GUÍA RÁPIDA Y VISUAL PARA LAS OBSERVACIONES RADIOASTRONÓMICAS

Introducción

La realización de una observación con PARTNeR es el resultado final de una serie de pasos previos que han consistido, por un lado, en aprender los mecanismos físicos de emisión de ondas de radiofrecuencia y, por otro, en aprender el funcionamiento básico de un radiotelescopio.
La preparación de una observación comienza con la elección de la fuente a observar. Actualmente en PARTNeR se desarrollan tres proyectos: estudio de la variabilidad de cuásares, seguimiento de sistemas estelares binarios de rayos X (microcuásares) y realización de radiomapas de fuentes en el plano galáctico. Estos proyectos nos permiten estudiar objetos fascinantes como cuásares y microcuásares, u objetos extensos como remanentes de supernova o nubes de gas. En los dos primeros casos, al tratarse de fuentes cuasi puntuales, la observación consiste en la medición del flujo recibido en la banda o bandas de observación (S o X, o ambas). En el de fuentes extensas, la observación consiste en la realización de un mapa en radiofrecuencia de la fuente elegida.
Es aconsejable realizar una indagación previa de la fuente a observar para identificar de qué objeto se trata, su historia, cuándo y por quién fue descubierto, dónde y a qué distancia de nosotros se encuentra, sus características fundamentales, etc, de manera que la observación tenga como objetivo añadido completar o corroborar toda esta información.

Petición de tiempo de observación

Antes de realizar la observación hay que solicitar tiempo para la fecha elegida. Cuando antes lo hagamos, evitaremos que esa fecha haya podido ser ya elegida por otros observadores. Además, si hemos elegido nosotros la fuente a observar, debemos estar seguros de que estará sobre el horizonte en la fecha y hora elegidas. No hemos de olvidar que las observaciones se realizan en horario lectivo, entre las 9:00 y las 15:00 horas, y en ese periodo hemos de intentar, en la medida de lo posible, que la fuente a observar esté lo más alta posible sobre el horizonte.
Para solicitar tiempo de observación hemos de ir a la web del proyecto y rellenar el formulario correspondiente en el calendario. En él aparecen todos los días y horas, indicando si están libres o no. En el formulario se rellenarán los datos del observador, la fuente a observar (si se ha elegido ya), la duración de la observación y los comentarios que consideremos oportunos. En el caso de que no se haya elegido ninguna fuente para realizar la observación, el personal de PARTNeR se encargará de organizarlo todo y de elegir la fuente o fuentes a observar.

Requisitos técnicos

Para poder llevar a cabo una observación radioastronómica desde el centro escolar, éste debe contar con unos medios técnicos mínimos, tanto en lo que se refiere al hardware, como en lo rerefente al software:

- Hardware
    - Conexión a Internet. Preferiblemente una línea ADSL con una velocidad mínima de 1 Mbps. Lo aconsejable es contar con una velocidad de 4 Mbps.
    - Ordenador u ordenadores con conexión a Internet.
    - Proyector (opcional).

- Software
    - Conexión a escritorio remoto o Terminal Server (TServer). El equipo al que nos conectamos es **laeff.inta.es**.
    - Skype para poder comunicarse con el astrónomo de soporte. Se debe añadir a la lista de contactos **CentroControlPARTNeR**.
    - Navegador web acceder a la webcam de la antena.

Esquema de la observación

La observación con PARTNeR comienza con la conexión al Centro de Control Remoto. Esta conexión se realiza a través de un escritorio remoto con **laeff.inta.es**. Una vez conectados al equipo tras introducir las contraseñas que indique el astrónomo de soporte, observaremos la pantalla del interfaz de usuario HIDRA, que será el que se utilizará para realizar las observaciones de forma remota. En la pantalla hay una serie de pestañas que sirven para mostrar la información de cada una de las operaciones que se van a realizar (datos de calibración, información meteorológica, barridos, tránsitos, mapeos y tipping curve).
Para estar en contacto permanente con el astrónomo de soporte se usa Skype, de modo que al comenzar la observación los usuarios deben conectarse con el usuario **CentroControlPARTNeR** y tras establecer el contacto, toda la observación estará guiada por el astrónomo de soporte.

Los pasos a seguir durante una observación son:

1. Calibrado de la antena. Con esta acción el flujo medido por los medidores de potencia pasa a expresarse en grados kelvin.

2. Calibrado de apuntado. Con esta acción se comprueba que el apuntado es correcto, apuntando a objetos cercanos a la fuente a observar cuya posición se conoce con una gran exactitud.
Una vez que tenemos la antena calibrada y el apuntado corregido podemos pasar a estudiar la fuente que deseamos, con dos posibilidades.

Si la fuente es puntual:

3.1a Barridos sobre la fuente. Esta acción nos permite comprobar que el apuntado es correcto sobre la fuente a estudiar.

3.1b Tránsitos sobre la fuente. Situamos la antena delante de la fuente y la detenemos para que el movimiento de la Tierra haga el resto: la fuente irá desplazándose por delante de la antena, que está parada, y así obtenemos la medida de su flujo en radio frecuencia.

Las medidas obtenidas en estos dos procedimientos deben ser muy similares pues estamos midiendo lo mismo de dos formas diferentes.

Si la fuente es extensa:

3.2 Mapeo de la fuente. El mapeo es, en cierto modo, como realizar un cartografiado de la zona ocupada por la fuente. Consiste en una serie de scanes sobre la fuente, que no son más que tránsitos solapados entre sí y que cubren la zona ocupada por la fuente sobre el cielo.

