



## Proyecto Académico con el Radio Telescopio de NASA en Robledo

[Página principal](#)

[El proyecto y sus objetivos](#)

[Cómo participar](#)

[Cursos de radioastronomía](#)

[Material](#)

[Novedades](#)

### CURSO DE INICIACIÓN A LA RADIOASTRONOMÍA

[Índice](#)

[Introducción](#)

[Capítulo 1](#)

[Capítulo 2](#)

[Capítulo 3](#)

[Capítulo 4](#)

**[Capítulo 5](#)**

[Capítulo 6](#)

© LAEFF-INTA, Madrid 2003

## CAPÍTULO 5

### Conceptos técnicos de un radiotelescopio y de la radiación recibida

#### 1. El camino de la señal

##### 1.1. Filtrado y amplificación

##### 1.2. Disminución de frecuencia

##### 1.3. Análisis final de la señal

#### 2. Parámetros de la antena

##### 2.1. Patrón de una antena

##### 2.2 Eficiencia del haz y directividad

##### 2.3 Abertura efectiva y eficiencia de apertura

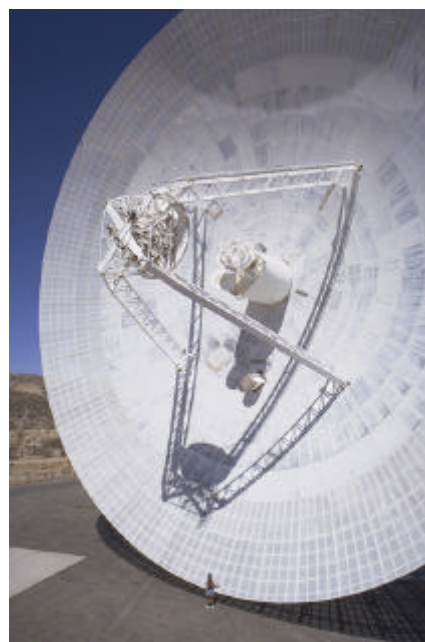
#### 3. Parámetros de la radiación

##### 3.1. Densidad de flujo e intensidad

##### 3.2 Temperatura de brillo

##### 3.3 Temperatura de antena

##### 3.4 Temperatura de antena y densidad de flujo para fuentes puntuales



Antena de 34-m del proyecto GAVRT  
Cortesía de GAVRT

### 1. El camino de la señal

Antes de comenzar a describir los parámetros de las antenas, vamos a centrarnos en el camino de la señal. Veremos el recorrido que hacen las ondas desde su llegada a la antena hasta su entrada en el analizador final.

#### 1.1 Filtrado y amplificación

Como ya hemos visto en el **capítulo 1**, la radiación es recogida por la parábola de la antena y enviada hacia el subreflector. Desde ahí, se refleja hacia un punto en la parábola de la antena, donde se encuentran las bocinas receptoras. Allí la frecuencia se selecciona mediante filtros, y se envía la señal resultante, previo paso por un amplificador de bajo ruido, hacia un convertidor de frecuencia intermedia.

#### 1.2 Disminución de frecuencia

Las señales de alta frecuencia, como las que se reciben en un radiotelescopio, se atenúan muy rápidamente al transmitir las por un cable, por lo que si se trabajase a estas frecuencias todo el sistema receptor sufriría grandes inestabilidades. Para transmitir una señal con una pérdida mínima, es conveniente bajarle la frecuencia. Esto se hace utilizando un conversor de frecuencia intermedia, que en realidad es un mezclador que combina la señal original recibida en la antena con otra señal artificial y monocromática (de frecuencia fija) proporcionada por un oscilador local. Esta mezcla tiene como consecuencia el cambio en la frecuencia de la emisión del cielo que nos interesa, y la obtención de dos señales: una cuya frecuencia es la suma de la original más la del oscilador local y otra cuya frecuencia es la resta (en valor absoluto) de las mismas. Esta última señal, llamada de *frecuencia intermedia* es la que se utiliza para ser propagada con las mínimas pérdidas, ya que proporciona exactamente la misma información que la señal inicial y es más fácil de transmitir. Lo habitual es bajar la señal recibida (inicialmente de más de 1 GHz de frecuencia) a varias decenas de MHz.

Veamos un ejemplo de este paso con números (figura 5.1). Supongamos que queremos estudiar la emisión en radio de una galaxia en 2 GHz y que nuestro sistema está preparado para procesar señales de 300 MHz después del conversor de frecuencia intermedia. En este caso, para que la señal astronómica que nos interesa baje a 300 MHz, tendremos que usar un oscilador local que nos proporcione una señal de 2300 o de 1700 MHz. En ambos casos, la frecuencia intermedia (original - oscilador local) será de 300 MHz.

