

# **EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO Y EL ESTUDIO DEL SOL**

**POR**

**PERE SOLER I ALBA**

Mayo 2006

# EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO Y EL ESTUDIO DEL SOL

Pere Soler i Albá

Cada región del espectro electromagnético requiere técnicas particulares para su estudio que difieren mucho entre sí. Estamos acostumbrados a la parte del espectro cuya longitud de onda está comprendida entre  $4$  y  $7 \times 10^{-7} m$  en la que nuestro sentido de la vista es un excelente detector y que con la ayuda de determinados elementos ópticos y electrónicos (prismáticos, telescopios, cámaras CCD etc.) nos permiten obtener resultados lo suficientemente satisfactorios para poder configurar modelos que nos acerquen a la comprensión del universo.

Hasta bien entrado el siglo XX, esta era la ventana principal para estudio del universo, pero los trabajos pioneros de Jansky y Reber, entre los años treinta y los cincuenta, nos abrieron las puertas de la parte baja del espectro, la comprendida entre las longitudes de onda de  $10^6$  a  $10^{-3} m$ , conocidas como ondas de radio, lo que permitieron otra forma de hacer astronomía, no distinta, sino complementaria, objeto de este trabajo, que no pretende ahondar en el desarrollo histórico y su evolución (hay suficiente bibliografía al respecto), sino proporcionar al interesado en el tema, las pautas básicas para iniciarse en el estudio de esta técnica.

Dentro de las posibilidades que esta técnica nos puede proporcionar, nos centraremos en el estudio del Sol ya que por su proximidad es la fuente más intensa con la que podemos obtener resultados con medios más bien modestos.

Realizar estudios sobre la actividad solar dentro del espectro radioeléctrico los podemos efectuar mediante dos procedimientos: indirectos y directos.

## PROCEDIMIENTOS INDIRECTOS

La metodología indirecta se basa en la utilización de la parte más baja del espectro, las VLF (Very Low Frequency). Uno de los procedimientos, está basado es el programa INSPIRE auspiciado por la NASA y cuyo principal impulsor fue el Dr. W.L. Taylor (1921-2005) en el cual más de mil institutos de secundaria estadounidenses en sus clases de física, recopilan activamente datos que pueden utilizarse en proyectos de investigación básica, consiste en un sencillo receptor de banda ancha formado por una antena de cuadro sintonizada entre los 200hz y los 10khz, un amplificador y un altavoz. Con este sencillo equipo pueden oírse los denominados sonidos naturales de la Tierra: Sferics, Tweeks, Whistlers... etc. Si a este sencillo equipo se le sustituye el altavoz por un conversor Analógico-Digital, pueden visualizarse las curvas y registrarse los datos en cualquier ordenador (los escolares americanos utilizan los ordenadores de deshecho tipo 486 o anteriores, ya que los programas de visualización de datos funcionan generalmente bajo DOS en BASIC o QBASIC).

Para el diseño de una antena de cuadro sintonizada de forma circular, utilizaremos la conocida fórmula:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

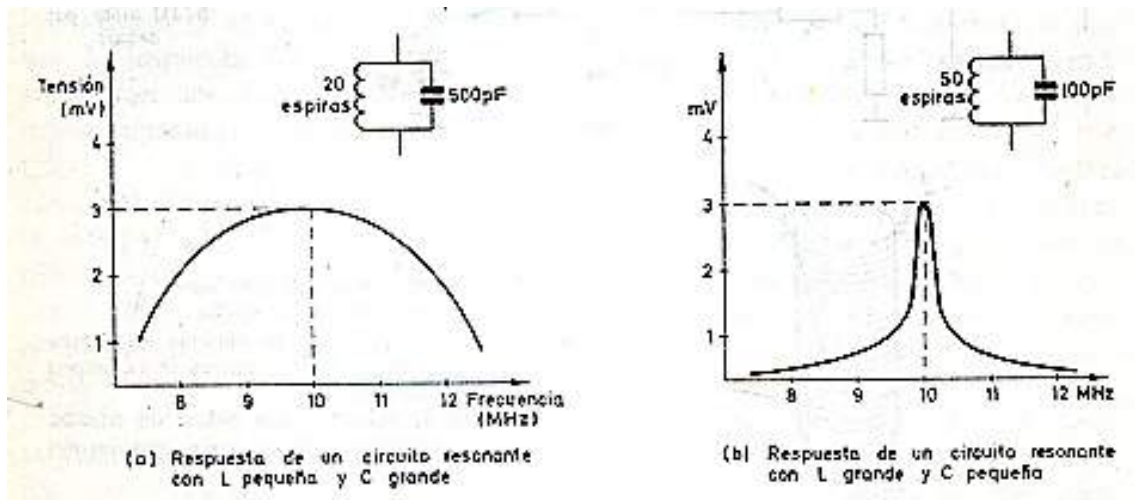
que nos da la frecuencia de sintonía de un circuito en hercios, en la que “L” viene dada en henrios y “C” en faradios . Pero antes debemos conocer el valor de L que es:

$$L = 1,257 \frac{n^2 S}{10^8 l}$$

en la que “n” es el número de vueltas “S” la sección en  $cm^2$  y “l” es la longitud de la bobina en cm y “L” nos vendrá dada en henrios.

Para mayor comodidad en los cálculos, ya que hay que experimentar, lo mejor es hacernos una hoja de cálculo con estas fórmulas, en la cual podemos variar cada uno de los datos para obtener el resultado que más nos satisfaga.

