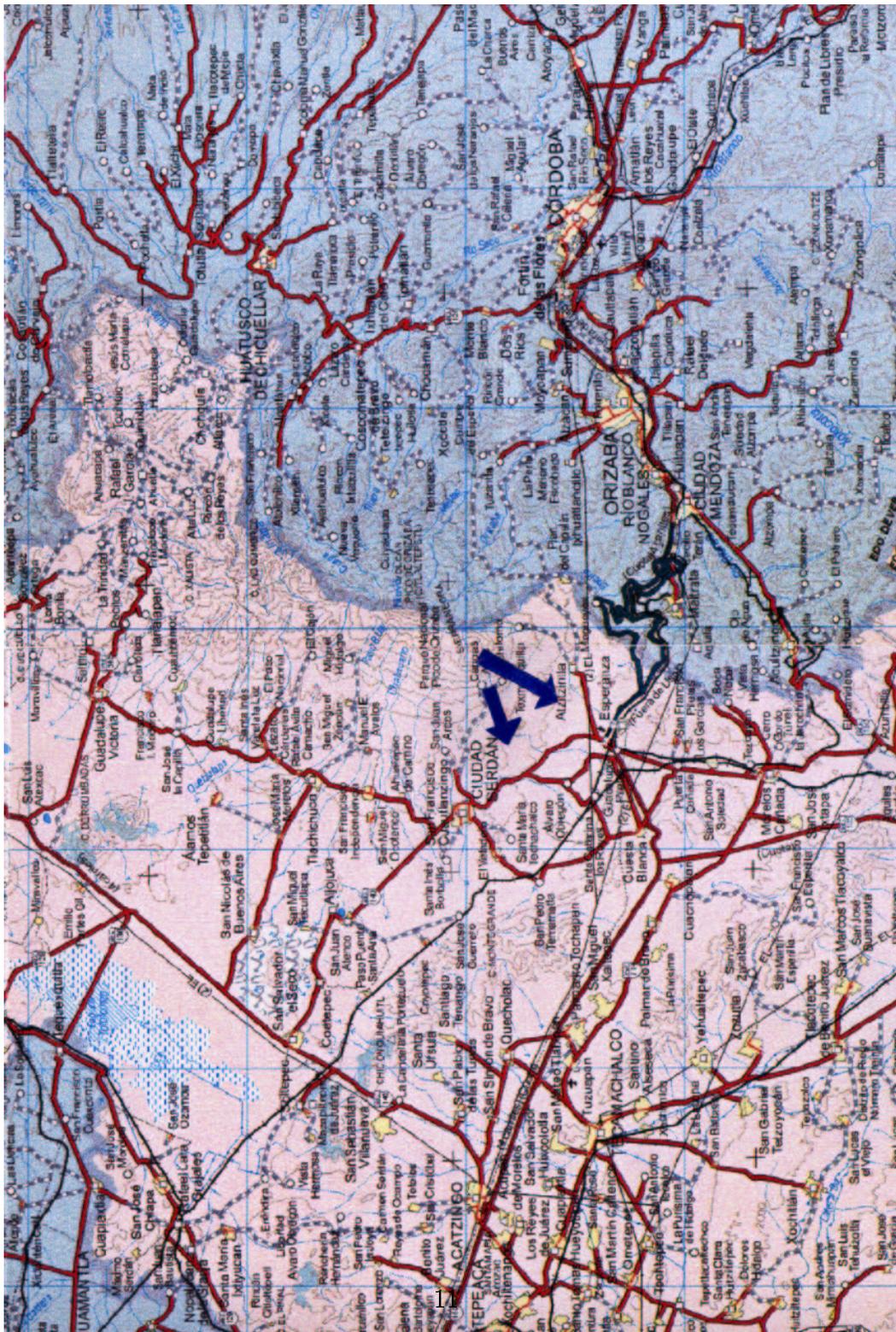


Figure 8: Mapa de la zona de Sierra Negra. Las flechas indican las direcciones de las que se detectaron las señales más intensas.