Tras estas operaciones hemos de tener en cuenta que las medidas de temperatura que obtenemos están alteradas por la atmósfera que tienen que atravesar las ondas de radio para llegar hasta la antena; y, además, existe también una aportación no despreciable debida a la propia electrónica de la antena. Por ello es necesario realizar un último paso que nos permita corregir después los datos medidos:

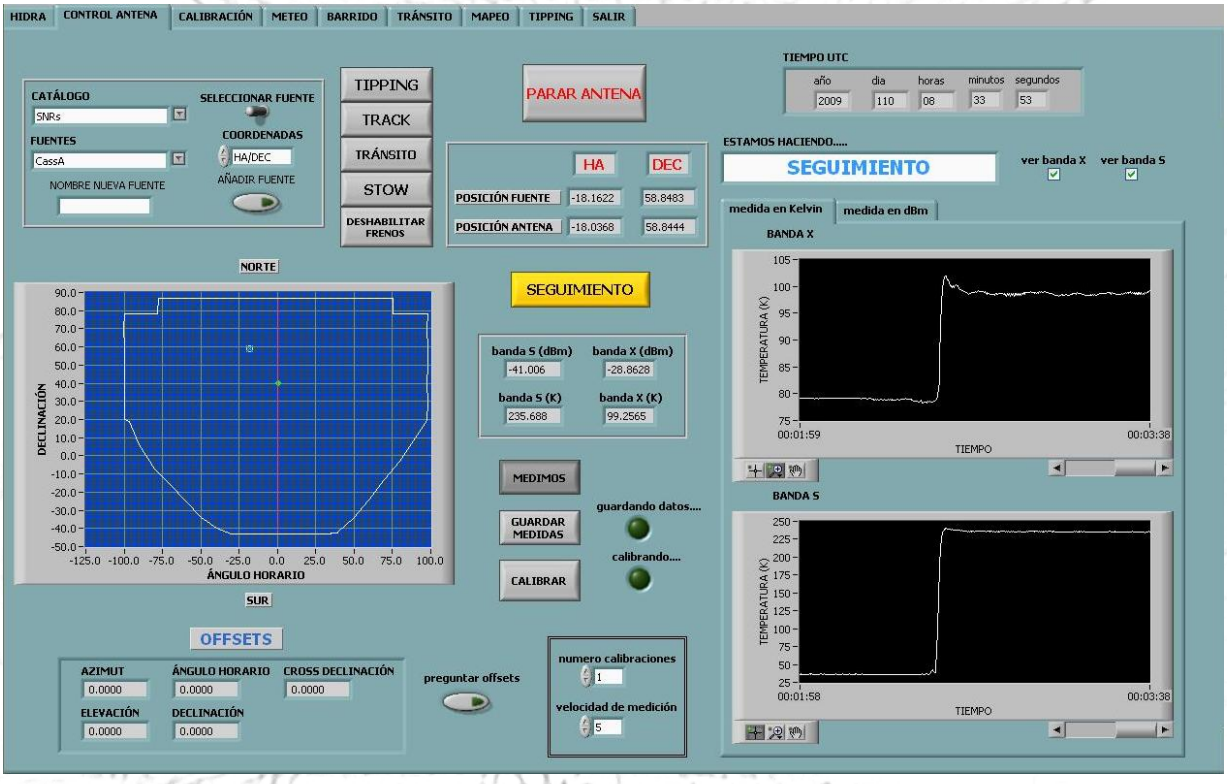
4. Tipping curve o Curva de temperaturas de la antena. El espesor de atmósfera que tienen que atravesar las ondas de radio en su camino hasta la antena depende de la elevación a la que se encuentra la fuente. Esta curva se obtiene realizando un barrido siguiendo una trayectoria en la que va variando la elevación a lo largo de la meridiana de la antena, desde un punto cercano al horizonte hasta el cenit.

Esquematizando, una observación puede resumirse así:

<table>
<tr><td colspan="2">Calibrado de la antena</td></tr>
<tr><td colspan="2">Calibrado de apuntado</td></tr>
<tr><th>Para fuente puntual</th><th>Para fuente extensa</th></tr>
<tr><td>Barridos</td><td rowspan="2">Mapeo</td></tr>
<tr><td>Tránsitos</td></tr>
<tr><td colspan="2">Tipping curve</td></tr>
</table>

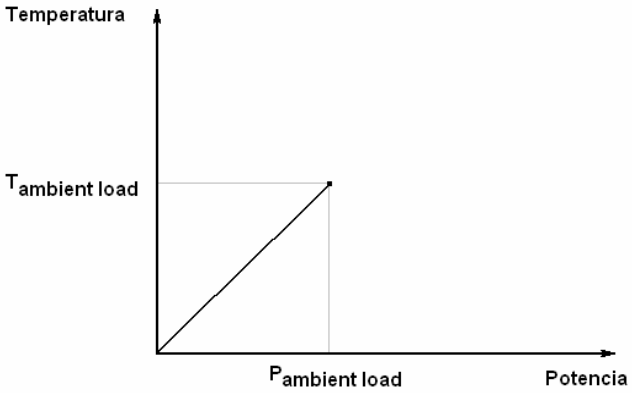
Calibrado de la antena

Cuando tomamos el control de la antena, la señal recibida por los medidores de potencia viene medida en decibelios (dBm). Medir la señal en unidades de potencia como el dBm no es de gran utilidad para los radioastrónomos (aunque sí para los ingenieros de antenas, que las usan para detectar errores en algún componente), ya que si usamos antenas diferentes, aún estando sobre la misma fuente, mediremos valores de potencia también diferentes. Por lo tanto, los valores de potencia se transforman a valores de temperatura (grados Kelvin). De esta forma, si la emisión recibida fuera debida a radiación de cuerpo negro, nos estaría dando una medida directa de la temperatura cinética de la fuente emisora. Esta conversión se realiza mediante el calibrado de la antena.
En nuestro caso, podemos hacer dos tipos de calibración: lineal o cuadrática (más exacta). Para ello se pulsa el botón “CALIBRAR” y, a continuación, se elige el tipo de calibración deseada. Durante el proceso de calibración, se enciende el led verde circular que se encuentra a la derecha del botón. Cuando la calibración finaliza, el led se apaga.