En la primera fórmula vemos que la frecuencia de sintonía es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de L y C esto quiere decir que se puede sintonizar la misma frecuencia por ejemplo con una bobina de 20 espiras y un condensador de 500 pF o con otra bobina de 50 espiras y 100 pF.



En el primer caso con menos espiras y un condensador mayor para una misma frecuencia, tendremos la sintonía en banda ancha con lo cual recibiremos mayor cantidad de información alrededor de la frecuencia fundamental, el segundo caso es el normal en un receptor de radio convencional con lo que nos interesa sintonizar una emisora concreta sin que se mezcle con la emisora contigua (banda estrecha)

El ancho de banda de un circuito resonante es:

$$A_b = \frac{f}{Q}$$

siendo

$$Q = \frac{2\pi fL}{R}$$

y recordemos que R es:

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

siendo R la resistencia en  $\Omega$ , "l" en m. y "s" en  $mm^2$   $\rho$  para el cobre es de  $0,018\Omega mm^2 / m$

Confeccionando una hoja de cálculo con estas fórmulas tendríamos por ejemplo que con una forma de antena circular de 0,5m de diámetro (equivalente a una rueda de bicicleta) con 20 espiras de hilo esmaltado de 0,2mm de diámetro y una longitud de 1cm y un condensador de 50000 pF tendremos una frecuencia de resonancia de 7,2Khz con un ancho de banda de 290hz

Otro dato importante es la denominada abertura eficaz de la antena de cuadro, en el caso de una antena de forma circular la abertura eficaz es:

$$A_e = 0,7854d^2$$

siendo d el diámetro de la bobina.

En el ejemplo anterior la abertura eficaz sería de  $4 m^2$

Cada investigador con todos estos datos escogerá la solución que le sea mas de su interés para su trabajo, una persona situada en el campo y lejos de la contaminación eléctrica le puede interesar una gran abertura eficaz y otra persona en una ciudad con contaminación media le puede interesar una abertura eficaz menor, etc. Como que el coste de materiales es bajo, es cuestión de experimentar cual es la mejor solución en cada caso.

Se han obtenido buenos resultados incluso utilizando como antena cuatro bobinas de cable normal de instalación doméstica, de unos cien metros de cable unifilar cada una y orientadas con los puntos cardinales, colocando a la salida de esta "antena" un filtro resonante como el calculado anteriormente, lógicamente en forma de bobina de dimensiones mucho mas pequeñas.

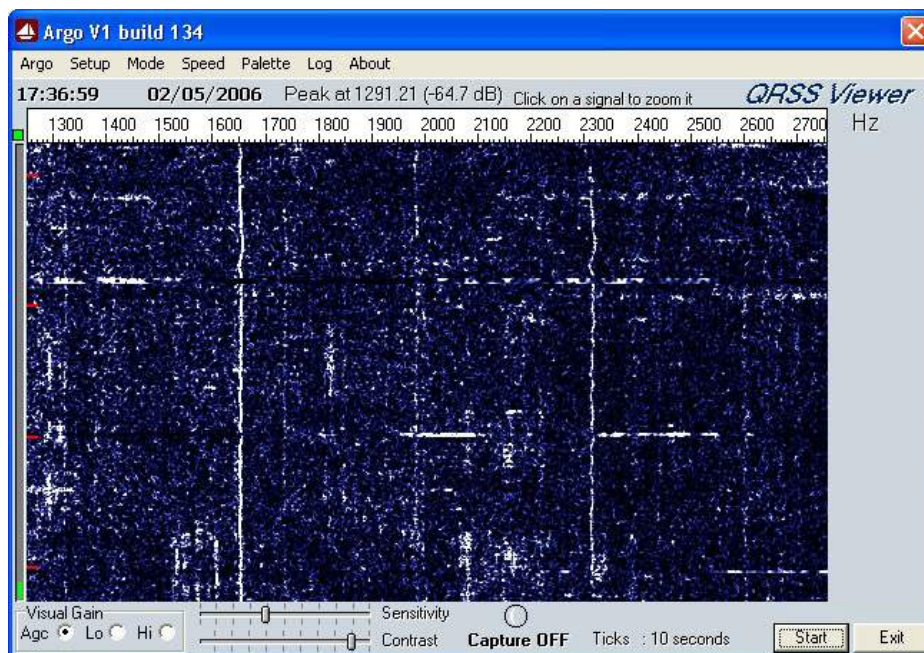
Pero ¿qué se oye con un equipo tan sencillo?: Los que trabajan en estas frecuencias dicen que la música natural de la Tierra: chasquidos de los relámpagos, el choque y deslizamiento del viento solar en el campo magnético de nuestro planeta, los silbidos producidos por los fenómenos ionizantes de las auroras, etc.

[http://ciencia.nasa.gov/headlines/y2001/ast19jan\\_1.htm](http://ciencia.nasa.gov/headlines/y2001/ast19jan_1.htm)

Estos sonidos naturales son mas continuos y complejos en las épocas de alta actividad solar ya que su incidencia en nuestro planeta es mayor y su frecuencia es siempre por debajo de los 10Khz

En vez de un altavoz o de un conversor analógico digital a la salida del amplificador podríamos también utilizar la placa de sonido de nuestro ordenador y entrar por el jack del micro, la salida del receptor, una vez obtenido algún programa “analizador de espectro de audio” y así poder analizar las señales recibidas por la antena y guardar en el disco duro las señales que consideremos interesantes.