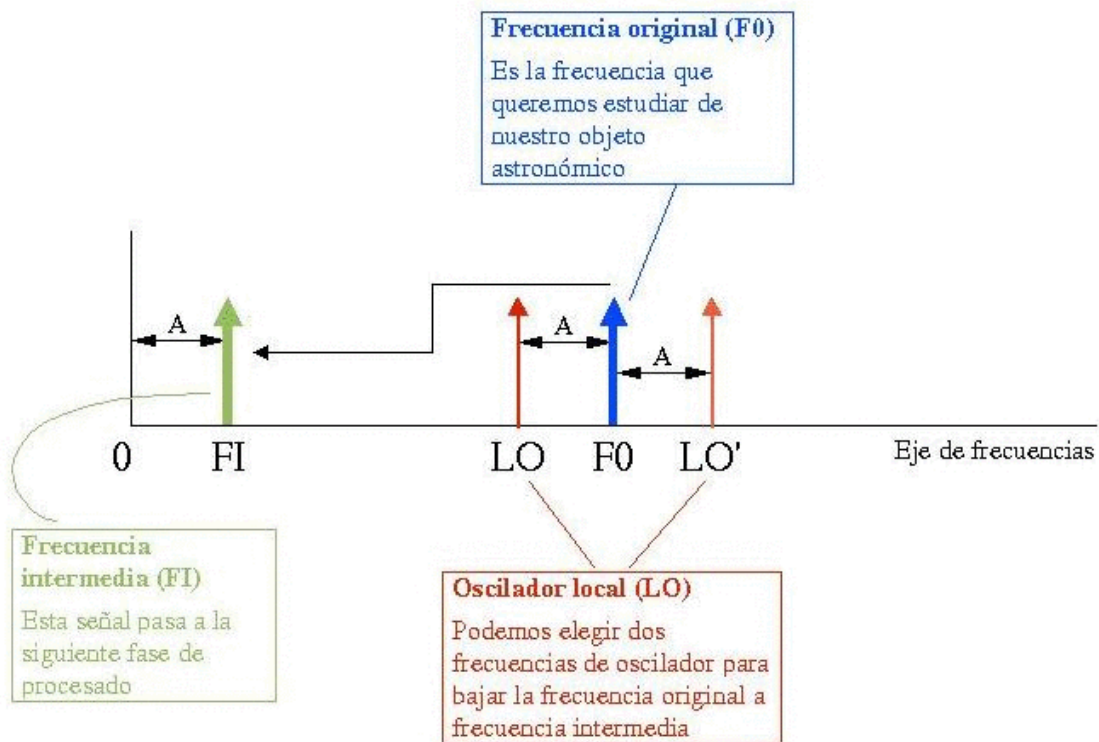


Fig.5.1. Esquema del funcionamiento de un conversor de frecuencia intermedia

Supongamos entonces que elegimos un oscilador local de 1700 MHz. La señal de 2 GHz que nos interesa también saldrá del conversor a 3700 MHz (original + oscilador local), pero al ser una frecuencia superior a la original, sufrirá aún más problemas de pérdidas, así que no nos resultará muy útil.

También hay que tener en cuenta que usando un oscilador local a 1700 MHz, no sólo bajamos a 300 MHz la radiación que la galaxia observada emite en 2 GHz, sino también la que emite en 1.4 GHz (la diferencia 1700 MHz - 1400 MHz es también de 300 MHz). A menos que filtremos la señal de 1.4 GHz antes de llegar al conversor de frecuencia, la señales originales de 1.4 y de 2 GHz las tendremos superpuestas tras el conversor. Si hacemos este filtrado previo tendremos un sistema receptor de *banda simple*, que es lo más habitual. Si no filtramos, tendremos un sistema receptor de *banda doble*, y estaremos procesando simultáneamente la emisión de dos frecuencias diferentes (ver figura 5.2).

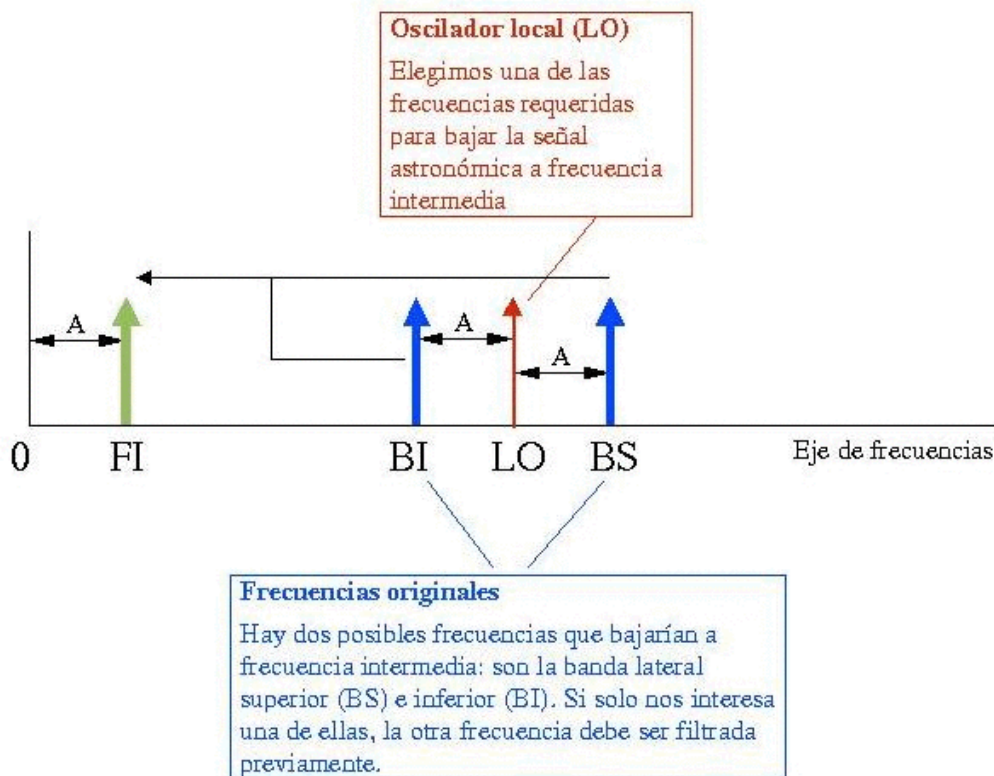


Fig.5.2. Esquema de las bandas que podrían bajar a frecuencia intermedia



### 1.3 Análisis final de la señal

La señal obtenida con la nueva frecuencia intermedia es amplificada de nuevo y enviada a un medidor de potencias o a un espectrómetro para su análisis.