Los datos obtenidos aparecerán en la pestaña “CALIBRACIÓN”. El led verde que hay sobre cada tipo de calibración indicará la última calibración realizada. Además, los datos de cada calibración quedarán guardados en un archivo de texto para su posterior uso.

Para el calibrado lineal, hacemos uso únicamente de la denominada carga ambiente (en inglés ambient load), que es un cuerpo negro que se encuentra a temperatura ambiente y cuya temperatura se mide con un termómetro. Al calibrar el medidor de potencia suponemos que la recta de ajuste pasa por el origen, de modo que con el valor medido del ambient load, obtenemos fácilmente la relación lineal que transforma el valor de la potencia en dBm en un valor de temperatura en Kelvin. El coeficiente de proporcionalidad de esta relación se suele denominar *y factor*.



La relación temperatura-potencia sería pues:

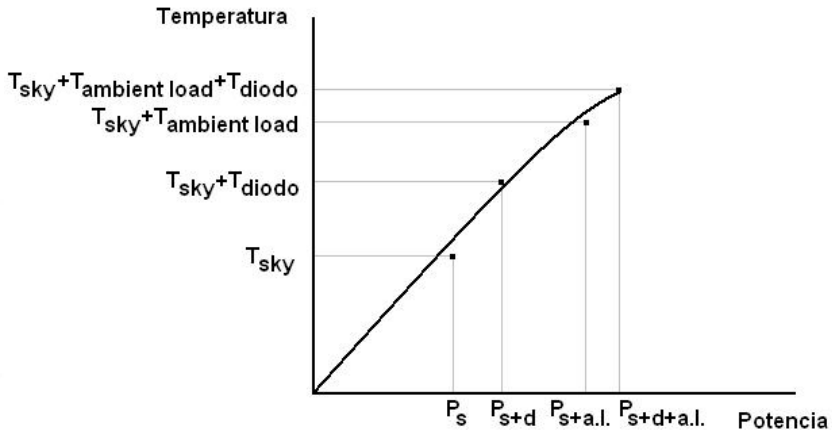
$$T = aP + b$$

Donde, como hemos señalado anteriormente, el término independiente lo consideramos nulo pues calibramos a cero los medidores de potencia.
Si queremos realizar la calibración de la antena de una forma más precisa utilizaremos el ajuste a un polinomio de segundo grado en lugar de a una recta. Para ello, usaremos ahora cuatro puntos de ajuste en vez de uno, lo que significa realizar cuatro mediciones de potencia:

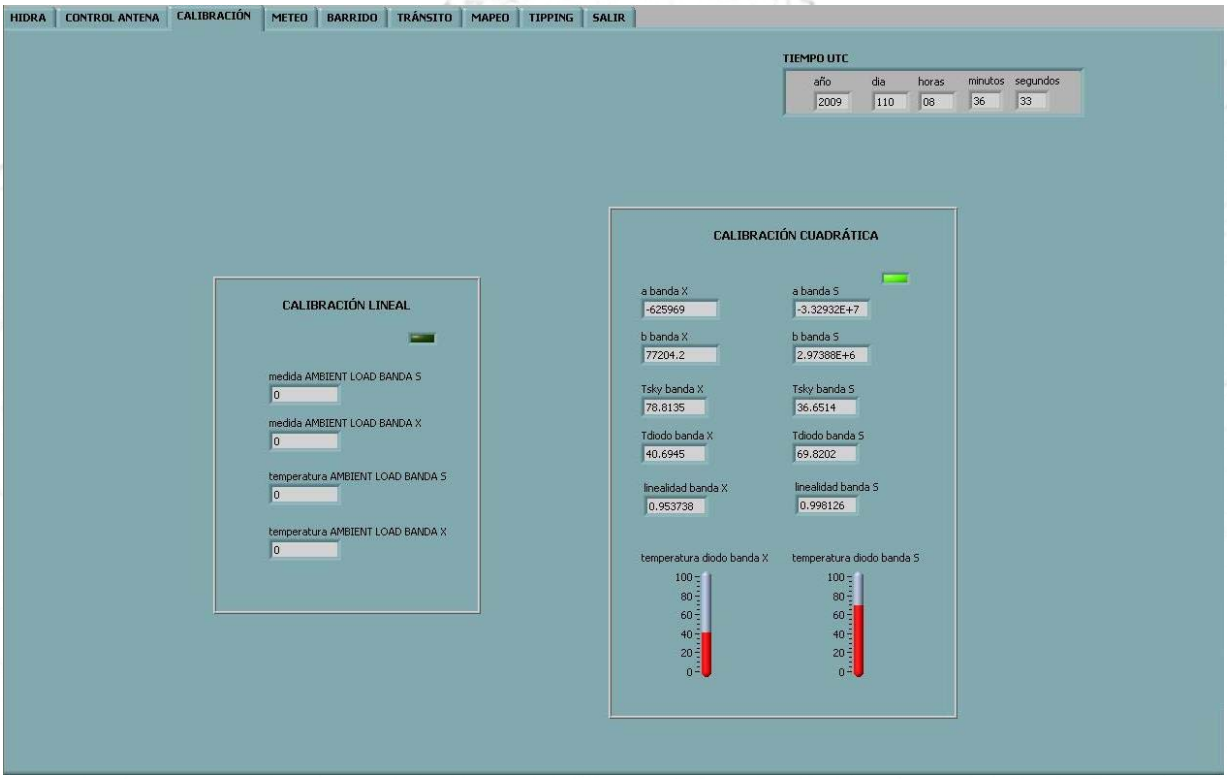
- Potencia al cielo (T_{sky}), denominada así porque se apunta a un lugar sin fuentes y se mide la potencia recibida.
- Potencia cuando conectamos el diodo ($T_{sky}+T_{diodo}$), que simplemente nos sirve para obtener otra medida de potencia para realizar la calibración.
- Potencia cuando conectamos la carga ambiente ($T_{sky}+T_{ambient\ load}$), que corresponde a la temperatura ambiente medida con el termómetro.
- Potencia cuando conectamos la carga ambiente más el diodo ($T_{sky}+ T_{ambient\ load}+ T_{diodo}$).