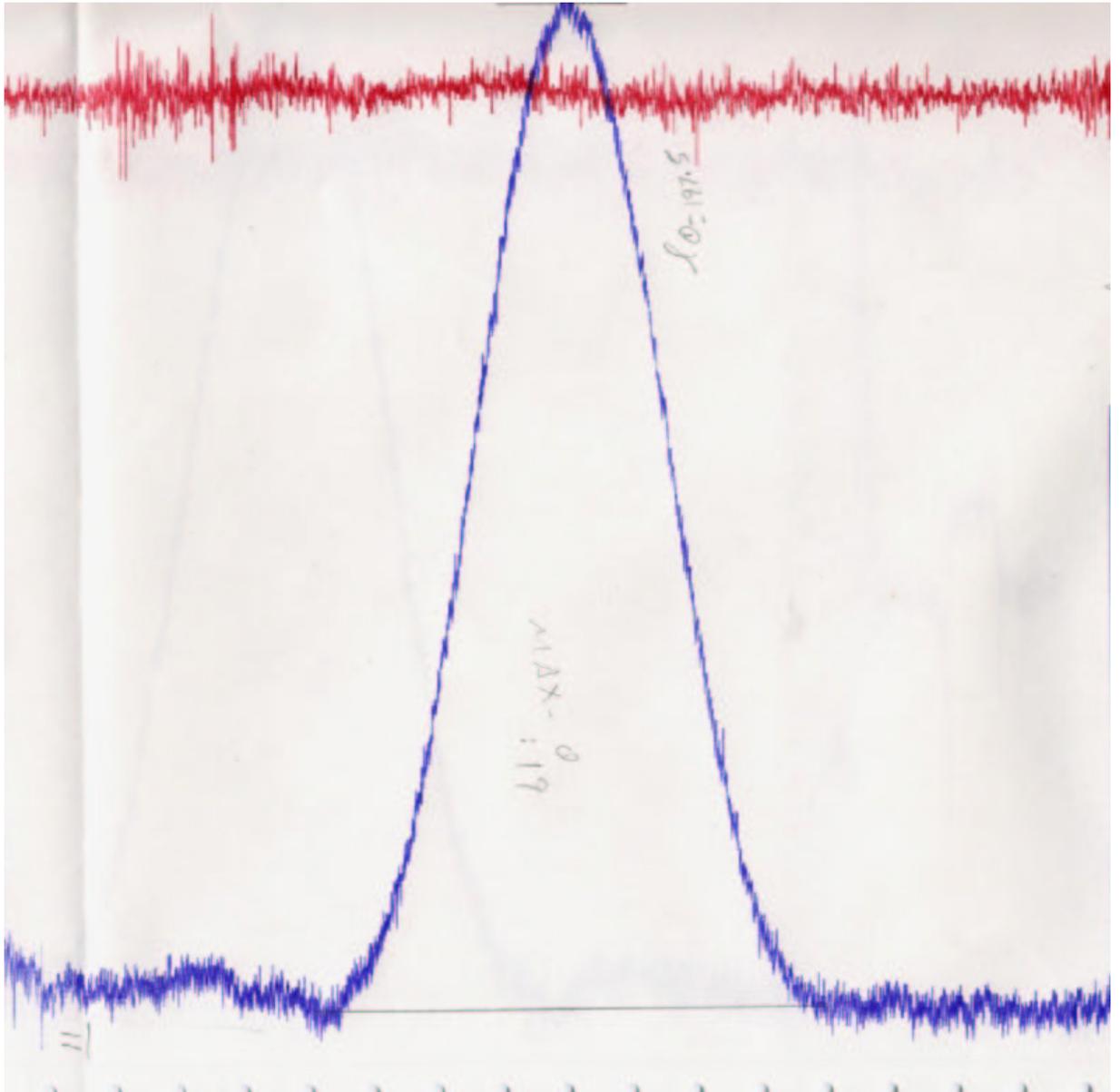


Figure 9: Perfil del Sol obtenido a partir del paso del Sol por el patrón de antena.