Un programa fácil e interesante para este objeto puede ser el ARGO que lo podéis bajar por internet desde <http://www.weaksignals.com>

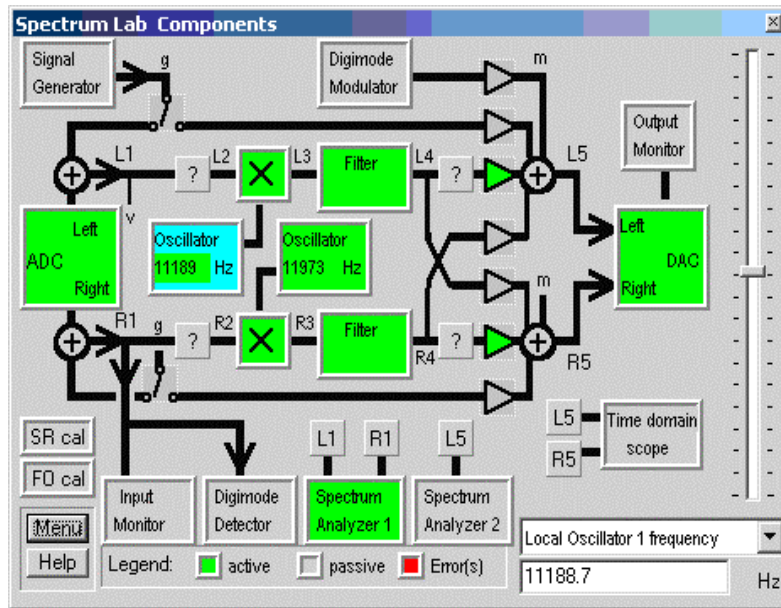


Como información complementaria y bajando hasta el límite inferior de VLF desde 0 a 30 hz tenemos una zona muy específica de investigación bioelectromagnética y geológica, como ejemplo de la primera es la Resonancia de Schuman (cavidad resonante formada entre la ionosfera y el suelo) en la que los sferics y otras fuentes pueden excitar esta cavidad a una frecuencia de 7,8hz (esta frecuencia que al parecer tiende a aumentar es consistente con la del campo electromagnético del hipotálamo, del corazón y del cerebro) y ejemplo de la segunda es que al parecer, el frotamiento de las placas tectónicas generan un campo electromagnético de frecuencias inferiores a 5hz y cuya señal aumenta poco antes de un terremoto.

Si disponemos de un ordenador pentium III que no usemos o queremos solo experimentar algunos ratos en VLF, podemos convertirlo en un excelente receptor de VLF usando un software específico utilizando solamente la placa de sonido de nuestro ordenador. Este programa denominado SPECLAB es un analizador espectral muy completo, en realidad es un auténtico laboratorio espectral, y podemos bajárnoslo de <http://www.qsl.net/dl4yhf/spectral1.html>

Mediante el mismo software podemos cambiar filtros, anchos de banda, frecuencias, etc. todo a nuestro interés, no es fácil su manipulación (las instrucciones están en inglés) pero con un poco de práctica pronto le encontramos el truco.

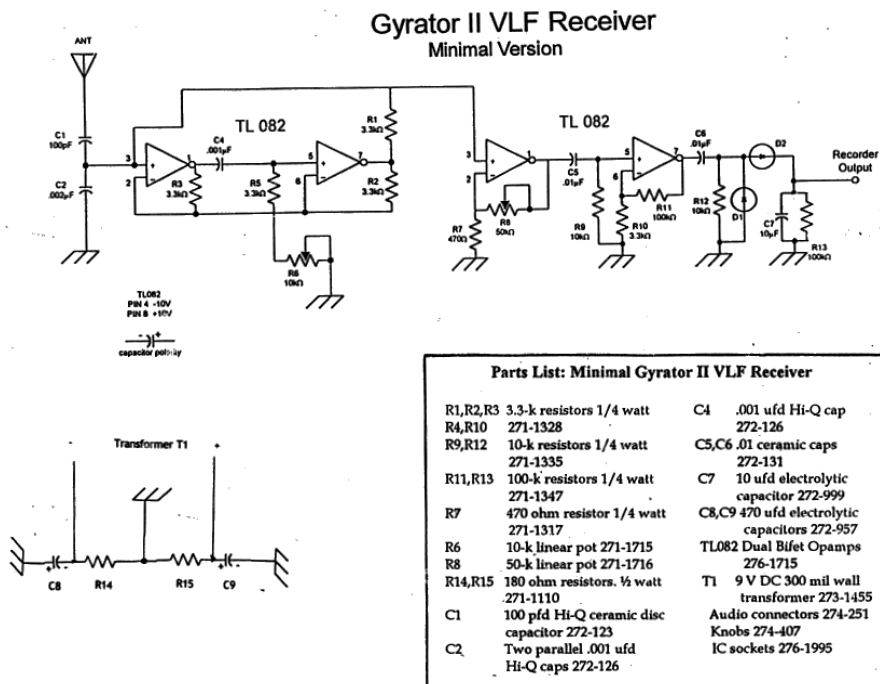
El diagrama de bloques de su circuito es el siguiente:



### PROCEDIMIENTO INDIRECTO.-Estudio específico del Sol

Entremos ahora ya aunque sea como procedimiento indirecto con el primer método específico para el estudio del Sol, seguiremos en la misma banda de VLF, pero ahora en banda estrecha y consiste en sintonizar una emisora en esta banda y estar continuamente a la escucha y cuando incida en nuestra atmósfera ionización procedente del Sol: fulguraciones, viento solar, etc. notaremos un reforzamiento de la señal de la emisora sintonizada.