En este caso la relación temperatura-potencia sería la siguiente:

$$T = aP^2 + bP + c$$



Ahora hacemos dos suposiciones. La primera es que, al igual que en el caso del ajuste lineal, el término independiente es nulo debido a la calibración a cero del medidor de potencia. La segunda es que la aportación del diodo a la medida de sky y a la medida de la carga ambiente es la misma (aunque en realidad no es igual). Así, se despejan los valores de los coeficientes a y b de la expresión anterior y también se puede obtener el valor de la temperatura del diodo, que es de unos 40 K.
Para finalizar, podemos visualizar en la pantalla todos los datos obtenidos durante el proceso de calibración, así como la linealidad conseguida, es decir, lo que se ajustaría a una recta el proceso seguido.



La linealidad se expresa así:

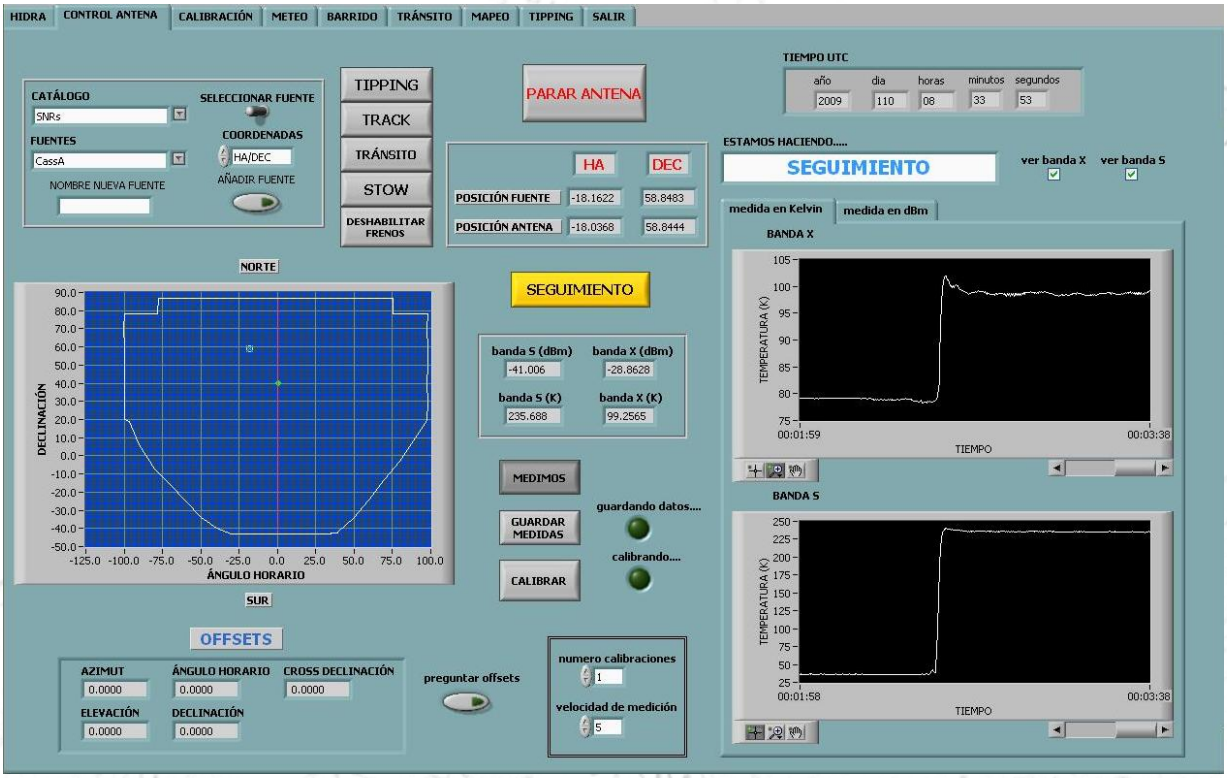
$$Linealidad = \frac{P_{sky+diodo} - P_{sky}}{P_{sky+diodo+ambient\ load} - P_{sky+diodo}}$$

Es importante señalar que para realizar correctamente la calibración, ésta debe hacerse con la antena parada y sin apuntar a ninguna fuente.
También, si queremos una medida más fiable, podemos realizar varias calibraciones pulsando en el control “numero calibraciones” y eligiendo el número de ellas que queremos hacer, para luego obtener el valor medio de todas ellas.

Calibrado de apuntado (barrido)