Un medidor de potencia simplemente cuantifica la energía recibida por unidad de tiempo en el intervalo de frecuencias determinado por nuestros filtros. Es el tipo de sistema de medida que utilizaríamos para medir radiación continua (ver **capítulo 3** del curso de Fundamentos Físicos), ya que esta emisión no cambia mucho en una anchura de banda (intervalo de frecuencias) relativamente estrecha. Cuanto mayor sea la anchura de banda, más cantidad de energía estaremos recibiendo y, por tanto, la señal recibida será de más calidad, es decir, menos ruidosa. Pero si ampliamos demasiado la anchura de banda (por ejemplo, más allá de 1 GHz), puede que las variaciones de emisión de nuestra fuente dentro de la banda observada empiecen a ser importantes. En PARTNeR utilizamos medidores de potencia.

Un espectrómetro puede realizar un análisis de cómo varía la emisión en función de la frecuencia dentro del intervalo de frecuencias que estemos observando. Este tipo de equipos es útil para observar líneas de emisión (ver **capítulo 3** del curso de Fundamentos Físicos), que sólo emiten en una zona de frecuencias muy estrecha. En PARTNeR no disponemos de espectrómetros.

En la figura 5.3. se muestra el diagrama que representa el camino completo de la señal en la antena de PARTNeR. Una información más detallada acerca de los procesos y del control de la señal dentro de la antena, se puede encontrar en el **Manual técnico de la antena**.

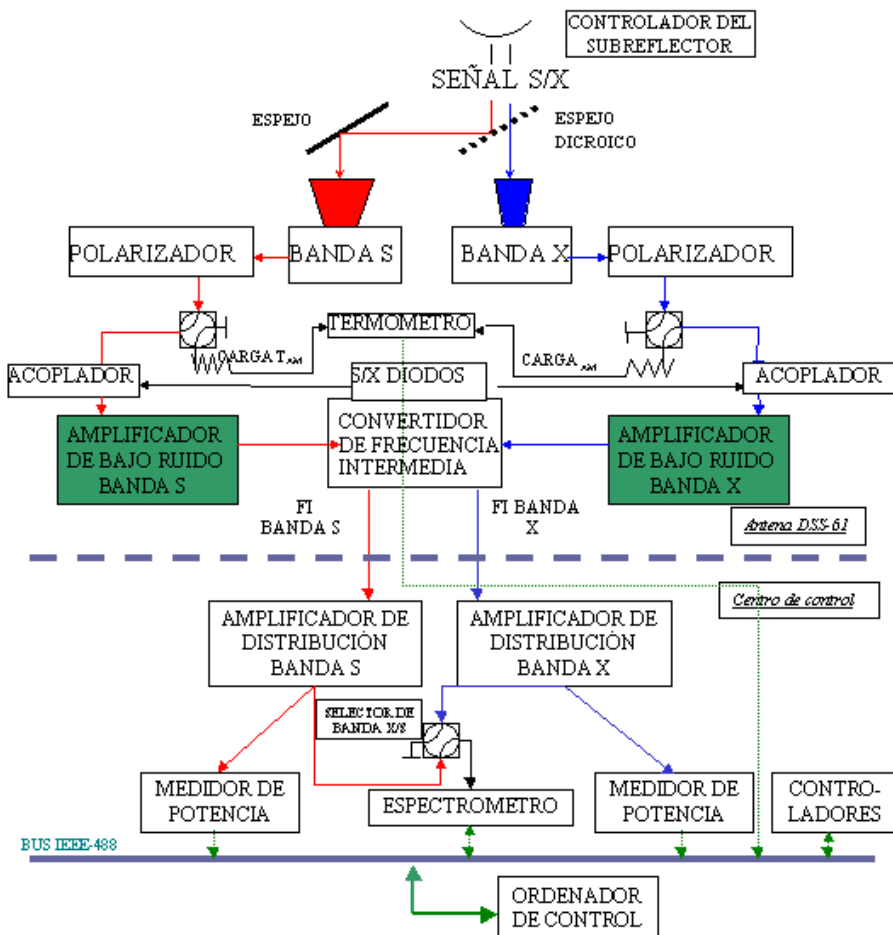


Fig.5.3. Diagrama del camino de la señal en la antena de PARTNeR



## 2. Los parámetros de la antena

### 2.1 Patrón de una antena

Las antenas están diseñadas para recibir la señal procedente de un punto localizado del cielo. Por este motivo, la respuesta de la antena a la radiación es diferente según la dirección de la que proceda esta radiación. El estado ideal sería aquél en el que recibiésemos únicamente señal de una fuente cuando la antena estuviera apuntando a esa fuente, sin recibir radiación de ningún otro punto del cielo.

Desafortunadamente, este estado ideal no coincide con la realidad. En la vida real, las antenas reciben también radiación de zonas que pueden estar muy alejadas del punto que se quiere observar. Esto es debido a la difracción de la radiación que llega al borde de la antena.