En este método se basa el programa SID (Suden Ionospheric Disturbances) de la sección solar de AAVSO (American Association of Variable Star Observers) y el receptor tipo diseñado por Arthur J.Stokes,Sr es el siguiente:





Para mas información consultar la página de AAVSO :

<http://www.aavso.org/observing/programs/solar/>

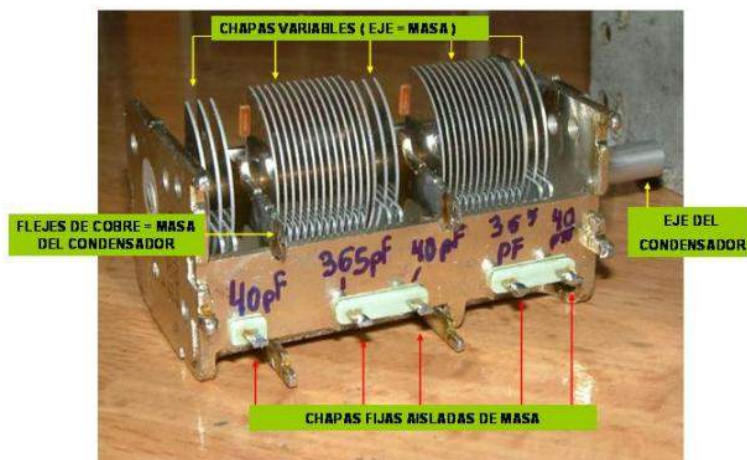
Como vemos es igual al método anterior, una antena sintonizada seguida de un amplificador (el indicado es solo a modo de ejemplo, puede ser cualquier otro), utilizando las fórmulas anteriores podemos sintonizar entre los 15 y 40 Khz.

#### EMISORAS QUE PODEMOS USAR COMO TESTIGOS

(Recordemos que las emisoras “normales” en O.L. empiezan a los 150 Khz )

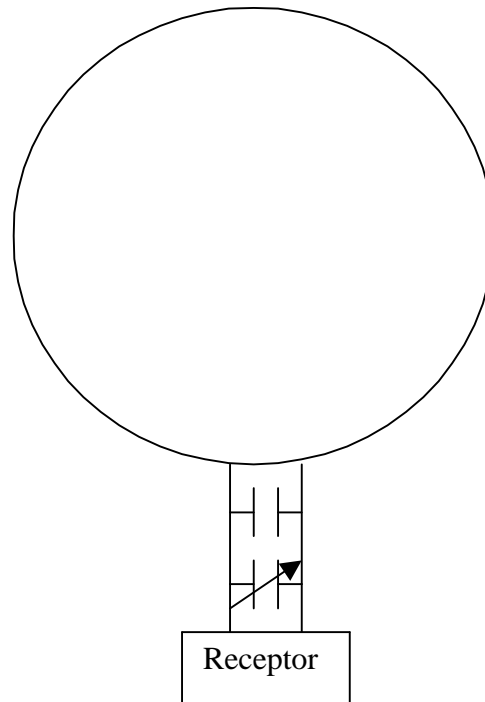
EMISORA	PAIS	FRECUENCIA Khz
HWU	FRANCIA	15,1
FTA	FRANCIA	16,8
ICV	ITALIA	20,27
GOD	GRAN BRETAÑA	19,6
GYA	GRAN BRETAÑA	21,37
JXN	NORUEGA	16,4
TBB	TURQUIA	26,7
UGE	RUSIA	19,7
UGKZ	RUSIA	30,3
UIK	RUSIA	15,0
NAA	U.S. NAVY (USA)	24,0
NML	USA	25,2
NRK	USA	37,5

Al estar trabajando en banda estrecha, es conveniente la utilización de un condensador variable en paralelo con otro condensador para poder ajustar la frecuencia (aunque teóricamente la bobina y el condensador que hemos calculado tengan una resonancia conveniente, la realidad suele ser otra y el condensador variable nos permitirá realizar un ajuste mas fino), y cuando mas lejana sea la estación sintonizada, mejor rendimiento.



El tipo de condensador variable de la figura (u otro parecido), lo podremos encontrar en receptores de radio antiguos, años 50 o 60 y son el ideal para nuestro propósito (utilizaremos solo una sección del mismo).

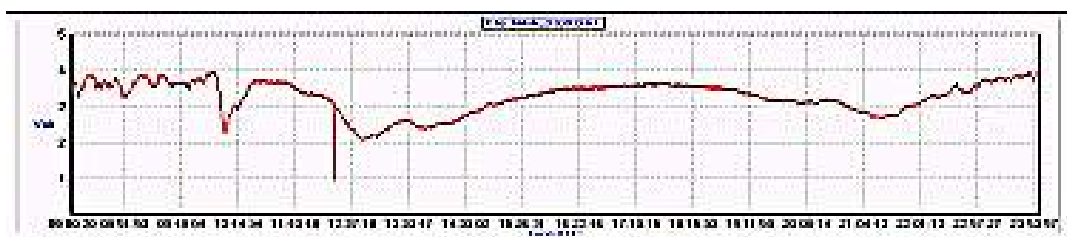
Veamos el esquema sintonizador, supuesta la antena circular:



Como ejemplo si por cálculo necesitamos un condensador de 1200pf podemos colocarlo en paralelo un condensador fijo de 1000pf y uno variable de 360pf, girando el variable podremos sintonizar la frecuencia deseada (recordemos que en los condensadores conectados en paralelo se suman las capacidades).