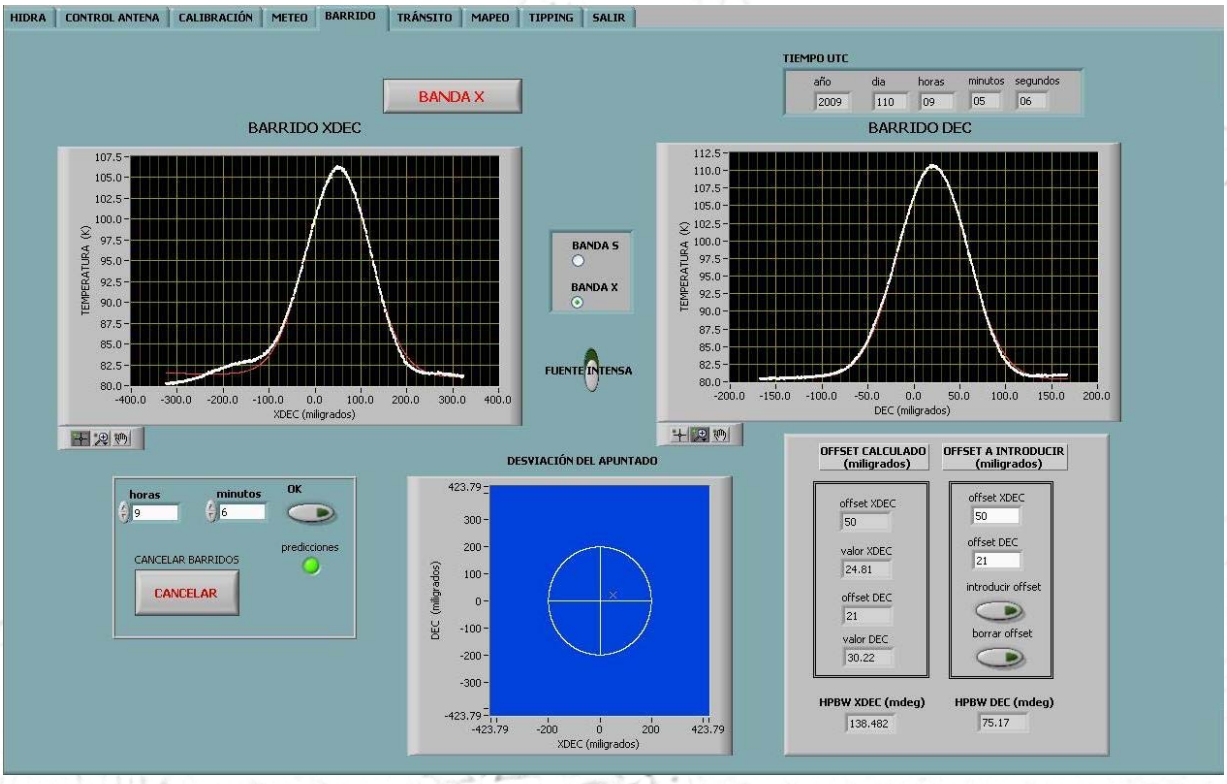
El siguiente paso será asegurarnos de que la antena apunta con la mayor exactitud posible al punto que deseamos. Para ello, antes de dirigirnos a la fuente que queremos estudiar, utilizamos un calibrador de apuntado, que no es más que una fuente cuya posición en el cielo se conoce con gran exactitud y se caracteriza, además, por una intensa emisión en radio.
El astrónomo de soporte indicará el calibrador de apuntado que se usará con cada una de las fuentes a observar. El calibrador es una fuente cercana a la zona donde está la fuente a observar y se usa para corregir el desapuntamiento que tiene la antena a esa elevación debido a deformaciones físicas de la propia antena, del subreflector, etc. Se realiza un barrido sobre el calibrador y se utiliza su intensa emisión para corregir el error producido en el apuntamiento desplazando el pico de señal lo que sea necesario hasta centrarlo. Si apuntáramos directamente sobre la fuente a observar, sin calibrar de apuntado la antena, probablemente no captaríamos nada debido al más que probable desapuntamiento de la antena y a que la fuente a observar generalmente suele ser débil.
Para seleccionar una fuente desplegamos los menús “CATÁLOGO” y “FUENTES”, y dentro de ellos seleccionamos el objeto a observar. A no ser que lo indique expresamente el astrónomo de soporte, no se utilizarán ni la ventana “NOMBRE NUEVA FUENTE” ni el botón “AÑADIR FUENTE”. Una vez seleccionada la fuente, lo confirmamos pulsando el botón “SELECCIONAR FUENTE”.
En la ventana “COORDENADAS” elegimos las coordenadas que queremos usar para ver en la pantalla las posiciones tanto de la antena como de la fuente: HA-DEC (ángulo horario-declinación) o AZ-EL (azimut-elevación). Las coordenadas de la fuente aparecen en la parte central superior.
Una vez seleccionada la fuente en las coordenadas deseadas, pulsamos el botón “TRACK” para que la antena se mueva hacia esa posición del cielo.

Para informar del estado de la antena tenemos el indicador de velocidad. Se trata de un cuadro que muestra diferentes colores y textos en su interior. Cuando la antena está en movimiento, el cuadro es verde, con el texto “MOVIMIENTO” en su interior. Del mismo modo, cuando la antena está parada el cuadro es de color rojo, con el texto “PARADA”.
Cuando la antena está sobre la fuente, veremos que, en la ventana que muestra las posiciones de la antena y la fuente, la cruz azul que señala la posición hacia la que apunta la antena está en el centro del círculo amarillo en la gráfica, que es la posición de la fuente. Además, veremos que el indicador de velocidad es de color amarillo con el texto “SEGUIMIENTO” en su interior, lo que indica que la antena está sobre la fuente y que la está siguiendo en su movimiento sobre el cielo.



Una vez que la antena está sobre la fuente y siguiéndola, realizamos el calibrado en apuntado realizando barridos sobre la fuente.
Un barrido consiste en mover la antena siguiendo una trayectoria que atraviesa a la fuente según dos direcciones mutuamente perpendiculares. La vertical se denomina de declinación y la horizontal de cross-declinación (que significa que "corta" a la de declinación).
Para la dirección horizontal no se usa ni el ángulo horario ni la ascensión recta, dado que sus divisiones tienen distinta medida dependiendo de la declinación: cuanto mayor es ésta menores son las divisiones. Por ello se toma una nueva unidad, la cross-declinación, que no varía.
Para realizar el barrido vamos a la pestaña “BARRIDO”. Primero elegimos, en la parte superior izquierda, la banda de frecuencia en la que vamos a realizar el barrido. Esto se hace así aunque podamos ver simultáneamente la medición de potencia en ambas bandas en las gráficas de la pestaña “CONTROL ANTENA”.

A continuación hemos de escribir la hora a la que queremos que comience el barrido en los controles “horas” y “minutos”, teniendo en cuenta que debe ser posterior a la hora UTC que vemos en el reloj de la parte superior derecha. Es necesario que dejemos un margen no inferior a 50 segundos entre la hora actual y la hora de comienzo del barrido. Una vez hecho esto, pulsamos el botón “OK”. A partir de aquí, el barrido se realizará automáticamente, primero en XDEC (cross-declinación) y después en DEC (declinación), a partir del instante señalado.
Durante el barrido aparecerá un indicador de color rojo con el texto “BARRIENDO FUENTE” en su interior, que indica que se están tomando datos para representar posteriormente las gráficas de XDEC y DEC.