Para representar la respuesta de la antena a la radiación, se utiliza el llamado *diagrama polar* (ver fig. 5.4). En él se representa un esquema de la cantidad de radiación recibida por la antena procedente de cada zona del cielo, cuando la antena apunta a un punto determinado. En la figura 5.4 suponemos que la antena está apuntando en la dirección de la línea azul. Los lóbulos amarillos indican la cantidad de radiación que recibiría la antena de cada punto del cielo. El máximo de esta cantidad se obtiene en el punto hacia el que está orientada la antena, que es el máximo del denominado *lóculo principal*. El ángulo entre los puntos del lóculo en los que la intensidad recibida es la mitad del máximo se

llama *anchura a media altura* o sus siglas en inglés *HPBW* (*Half-Power Beam Width*), y se suele definir como el *tamaño del haz* de la antena. El tamaño del haz determina el poder de resolución del radio telescopio, que ya estudiamos en detalle en el curso de Fundamentos Físicos (ver **Capítulo 2, secc 2.1**). De acuerdo con lo que vimos allí, podemos deducir que el haz de un radiotelescopio será más estrecho cuanto mayor sea el diámetro de la antena o menor sea la longitud de onda observada.

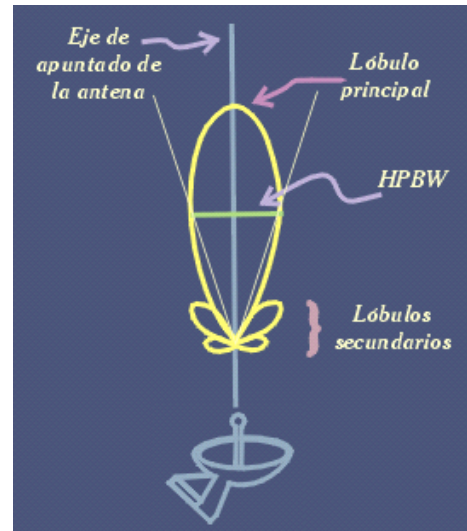


Fig.5.4. Patrón de una antena en coordenadas polares

En el caso de la antena de PARTNeR, tenemos un haz de 12 minutos de arco para la banda S y 3.6 minutos de arco para la banda X. Esto quiere decir que si estamos observando en banda X, veríamos como un único objeto, dos estrellas que estuvieran separadas menos de 3.6 minutos de arco, ya que ambas entrarían en el haz de la antena y sería imposible distinguirlos.

Los *lóbulos secundarios* son los culpables de que entre radiación a la antena de otras zonas del cielo distintas a aquella a la que se apunta la antena. Las antenas suelen estar construidas de manera que la radiación que entra por estos lóbulos secundarios es mínima.

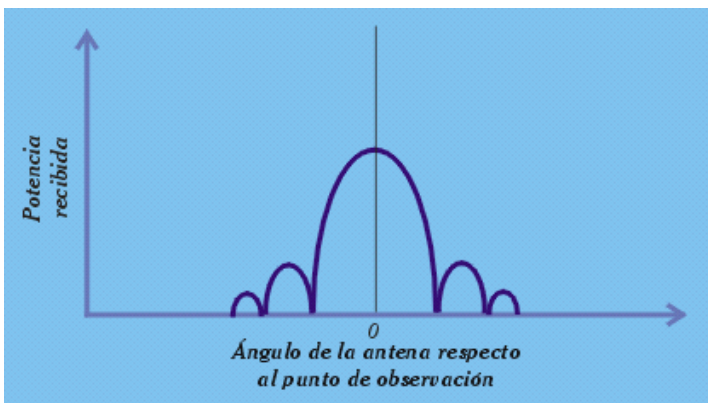


Fig.5.5. Patrón de una antena en representación plana

Este patrón de lóbulos primarios y secundarios es, como ya hemos dicho, el patrón de difracción de la radiación al encontrar la abertura circular de la antena. Para una antena de sensibilidad uniforme en toda su superficie, el patrón de difracción de la antena seguiría la función  $(\text{sen } x / x)^2$ , donde  $x$  es el ángulo con respecto a la dirección de apuntado de la antena. Sin embargo, para simplificar el análisis, se puede considerar que el lóbulo principal es una gaussiana (también llamada curva de Gauss o curva normal).

Puede resultar más sencillo imaginar el patrón de detección de una antena en un diagrama plano, representando en el eje  $x$  el movimiento de la antena y en el eje  $y$  la potencia detectada, como se muestra en la figura 5.5. En esta figura se ve como, si hacemos un barrido de izquierda a derecha, pasando la antena por el centro de nuestra fuente, veríamos, al atravesar el punto marcado como 0, el máximo de la intensidad. A ambos lados de ese pico encontraríamos dos mínimos y, a mayor separación, dos máximos relativos de intensidad muy baja. Esto lo veremos más en detalle en el capítulo 6, al hablar de la técnica de los **barridos**.



## 2.2 Eficiencia del haz y directividad



Estos parámetros de la antena están relacionados directamente con los diagramas 5.4 y 5.5. Dan una idea de lo buena que es la antena recogiendo radiación de un único punto. La antena será más "directiva" cuanto más estrecho sea su lóbulo principal y más pequeños sean sus lóbulos secundarios. Una antena ideal, totalmente directiva, sería aquella que sólo tuviese un lóbulo principal de anchura infinitesimal. Esta antena detectaría el máximo de emisión cuando apuntase a la fuente y cero cuando se desplazase cualquier distancia fuera de la fuente.