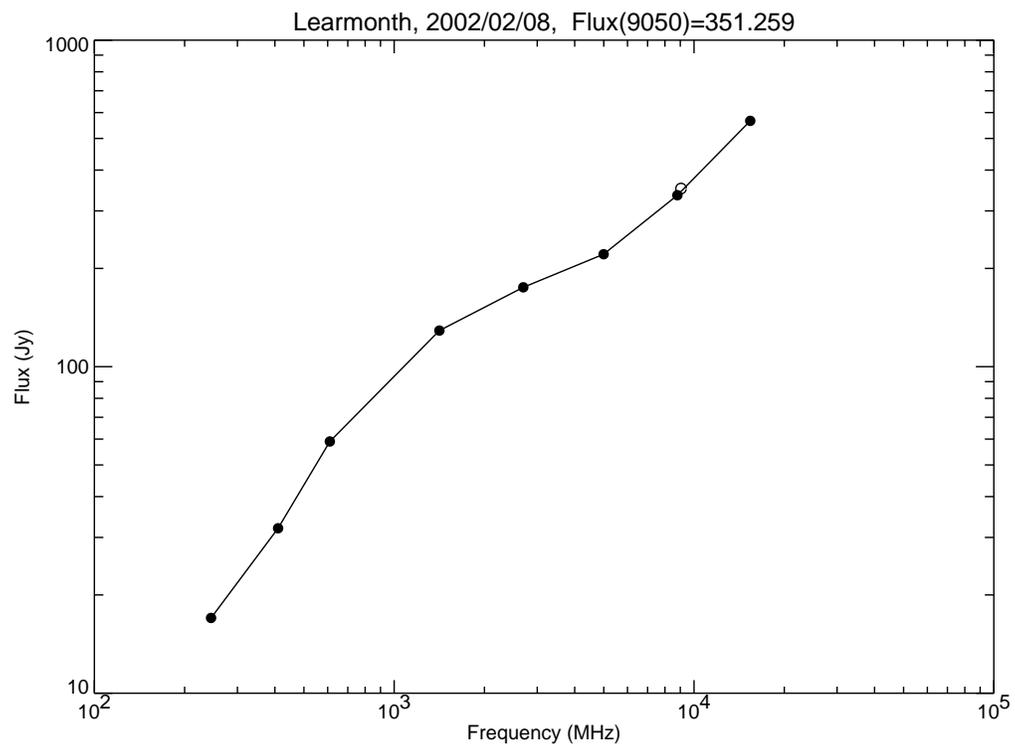


Figure 10: Flujo del Sol quieto registrado, en diferentes, frecuencias en el observatorio de Learmonth, Australia.

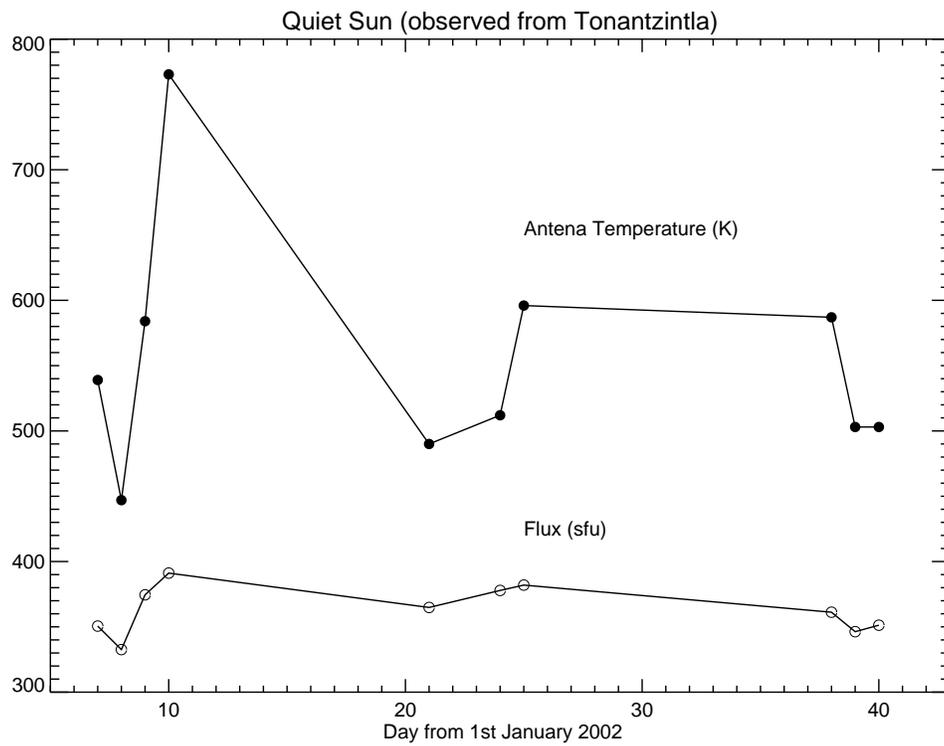


Figure 11: Flujo del Sol quieto registrado en Learmonth (curva inferior) y temperatura de antena registrada con el radiotelescopio solar del INAOE (curva superior).