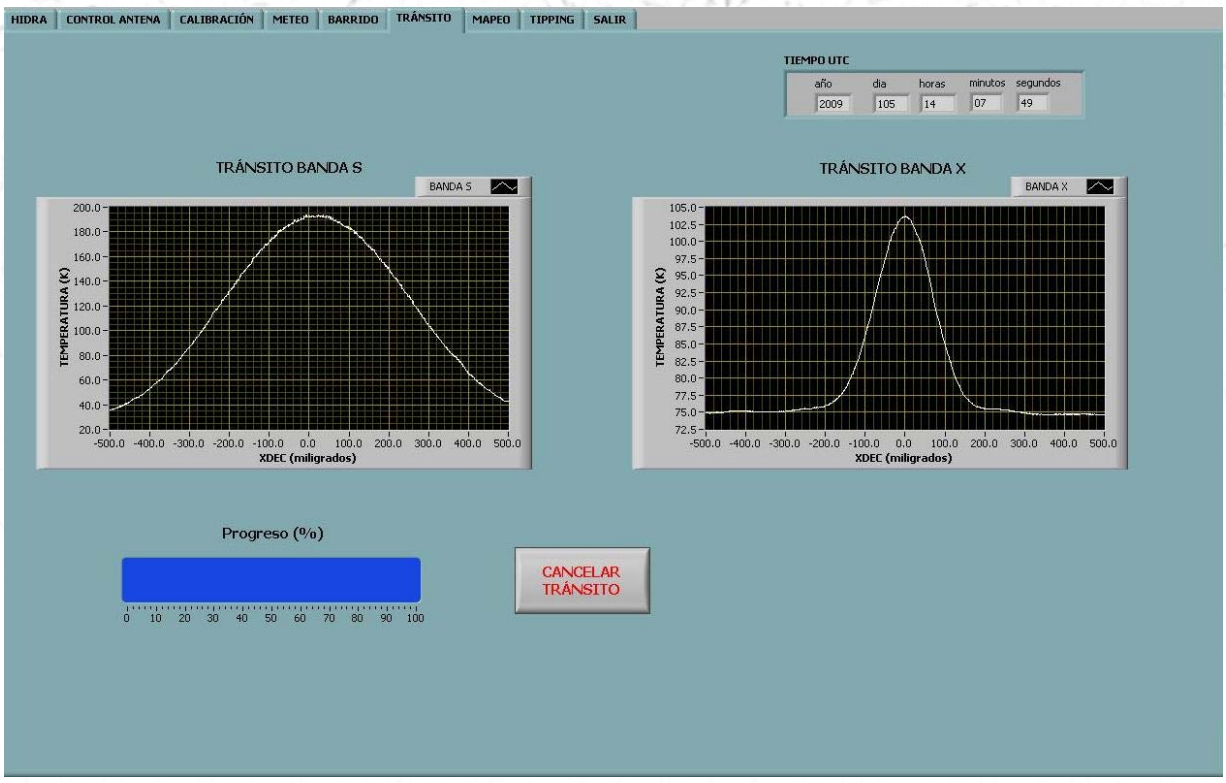


La duración de ambos barridos es de 3 minutos y medio en total. Sin embargo, podremos observar la gráfica del barrido en XDEC, una vez que se haya completado éste y antes de que comience el barrido en DEC. En dicha gráfica podremos ver si el pico de emisión está centrado o si, por el contrario, va a ser necesario introducir una corrección (offset) y desplazarlo para centrarlo en el cero de la gráfica.
Una vez tengamos el barrido completo, en la parte inferior derecha aparecerán tanto los valores del barrido en ambos ejes como sus desviaciones (offsets), expresados en milésimas de grado (mdeg).
Estos valores de los offsets calculados se usan para realizar las correcciones pertinentes, introduciendo dichos valores en la parte de la derecha (OFFSET A INTRODUCIR).

Una vez introducidos los valores correspondientes, pulsaremos el botón “introducir offset”. Cuando se haya apagado la luz verde de este botón significará que los offsets ya están introducidos, y podremos volver de nuevo a la pestaña “CONTROL ANTENA” y pulsar el botón “TRACK”. Con los nuevos offsets la antena debería estar centrada sobre la fuente. Sin embargo, para asegurarnos realmente de que la fuente está bien centrada, es conveniente repetir el proceso y realizar un nuevo barrido hasta ver que los offsets calculados se acercan a cero.
Como información visual adicional disponemos de una gráfica que simula un punto de mira. Con ello se facilita a los estudiantes el proceso de apuntado de la antena.
Después de realizar esta operación, se generan sendos ficheros de texto con los datos de los barridos (tanto en XDEC como en DEC) para su uso posterior.

Tránsitos

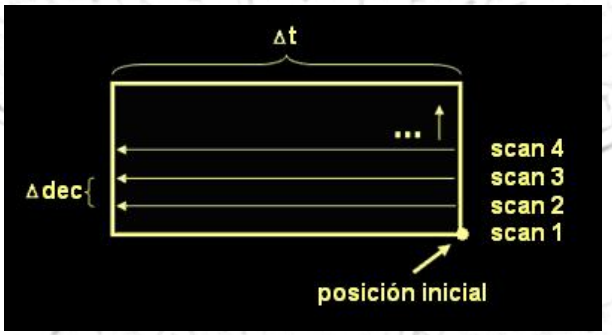
Mientras que en el barrido es la antena la que se mueve siguiendo dos trayectorias que se cruzan sobre la fuente, en un tránsito la antena se sitúa por delante de la fuente y después se para, dejando que sea la fuente la que se desplace por delante de ella.
Esto es lo que se hace con el botón “Tránsito” en la pestaña "CONTROL ANTENA" de forma automatizada. En particular, el valor añadido de offset es de 300 milésimas de grado tanto para banda X como para S, lo que quiere decir que hacemos que la antena se coloque 300 milésimas de grado por delante de la fuente.