Una antena muy directiva es útil para determinar de dónde proviene la radiación recibida, que es justamente lo que queremos en un radiotelescopio. Por el contrario, la antena de la radio de un coche necesariamente debe ser muy poco directiva, para poder recibir la señal de la emisora independientemente de la orientación del coche. Si la antena de nuestro coche fuera muy directiva, tendríamos que estar reorientándola hacia la emisora cada vez que diésemos una curva.

Veamos ahora la definición de estos parámetros. Llamamos *ángulo sólido del haz* a la integral del patrón de la antena a lo largo de todas las direcciones del cielo ( $4\pi$  estereorradianes):

$$\Omega_a = \iint_{4\pi} P \, d\Omega \quad (\text{Ecuación 5.1})$$

Si en lugar de hacer la integral en todo el cielo ( $4\pi$  radianes), lo hacemos sólo en las direcciones ocupadas por el lóbulo principal, tendremos el *ángulo sólido del lóbulo principal* ( $\Omega_m$ ).

Si los lóbulos secundarios son muy pequeños comparados con el lóbulo principal, es decir, cuando casi todo el patrón de la antena está concentrado en el lóbulo principal,  $\Omega_m$  prácticamente coincide con  $\Omega_a$ .

La *eficiencia del haz* se define como:

$$\eta = \frac{\Omega_m}{\Omega_a} \quad (\text{Ecuación 5.2})$$

Esta eficiencia varía entre 0 y 1. Será mayor cuanto más concentrado esté el patrón de la antena en el lóbulo principal.

La *directividad* se define como:

$$D = \frac{4\pi}{\Omega_a} \quad (\text{Ecuación 5.3})$$

La directividad mínima es 1 y correspondería a una antena que recibe con la misma sensibilidad de todas las direcciones.



### 2.3 Abertura efectiva y eficiencia de abertura

Una antena no es capaz de captar y enfocar al sistema receptor toda la radiación que incide en su superficie. La eficiencia con la que un radiotelescopio recoge las ondas de radio depende en gran medida de la calidad de su superficie. Por un lado, a pequeña escala la superficie del reflector primario tiene ciertas rugosidades. Una buena antena debe tener su superficie bien pulida, con rugosidades muy inferiores a la longitud de onda que vayamos a observar. En el caso de las observaciones con PARTNeR, en longitudes de onda de más de 3 cm, esto es bastante fácil de conseguir. Sin embargo, los telescopios que trabajen en longitudes de onda milimétricas y submilimétricas deben estar pulidos con una precisión de pocas micras, de modo que su superficie refleja casi como un espejo (ver figura 5.6).

Por otro lado, a mayores escalas, si la forma general del reflector primario se aleja mucho de la de un paraboloide de revolución,

también disminuirá la eficiencia en la recogida de ondas. Esto puede afectar de forma especial a antenas de gran tamaño que, debido a las tensiones originadas por la gravedad, pueden deformarse de forma apreciable. En general, las deformaciones varían en función de la elevación (ver **cap 5, sec 3.1** del curso de Fundamentos Físicos) a la que la antena esté orientada.



Fig.5.6. Telescopio SEST (Swedish-ESO Submillimeter Telescope - La Silla, Chile). Cortesía de SEST.

Llamamos *abertura efectiva* al área que tendría una antena de eficiencia perfecta que recibiese la misma radiación que nuestra antena real. La apertura efectiva, evidentemente, se mide en  $m^2$  y siempre será menor que el área de la superficie reflectora. Este parámetro está relacionado con la directividad, mediante la fórmula:

$$D = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad (\text{Ecuación 5.4})$$

Vemos, por tanto, que las antenas más directivas son también las que recogen más cantidad de ondas de radio. Por eso, para detectar señales débiles deben usarse antenas muy directivas. Si queremos recibir en casa la televisión por satélite, no nos sirve la habitual antena de televisión; necesitaremos una antena parabólica, mucho más directiva (y que, también por su directividad, debemos asegurarnos de apuntar correctamente hacia el satélite).

La *eficiencia de apertura* es el resultado del cociente entre la apertura efectiva y el área física de la antena, y varía entre 0 y 1. Así, una antena perfecta tendría una eficiencia de apertura igual a 1. Como hemos mencionado, la eficiencia de apertura de una antena no es un valor fijo, sino que varía con la elevación.



### 3. Los parámetros de la radiación

#### 3.1 Densidad de flujo e intensidad

Es evidente que en el cielo hay fuentes que emiten ondas de radio de forma más potente que otras. Esta emisión hay que cuantificarla mediante las magnitudes físicas y las unidades de medida adecuadas. Trataremos aquí dos magnitudes utilizadas en Radioastronomía: la *densidad de flujo* y la *intensidad*.

Antes de pasar a su definición rigurosa, vamos a intentar situar estos conceptos. La densidad de flujo y la intensidad se relacionan entre sí como una magnitud "extensiva" e "intensiva", respectivamente, de forma análoga a la masa y la densidad en el caso de la cantidad de materia. Sabemos que la densidad de un cuerpo es su cantidad de masa por unidad de volumen y no depende de lo grande que sea el cuerpo. La misma densidad tiene un gramo de agua que una tonelada. La medida de la cantidad de materia la da la masa, que sería la integral de la densidad en todo el volumen ocupado.

Una nota de precaución en la analogía que estamos presentando: en el caso de la cantidad de materia, el término "densidad" se refiere a la magnitud intensiva, mientras en el caso de la cantidad de radiación, por el contrario, se refiere a la extensiva.

A grandes rasgos, la *densidad de flujo* es la potencia total que recibimos de un cuerpo emisor de ondas de radio, mientras que la *intensidad* es la emisión por unidad de ángulo sólido. Por lo tanto, la densidad de flujo será el

resultado de integrar la intensidad en todo el ángulo sólido subtendido por el emisor.