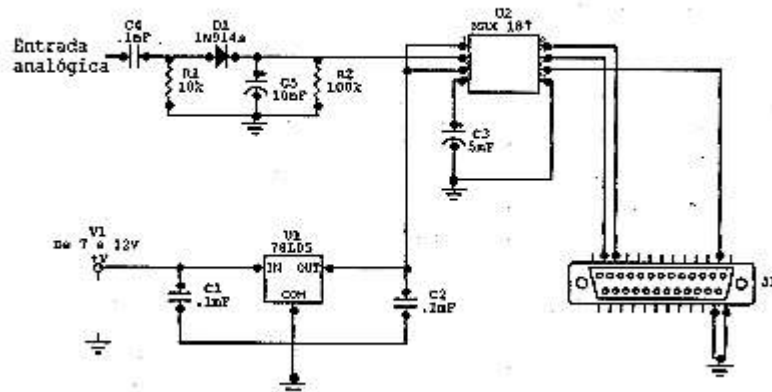
A la salida del receptor se puede entrar al ordenador por la placa de sonido (entrada micro) y utilizar un analizador de espectro, o para mi lo más conveniente, intercalar un convertor analógico digital y conectar su salida al puerto paralelo del ordenador y poder así posteriormente analizar las imágenes.

Gráfica tipo obtenida con un convertor A/D



Aunque puede utilizarse cualquier convertor, expongo por su facilidad de montaje, el del esquema siguiente, el MAX 187, la pieza mas cara del montaje, ronda los 45€





Caso de adquirir un conversor A/D ver que sea de 16 bits y salida 0 -5V para que sea compatible con la entrada paralelo (esta entrada admite un máximo de 5V)

A continuación expongo un programa tipo, en QBASIC, para que cualquier interesado pueda adaptárselo, traducírselo, pasárselo a VISUALBASIC etc.

### EJEMPLO DE RUTINA DE ADQUISICIÓN Y REPRESENTACIÓN DE DATOS (Rutina escrita por Flavio Falcinelli)

```

DIM y(650)
DIM Vmedio(650)
DIM tempo$(650)
scherm% = 1
car% = 0
x% = 14 'Offset grafico per le ascisse
Nsample% = 1 'Numero di campioni acquisiti dalla seriale
FOR i% = 15 TO 630 'azzera i vettori contenenti i dati
tempo$(i%) = ""
Vmedio(i%) = 0
NEXT i%
ini: CLS
LOCATE 2, 10
PRINT "-> ACQUISIZIONE AUTOMATICA <->"
LOCATE 3, 14
PRINT "programma scritto da Flavio Falcinelli - Maggio 2004"
rip: LOCATE 10, 5
INPUT "Su quanti campioni vuoi eseguire la media "; Ncamp%
IF Ncamp% < 1 THEN BEEP: CLS : GOTO ini
flag% = 0
rep: LOCATE 13, 5
INPUT "Vuoi salvare su un file i dati ricevuti (S=si N=no) "; c$
IF (c$ = "S") OR (c$ = "s") THEN
flag% = 1
digita: LOCATE 14, 5
INPUT "Nome del file di dati (solo 2 caratteri): "; nome$
IF LEN(nome$) = 2 THEN GOTO cont
CLS
BEEP: BEEP
LOCATE 14, 5
PRINT "-> ERRORE: digitare solo 2 caratteri!"

```

```

FOR t = 1 TO 10000: NEXT 'ritardo
nome$ = ""
GOTO digita
END IF
IF (c$ = "N") OR (c$ = "n") THEN GOTO cont ELSE GOTO rep
cont: Nmedia% = Ncamp%
OPEN "COM1:9600,N,8,1,CD0,CS0,DS0,OP0,RS,TB2048,RB2048" FOR RANDOM AS #1
'-----
' Finestra principale di visualizzazione dei dati
'-----
5 CLS
SCREEN 9
data$ = DATE$
tempoin$ = TIME$
LOCATE 25, 1: PRINT "0"
LOCATE 22, 1: PRINT "1"
LOCATE 19, 1: PRINT "2"
LOCATE 17, 1: PRINT "3"

LOCATE 14, 1: PRINT "4"
LOCATE 11, 1: PRINT "5"
LOCATE 10, 74: PRINT "tempo"
LOCATE 1, 10
PRINT "-> ACQUISIZIONE AUTOMATICA per RAL_Data16 di RadioAstroLab <-"
LOCATE 5, 18: PRINT "Valore medio del segnale acquisito ="
LOCATE 10, 4: PRINT "<Esc> per uscire"
LOCATE 9, 4: PRINT "schermata n."; scherm%
LOCATE 10, 27: PRINT "Numero campioni mediati ="; Ncamp%
LOCATE 3, 21: PRINT "Ora locale inizio misura: "; tempoin$
LOCATE 9, 69: PRINT data$
LINE (16, 144)-(630, 344), 15, BF
LINE (15, 143)-(631, 345), 8, B
LINE (14, 142)-(632, 346), 8, B
LINE (16, 144)-(630, 344), 8, B
FOR i% = 144 TO 344 STEP 20
LINE (16, i%)-(630, i%), 12, , &H1111
NEXT i%
FOR j% = 16 TO 616 STEP 20
LINE (j%, 144)-(j%, 344), 12, , &H1111
NEXT j%
'-----
' PROGRAMMA PRINCIPALE
DO
c = ASC(INPUT$(1, #1))
LOOP WHILE c <> 255 'cerca il carattere di controllo inizio campione
a$ = INPUT$(3, #1) 'Riceve 3 byte dalla linea seriale
somma = 0
a1 = ASC(MID$(a$, 1, 1)) 'LSbyte del dato a 16 bit
a2 = ASC(MID$(a$, 2, 1)) 'MSbyte del dato a 16 bit
somma = somma + a1 + a2 * 256
volt = somma * 5 / 65535 'Rappresentazione scala VOLT (5V f.s.)
y(x%) = 344 - 40 * volt
DO
x% = x% + 1
media = 0
FOR jj% = 1 TO Nmedia%
IF INKEY$ = CHR$(27) THEN CLOSE #1: END
a$ = INPUT$(Nsample% * 3, #1)
somma = 0
FOR j% = 1 TO Nsample% * 3 STEP 3
a1 = ASC(MID$(a$, j%, 1)) 'LSbyte di 16 bit
a2 = ASC(MID$(a$, j% + 1, 1)) 'MSbyte di 16 bit
somma = somma + a1 + a2 * 256
NEXT j%
media = somma / Nsample% + media
NEXT jj%
media = media / Nmedia%
volt = media * 5 / 65535