Podemos ver la evolución del proceso examinando las gráficas de la potencia recibida, tanto en banda X como en banda S, en la pestaña “CONTROL ANTENA”. Una vez terminado el tránsito, las gráficas resultantes pueden verse en la pestaña “TRÁNSITO”. En las curvas resultantes, de perfil gaussiano, el valor del máximo corresponde a la potencia de la fuente observada.
Con la realización de un tránsito aseguramos que se ha seguido bien el proceso de apuntamiento de la antena, pues las gaussianas obtenidas tanto en los barridos como en el tránsito deben tener el mismo valor en el máximo.

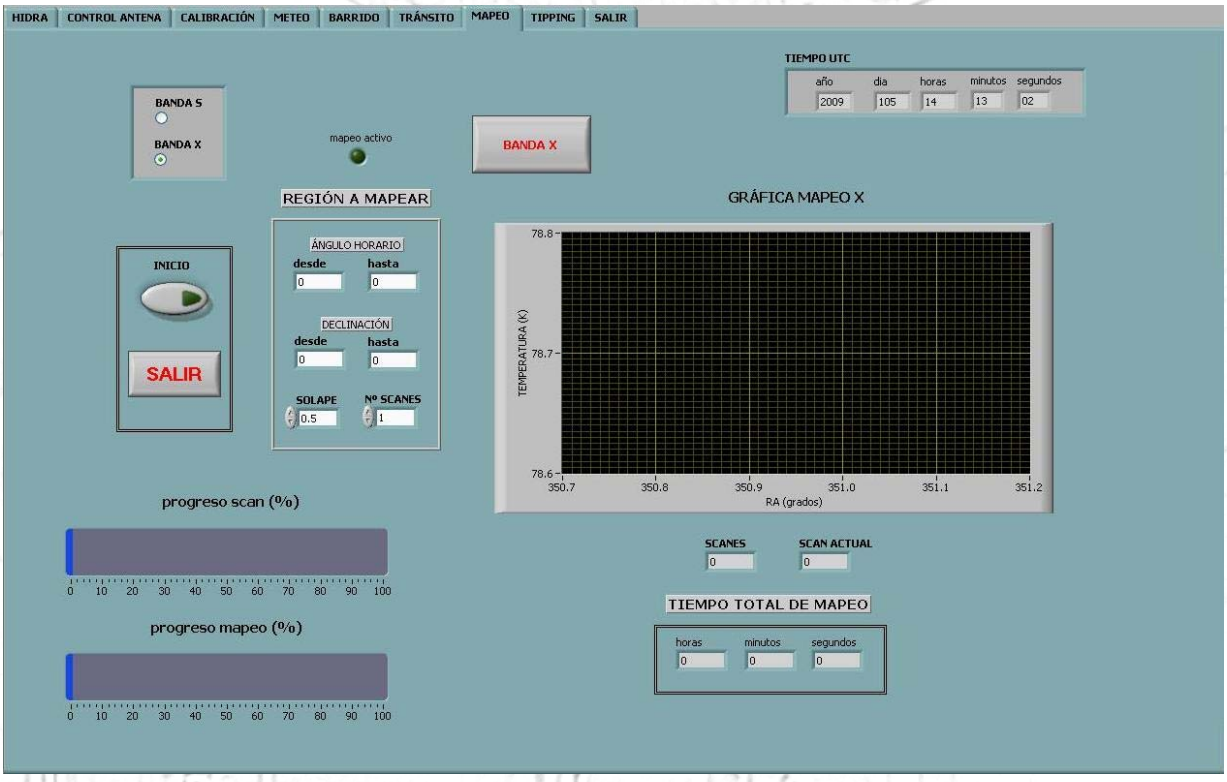
Mapeo de una fuente

El mapeo de una fuente consiste en la toma de medidas de potencia para un cierto ancho de HA y para diferentes valores de declinación. Cada una de estas mediciones se denomina scan, tal y como puede apreciarse en la siguiente figura:



Los mapeos se hacen de forma completamente automatizada. Comenzamos desde la pestaña “MAPEO” eligiendo la banda de trabajo (X o S) en la parte superior izquierda. Para iniciar el proceso el led “mapeo activo” debe estar iluminado. A continuación elegimos el *rectángulo* a mapear.
Para ello escogemos las dimensiones del mapa dando los valores adecuados, orientados por el astrónomo de soporte, tanto del ancho en HA (ángulo horario) como del ancho en DEC (declinación).
El control “solape” nos permite solapar un scan con el siguiente. Así, si elegimos como valor de solape 0,5, eso significa que entre un scan y el siguiente habrá una separación entre sus puntos medios de medio haz. Esto significa que los scanes se solapan a la mitad de su ancho (recordemos que el ancho de haz en banda X es de 67 milésimas de grado, y en S es de 254 milésimas de grado).
Con el control “nº scanes” podemos elegir el número de scanes (desde 1 hasta 10) que queremos hacer dentro del *rectángulo* elegido, por si no tenemos tiempo suficiente para realizar un mapa completo de la fuente. Lo que obtenemos entonces es una porción de la fuente deseada, pudiendo terminar el resto del mapa en una observación posterior.