Volviendo a nuestra analogía, la masa de un cuerpo tiene un valor determinado, único. Por el contrario, la densidad del cuerpo puede variar a lo largo de su extensión, de forma que podríamos realizar un "mapa" de su densidad. Por ejemplo, en el cuerpo humano no tiene la misma densidad un hueso que el corazón. En el caso de una fuente emisora de ondas, la densidad de flujo es un valor único, mientras que la intensidad emisora puede variar. Se pueden obtener mapas de esta intensidad si tenemos la suficiente resolución angular como para ver el objeto como algo extenso y no como un punto.

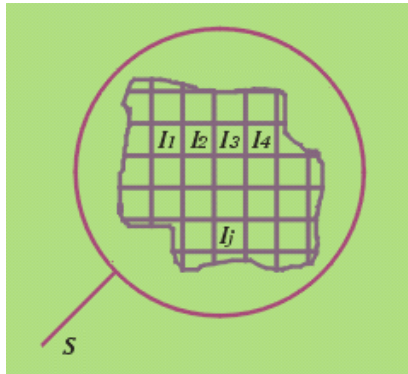


Fig.5.7a. La intensidad con que un objeto emite ( $I_1, I_2, I_3, \text{etc}$ ) puede variar a lo largo del ángulo sólido que subtende. Su densidad de flujo ( $S$ ) tiene un valor determinado (la integral de la intensidad en todo el ángulo sólido subtendido por el objeto)

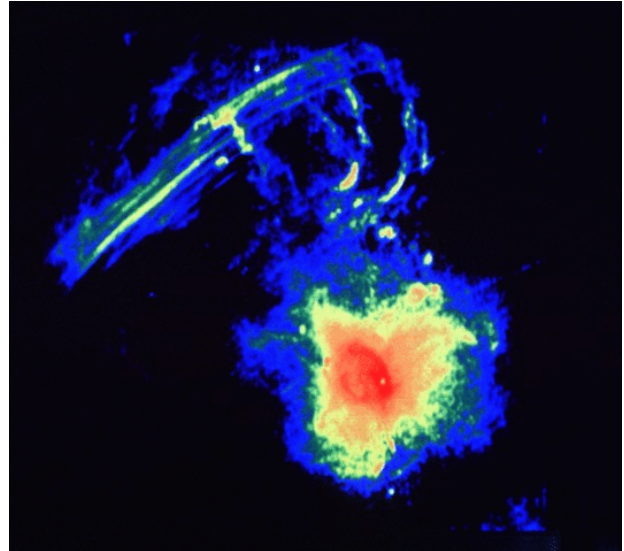


Fig.5.7b. Mapa de intensidades del centro de nuestra galaxia a 20 cm. Cortesía de NRAO/AUI

La intensidad emitida por un objeto (o la que nosotros recibimos de él) es la potencia ( $W$ , energía por unidad de tiempo) emitida por unidad de área, frecuencia y ángulo sólido:

$$I_{\nu} = \frac{dW}{\cos(\vartheta) d\sigma d\nu d\Omega} \quad (\text{Ecuación 5.5})$$

Hay dos detalles de esta fórmula en los que uno debería fijarse. Primero, el subíndice  $\nu$  en la intensidad. Esto quiere decir que la intensidad emitida por un cuerpo depende de la frecuencia que estemos estudiando. El segundo es el término  $\cos(\vartheta)$ . Se utiliza para poder usar en la definición una unidad de área con orientación arbitraria, que no tiene por qué interceptar perpendicularmente la radiación emitida. Cuanto más inclinemos esta unidad de área, menos radiación la atravesará.

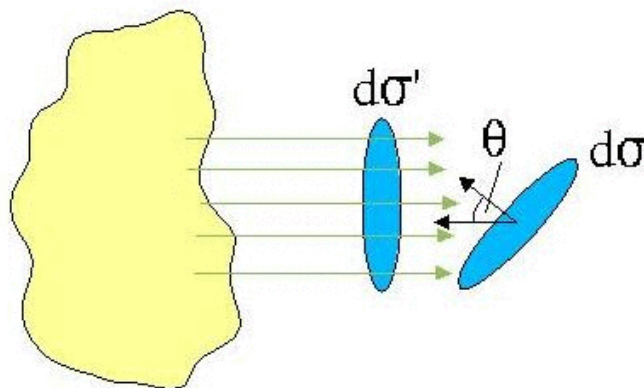


Fig.5.8. La cantidad de radiación interceptada por una unidad de área ( $d\sigma$ ), inclinada un ángulo  $\vartheta$  respecto a la dirección de emisión, es inferior a la interceptada por un área perpendicular a ésta ( $d\sigma'$ )



La intensidad emitida por un cuerpo es igual que la intensidad que recibimos de él. Además, la intensidad recibida no depende de la distancia a la que esté el objeto. Si situamos el cuerpo a mayor distancia, el ángulo sólido que subtende será menor, pero ya sabemos que la intensidad mide una potencia por unidad de ángulo sólido y no importa cuánto sea el ángulo sólido total (se puede seguir utilizando la analogía entre intensidad y densidad de masa; ésta no depende del volumen total del cuerpo).

La densidad de flujo es la integral de la intensidad a lo largo del ángulo sólido subtendido por la fuente:

$$S_{\nu} = \int I_{\nu} d\Omega \quad (\text{Ecuación 5.6})$$

Podemos ver de nuevo el subíndice  $\nu$ , esta vez en la densidad de flujo, que indica su dependencia con la frecuencia observada.