```

```

Vmedio(x%) = volt
tempo$(x%) = TIME$
y(x%) = 344 - 40 * volt
LINE (x% - 1, y(x% - 1))-(x%, y(x%)), 1
LOCATE 5, 55: PRINT USING "###.#####"; volt; : PRINT " V";
LOOP WHILE x% < 631
x% = 14
scherm% = scherm% + 1
IF flag% = 1 THEN
file$ = nome$ + CHR$(95) + MID$(STR$(car%), 2, 2) + ".DAT"
GOSUB salva

END IF
car% = car% + 1
FOR i% = 15 TO 630
tempo$(i%) = ""
Vmedio(i%) = 0
NEXT i%
GOTO 5
'-----
'-----
' ROUTINE per il salvataggio dei dati su disco
'-----
salva: OPEN file$ FOR OUTPUT AS #2
PRINT #2, "Nome file: "; file$
PRINT #2, "Data misura: "; data$
PRINT #2, "Numero campioni mediati: "; Ncamp%
PRINT #2,
FOR i% = 15 TO 630
PRINT #2, tempo$(i%), USING "###.#####"; Vmedio(i%)
NEXT i%
CLOSE #2
RETURN

```

## PROCEDIMIENTO DIRECTO

El Sol es un importante emisor de ondas de radio en la banda de 15 a 30 Mhz, aunque el máximo rendimiento se encuentra entre los 18 y los 28 Mhz. Por debajo de los 18 la refracción atmosférica nos puede crear dificultades y por encima de los 28Mhz acostumbran a ser más débiles las señales.

Para poder recibir estas señales solo se precisa un receptor multibanda que cubra estas frecuencias y con detección por AM, (puede servir uno comercial con pequeñas modificaciones).

La primera modificación consiste en acoplarle una antena dipolo de media onda calculada para la frecuencia a recibir ( en concreto yo trabajaba a 21Mhz y mi dipolo estaba formado por dos secciones de 3,39 metros cada una y extendido en dirección E-O para recibir la máxima señal en la dirección N-S). Para ello si el receptor no dispone de toma de antena exterior (por que tiene antena telescópica) se deberá eliminar esta, colocando un terminal adecuado (tipo TNC) a donde se conectará la bajada de la antena (cable coaxial de comunicaciones de 50 ohmios) que previamente hemos conectado al centro del dipolo (malla a una de las secciones y cable central a la otra).

La longitud del dipolo se obtiene de la siguiente forma:

Primero se calcula la longitud de onda correspondiente a la frecuencia escogida utilizando la siguiente fórmula:

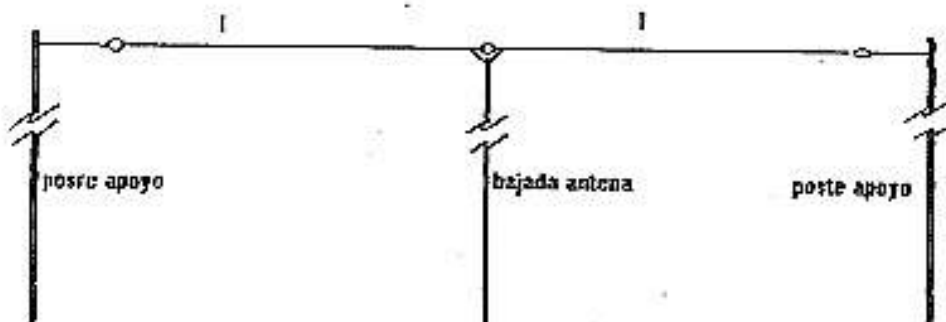
$$L \text{ (metros)} = 300 / \text{frecuencia (Mhz)}$$

y cada uno de los ramales tendrá una longitud de:

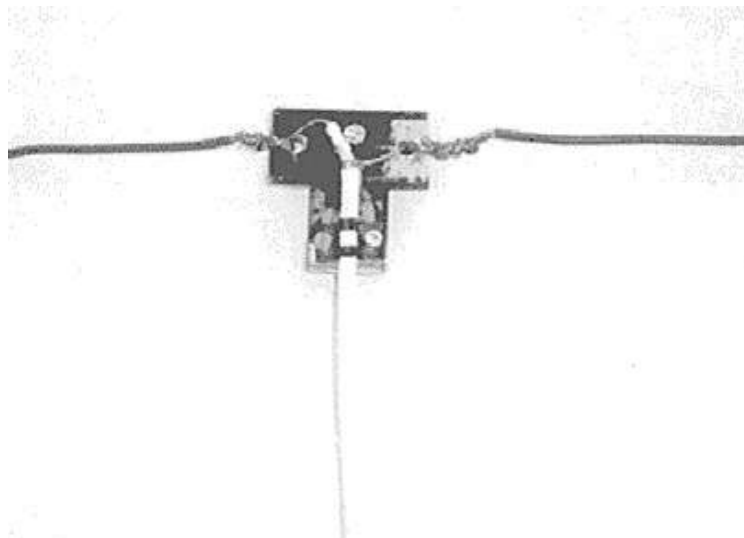
$$l \text{ (metros)} = L/4 - 5\%$$

En los extremos de cada ramal se le colocará un aislador que lo separará eléctricamente de los postes de apoyo

La antena se construirá de la siguiente forma esquemática



Detalle de la conexión del centro del dipolo



Al receptor deberemos eliminarle el CAG (Control Automático de Ganancia) para poder recibir sin ninguna modificación las señales procedentes del Sol.

Para poder efectuar estudios de las señales recibidas, deberemos a la salida del receptor colocar un convertor analógico-digital y a través del puerto paralelo (el de la

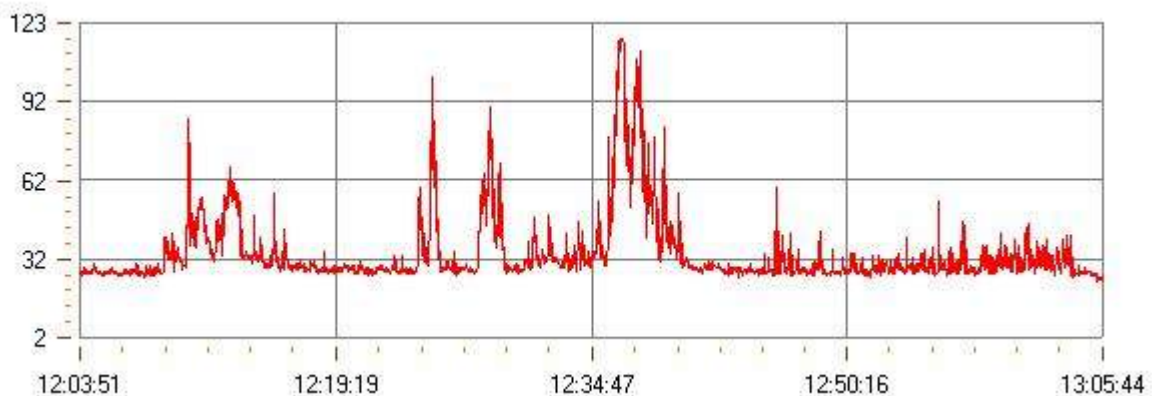
impresora) utilizar el ordenador para leer los datos y graficarlos , utilizando el programa en QBASIC de Flavio Falcinelli citado anteriormente

Como conversor A/D puede utilizarse entre otros el basado en el MAX187.

Si el receptor dispone solamente de bandas comerciales, podemos desplazarnos a la frecuencia que mejor nos convenga ajustando una de las bandas mediante un generador de RF.

Todas estas pequeñas modificaciones nos las puede realizar cualquier radiotécnico competente.

Ejemplo de actividad solar a 21 Mhz.



Si se dispone de un receptor de comunicaciones (son caros, pero de uso normal en los radioaficionados), no hay problema, ya que generalmente llevan incorporado la posibilidad de eliminar el CAG .



El problema más grave es la antena, ya que su rendimiento depende de su orientación, y al ser fija, la recepción solo podrá recibirse durante el tiempo que el Sol este situado aproximadamente perpendicular a ella.

Estas frecuencias son muy sensibles a la radiación electromagnética emitida por el planeta Júpiter en su interacción con su satélite Io, con lo que se puede oír el rumor como de olas batiendo en la playa, característica de esta interacción, cuando la situación

entre Io y Júpiter es la conveniente y están situados frente a la dirección perpendicular al dipolo (hay efemérides al respecto).

Los estudiantes de secundaria y de los primeros cursos universitarios en EE.UU. son muy aficionados a esta actividad en sus clases de física, se construyen sus receptores específicos y compiten en grabar los sonidos jovianos. (NASA proyecto Radio Jove, <http://radiojove.gsfc.nasa.gov/> ).

## **OTRAS OBSERVACIONES INDIRECTAS**

Mediante un receptor de onda corta y una buena antena, podemos detectar los flares solares en la banda decamétrica, sintonizando una emisora y notar su desvanecimiento.

Cuando se produce un flare (llamarada solar), el chorro de rayos X alcanza nuestro planeta unos ocho minutos después, produciéndose una gran ionización en la capa D, absorbiéndose las frecuencias por encima de los 10Mhz e impidiendo su propagación.

Si se sintoniza una emisora en esta banda, sea por ejemplo la BBC a 12,095 Mhz, cuando se produce un flare, la señal de la emisora deja de recibirse durante un tiempo que depende de la magnitud de la ionización y vuelve a recibirse cuando se recupere dicha capa. Lógicamente la audición de la emisora debe ser continuada y desde la salida a la puesta del Sol.