Si el tamaño del *rectángulo* a mapear no es demasiado grande y tenemos tiempo para completar todo el mapa, en el control "nº scanes" elegiremos la opción TODO.
Una vez introducidos todos los parámetros, se pulsa el botón "Inicio" para iniciar el mapeo. Podemos realizar dos tipos de seguimiento, uno continuo, observando la toma de datos en las gráficas de banda X y S en la pestaña "CONTROL ANTENA" (viendo la sucesión de todos los scanes), o viendo uno a uno los scanes realizados en la gráfica de la derecha.
Debajo tenemos un indicador, denominado "SCAN ACTUAL", que informa del scan que está haciendo la antena en ese momento. La curva que aparece en la gráfica de mapeo corresponderá al último scan realizado.
Al terminar el proceso aparecerá un botón en la parte inferior de la pantalla con el texto "FIN MAPEO". Posteriormente, también de manera automática, la antena volverá a realizar el seguimiento del objeto que acabamos de mapear.
De este modo podemos mapear objetos extensos como remanentes de supernova, nubes de gas o galaxias, obteniendo datos de la potencia recibida en cada scan.
Posteriormente podemos construir el mapa con todo el conjunto de datos obtenido. Puede ser de utilidad asociar un color diferente, por ejemplo, a cada uno de los rangos de valores de potencia medidos.



Curva de temperaturas del sistema (tipping curve)

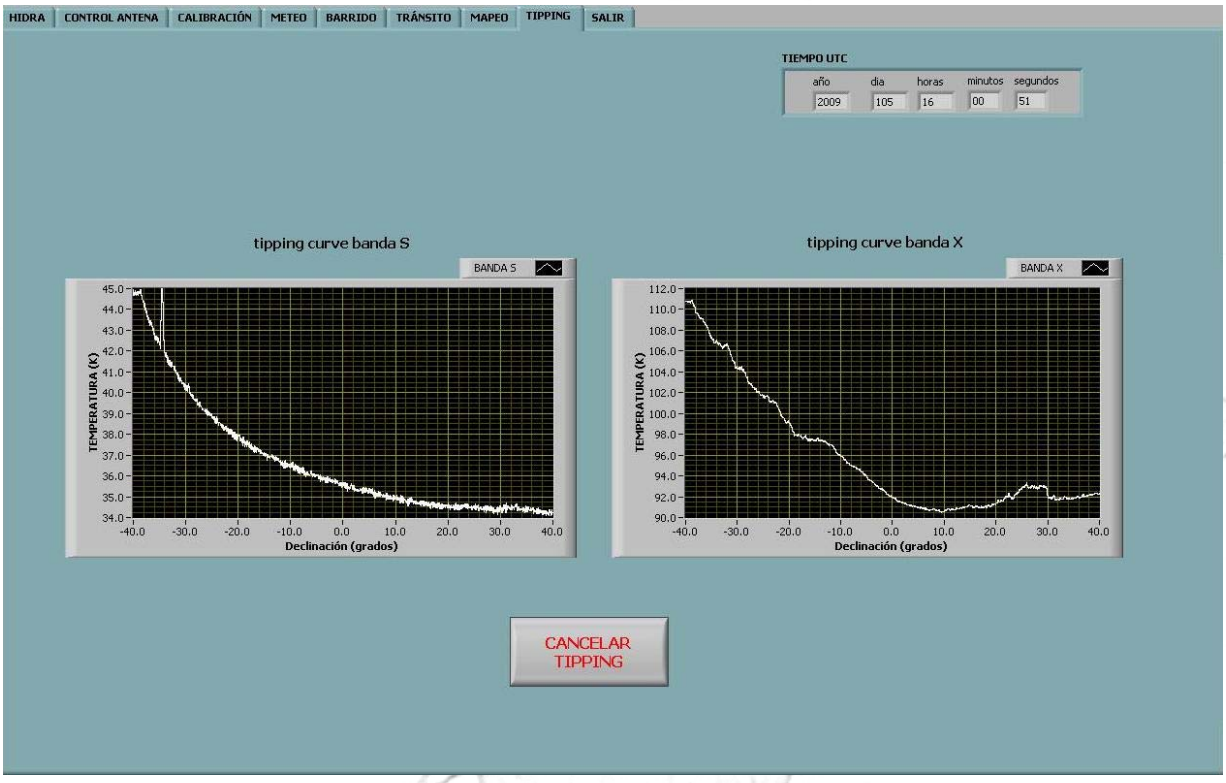
Las medidas de temperatura tomadas durante la observación están afectadas por la contribución de la atmósfera. Para eliminar esa aportación realizamos la tipping curve o curva de temperaturas del sistema.

$$T_{sistema} = 265(\tau_0 A) + T_{electrónica}$$

Siendo:

$$A = \frac{1}{\sin(el)}$$

opacidad en el cenit	masa de aire	elevación	temperatura de calibración
τ_0	A	el	$T_{electrónica}$

Una vez hayamos calculado la temperatura del sistema $T_{sistema}$, únicamente nos queda restar este valor al obtenido al observar una fuente. Con ello tendremos el valor real de la potencia del objeto.
Para realizar este proceso pulsamos primero, en la pestaña "CONTROL ANTENA", el botón "STOP" para parar la antena. Posteriormente pulsamos el botón "TIPPING". La antena se mueve entonces hacia una posición de baja elevación, esto es, con una declinación baja. En nuestro caso la antena baja hasta una declinación de -40º. Una vez que llega a esta posición, la antena irá automáticamente a la posición de STOW. En ese instante comienza a realizarse la tipping curve y también el proceso de toma de datos para la curva de temperaturas.
Del mismo modo que ocurría en el caso del mapeo, podremos hacer el seguimiento de la toma de datos en las gráficas que aparecen en la pestaña "CONTROL ANTENA".
Una vez finalizado el proceso (que puede comprobarse en la pestaña "CONTROL ANTENA" viendo que el indicador de velocidad muestra que la antena está parada y que en la gráfica de posición de la antena ésta está en STOW), aparecerá la tipping curve, tanto en banda X como en S, en las gráficas de la pestaña "TIPPING".
Además, al igual que en los procesos anteriores, los datos se guardan en un fichero de texto para que se pueda trabajar posteriormente con ellos.

Con toda esta información se calcula el valor de la opacidad en el cenit. Con este dato ya se podrá eliminar la aportación atmosférica de cada una de las medidas tomadas durante la observación y corregir los datos para obtener información sobre la emisión recibida.