La densidad de flujo sí depende de la distancia que nos separe del objeto. Por tanto, no es una magnitud característica del objeto que emite, sino que se refiere a la energía que recibe el observador. Como hemos visto que la intensidad no depende de la distancia, y como el ángulo sólido subtendido por un objeto disminuye con el cuadrado de la distancia, también la densidad de flujo que recibimos del objeto disminuye con el cuadrado de la distancia. Este fenómeno se conoce como la *ley del inverso del cuadrado* (ver el **capítulo 1** del curso de Fundamentos Físicos).

Las unidades de la densidad de flujo serían, en sistema internacional, vatios  $\text{m}^{-2}$  hercios $^{-1}$ . Sin embargo, en Radioastronomía estas unidades son muy incómodas, porque las fuentes de ondas de radio son débiles y tendríamos, por tanto, que manejar siempre números muy pequeños. La unidad habitual de densidad de flujo en Radioastronomía es el Jansky (en honor de uno de los pioneros de esta ciencia) y se define como

$$1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1} = 10^{-23} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$$

Por consiguiente, la unidad básica de intensidad será el Jansky por estereorradián.



### 3.2 Temperatura de brillo

Es muy común en Radioastronomía medir la intensidad de la emisión de un cuerpo en una escala de temperaturas. Cuando hablamos de temperatura de brillo, nos estamos refiriendo simplemente a la intensidad (que ya definimos en el apartado anterior), pero medida en esa escala de temperaturas (es decir, en K), en lugar de en  $\text{Jy sr}^{-1}$ .

Puede parecer sorprendente medir una potencia de ondas de radio en unidades de temperatura. La relación no es directa; se trata de lo que llamaremos una "escala equivalente". Utilizamos escalas equivalentes para cuantificar magnitudes difíciles de medir en términos absolutos. Si hay un tipo de cuerpos sencillos que tengan otra magnitud más fácil de medir, y que esté relacionada con la que nos interese, podemos usarlos como referencia.

Buscamos entonces el cuerpo de referencia que tenga la misma cantidad de magnitud "difícil" que el que estamos estudiando, y medimos la magnitud "fácil". Esta última nos proporciona la escala equivalente.

Por poner un ejemplo, estaríamos utilizando una "escala equivalente" si midiésemos el contenido energético de los alimentos en unidades de "terrones de azúcar" en lugar de en calorías. Por ejemplo, 100 gramos de pechuga de pollo asada tienen el mismo contenido energético que 5 terrones de azúcar (unas 100 kcal). En nuestra "escala equivalente", diríamos entonces que esos 100 gramos de pollo tienen una energía de 5 terrones de azúcar, aunque no encontraremos esos terrones por más que los busquemos.

Volviendo al caso que nos ocupa, al utilizar la "escala equivalente" de temperaturas de brillo para medir la intensidad de ondas de radio emitidas por un objeto, estaremos dando la temperatura de un cuerpo negro que emitiese la misma intensidad que el objeto que estamos estudiando. Como éste no tiene por qué ser un cuerpo negro, la temperatura de brillo, en general, no coincidirá con su temperatura real.

Podemos usar esta escala de temperaturas para medir intensidades, porque la intensidad que un cuerpo negro emite a una determinada frecuencia, depende únicamente de su temperatura:

$$I_{\nu} = \frac{2h\nu}{c} \frac{1}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1} \quad (\text{Ecuación 5.7})$$

La relación entre la intensidad y la temperatura es, en principio, compleja. Sin embargo, en el caso de las ondas de radio, en las que  $h\nu \ll kT$ , se puede hacer un desarrollo en serie de Taylor de la exponencial, que da como resultado:

$$I_{\nu} = \frac{2h\nu^2}{c^2} kT \quad (\text{Ecuación 5.8})$$

Esta simplificación en el rango de ondas de radio se llama *aproximación de Rayleigh-Jeans*. Vemos que la intensidad emitida por el cuerpo negro es directamente proporcional a la temperatura. Por esta razón, en la mayoría de las fórmulas en las que aparece la intensidad, ésta puede sustituirse simplemente por la temperatura de brillo.

Esta fórmula puede ilustrar la utilidad de usar la temperatura de brillo, en lugar de la intensidad en unidades de  $\text{Jy sr}^{-1}$ . Si el objeto que estamos estudiando es aproximadamente un cuerpo negro, la temperatura de brillo es constante, independientemente de la frecuencia a la que estemos observando, pero la intensidad será muy diferente al cambiar de frecuencia. Si el objeto no es un cuerpo negro, la temperatura de brillo variará, pero siempre menos que la correspondiente intensidad. Por lo tanto, resulta más sencillo comparar las observaciones tomadas en diferentes frecuencias cuando se utiliza la escala de temperaturas de brillo.



### 3.3 Temperatura de antena

La magnitud *intensidad* y, por tanto, la *temperatura de brillo*, es una característica del cuerpo emisor que nunca podremos conocer con exactitud porque nuestros instrumentos de medida (en este caso los radiotelescopios) tienen una resolución limitada. Nos tenemos que contentar con medir una intensidad media.

Volvamos a la analogía de la densidad de masas para entenderlo mejor. Supongamos que queremos hacer un mapa de la densidad del agua de una piscina, en función de su posición a lo largo y a lo ancho, y de la profundidad. Para ello disponemos de un recipiente de un litro en el extremo de una cuerda. Situamos el recipiente en la posición y profundidad adecuada, y lo abrimos para que se llene de agua justo en el punto deseado. Posteriormente sacamos el recipiente y pesamos su contenido de agua. Podremos medir así la densidad del agua.

Con este sistema no estaremos midiendo realmente la densidad, sino la densidad media del litro de agua que hemos extraído. No podremos saber si hay partes de ese litro de agua más densas que otras. Es decir, la densidad de masas es una magnitud que nunca podremos conocer exactamente. Necesitaríamos poder pesar una masa infinitamente pequeña y medir un volumen infinitamente pequeño. La precisión con la que la conocemos está limitada por la resolución de nuestros instrumentos de medida. En este caso, el recipiente de un litro de capacidad.

En el caso de la intensidad emitida por un objeto, nuestra limitación la da la resolución del radiotelescopio que, como hemos mencionado, viene dada por el tamaño del haz. Si medimos la emisión de radio de un objeto extenso, estaremos recogiendo la densidad de flujo (medida en Jansky) que entra en todo el haz (medido en estereorradianes). Podremos así obtener una intensidad media en nuestro haz, dividiendo esa densidad de flujo entre el tamaño del haz.

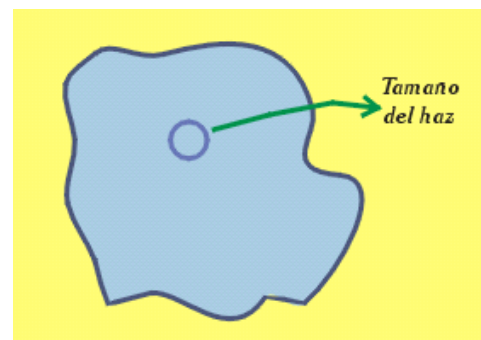


Fig.5.9. Para obtener una intensidad media en un punto, se apunta la antena en esa dirección, se mide la densidad de flujo recogida dentro del haz y se divide entre el tamaño de éste

Si utilizamos la escala de temperaturas, también obtendremos una temperatura de brillo media. Sería la temperatura de un cuerpo negro que nos diera, dentro de nuestro haz, la misma cantidad de radiación que estamos midiendo. A esta temperatura de brillo media, que es la que realmente podemos medir, la llamamos temperatura de antena.



### 3.4 Temperatura de antena y densidad de flujo para fuentes puntuales

En gran parte de las observaciones de Radioastronomía, el tamaño del haz es mucho mayor que el del objeto emisor. Decimos entonces que la fuente no está resuelta por el telescopio y, a todos los efectos, podemos decir que la fuente es como un punto, sin dimensiones.

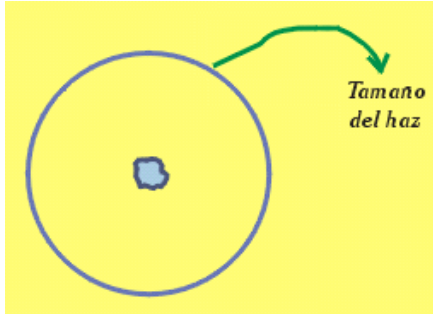


Fig.5.10. En el caso de una fuente puntual (no resuelta) el haz del radiotelescopio recoge la densidad de flujo de la fuente

En este caso, como todo el ángulo sólido subtendido por la fuente está dentro del haz del radiotelescopio, cuando apuntamos hacia ella estaremos recogiendo toda la densidad de flujo. Por supuesto, no tendremos idea alguna de la intensidad.

En el proceso de calibración de una observación, cuando observamos una fuente puntual obtendremos también una temperatura de antena. Ya hemos visto que, en rigor, la temperatura de antena es una medida de intensidad media. Sin embargo, para el caso de una fuente puntual representará la medida de su densidad de flujo.

En la analogía que hemos estado siguiendo, no tendremos ningún problema en estimar la densidad del agua de una piscina utilizando un recipiente de un litro. Cuando el recipiente esté completamente lleno, el agua contenida pesará aproximadamente 1 kg, y podremos decir que la densidad es de aproximadamente 1 kg/l.

Pero si utilizamos el mismo recipiente para intentar medir la densidad de un charco pequeño y toda el agua del charco no llena el recipiente, entonces comienzan los problemas. Será imposible determinar la densidad. Si pesamos el contenido (inferior ya a 1 kg) y dividimos entre el volumen del recipiente, nos saldrá una densidad inferior a lo habitual. Si hacemos lo mismo con un charco más pequeño, nos saldrá una densidad media aún menor. Ya sabemos que la densidad es una magnitud intensiva, y no depende del tamaño del cuerpo. Pero en este caso, no estamos midiendo densidades. Si, utilizando este sistema, alguien nos dice que ha medido una densidad media de 200 gr/l, lo único que sabremos es que toda el agua del charco pesa 200 g. Podemos saber la masa del charco, pero no la densidad.

En el caso de una observación de Radioastronomía, al obtener una temperatura de antena en una fuente puntual, haríamos el siguiente cálculo: con la **ecuación 5.8**, obtenemos la intensidad ( $Jy\ sr^{-1}$ ) que emitiría un cuerpo negro de esa temperatura. Con el ángulo sólido (en sr) ocupado por el haz (**ecuación 5.1**), obtenemos la densidad de flujo (en Jy) del cuerpo negro que nuestra antena recogería dentro de este haz. Esa es justamente la densidad de flujo total de nuestra fuente observada, que cae enteramente dentro del haz.