Una ayuda a este método consiste en colocar el conversor A/D a la salida del receptor y utilizar el ordenador para guardar en su disco duro las señales recibidas, estudiando posteriormente los desvanecimientos y su duración.

Análogamente y con este equipo puede estudiarse el comportamiento de la propagación atmosférica durante un eclipse solar.

En un día cualquiera cuando el Sol esta sobre el horizonte se forman en la ionosfera las capas D, E y F la capa D absorbe las frecuencias por debajo de los 7Mhz impidiendo su propagación, (por esto las comunicaciones por debajo de los 7Mhz se realizan en horas nocturnas por rebote en la capa F que no desaparece casi nunca).

Durante un eclipse y en su zona de totalidad, se produce una desaparición de la capa D, pudiéndose entonces recibir emisoras que transmitan a por debajo de los 7Mhz, por rebote en la capa F. El problema consiste que en las horas diurnas estas emisoras no transmiten, lo que hace que caso de que se desee realizar este estudio, no hay otra solución que ponerse en contacto con algún radioaficionado en bandas decamétricas situado simétricamente respecto a la zona del eclipse que nosotros (para que el ángulo de incidencia sea aproximadamente igual al de reflexión), nos transmita música por ejemplo, antes durante y después del eclipse y poder observar que solo recibimos su transmisión durante el máximo del eclipse.

## **PROCEDIMIENTO DIRECTO.- INVESTIGACIÓN CONTINUADA**

Hasta ahora nos hemos basado en antenas que por su envergadura son fijas, lo que solo nos permite estudiar al Sol durante minutos (el tiempo que dura su paso por la perpendicular al dipolo). Este procedimiento es lógicamente insatisfactorio,

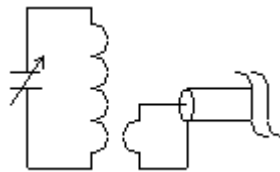
necesitaríamos un procedimiento que nos permita hacer un seguimiento continuado del Sol ya que es casual poder recibir una intensa señal solar durante los minutos que este “pase” frente nuestro dipolo, salvo en los máximos cuya probabilidad aumenta.

Igual que en la observación óptica, para hacer un seguimiento continuado, debemos contrarrestar la rotación terrestre y esto se realiza con una montura ecuatorial motorizada, lo que nos obliga a replantearnos el tipo de antena.

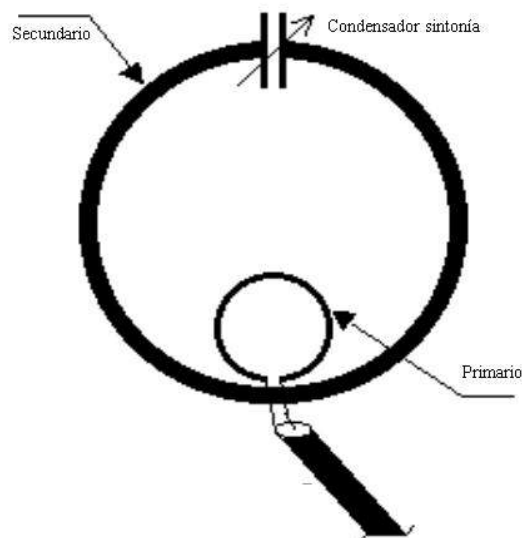
Desde el origen de la radio se ha empleado la antena de cuadro, igual que la que hablábamos en VLF, pero en HF se debe ser mucho mas cuidadoso para acercarnos al rendimiento de un dipolo perfecto, para ello diseñaremos la conocida como “Magnetic loop”, se llama “magnetic” porque usa solamente la componente magnética del espectro, evitándonos muchos de los ruidos procedentes de la contaminación electromagnética de los aparatos domésticos que nos rodean, y con la ventaja de su direccionalidad, ya que lateralmente tiene una insensibilidad de alrededor de los 20dB.

Una antena loop para ser efectiva debe sintonizarse a la frecuencia de trabajo, lo que impide que tenga cualquier superficie ya que la capacidad distribuida de la espira podría ser superior a la capacidad de sintonía de la misma.

El esquema eléctrico de la loop es:



Y el de su realización:





Como hicimos anteriormente lo ideal es prepararnos una hoja de cálculo para poder hacer los cambios que nos sean mas convenientes.

A continuación expongo las fórmulas necesarias para poder realizar su diseño:

La inductancia de una bobina de una sola espira en  $\mu H$  es aproximadamente:

$$L = 0,2 p [\ln( 4000 \frac{p}{d} ) - 2,451]$$

En la que p es el perímetro de la espira y d su diámetro expresados en metros

Para la capacidad distribuida empleamos la formula:

$$C_d = 2,7 p$$

En la que C nos viene dado en pF cuando p (el perímetro) lo expresamos en metros.

La capacidad de sintonía para la frecuencia de trabajo es:

$$C_s = \frac{10^6}{4\pi^2 f^2 L}$$

C nos vendrá dada en pF , f la frecuencia en Mhz, y L en micro henrios

Según el diámetro de la espira tendremos un máximo de la frecuencia a utilizar, y es la equivalente a  $\frac{\lambda}{4}$

Recordemos que la longitud de onda es:

$$\lambda = \frac{3000}{f}$$

en la que  $\lambda$  viene dada en metros cuando f sean megahercios

Manipulando estas fórmulas en una hoja de cálculo y considerando por ejemplo que la frecuencia de trabajo sea como antes de 21Mhz podemos tener este resultado:

Diámetro Espira (m)	L ( $\mu H$ )	$C_d$ (pF)	$C_s$ ( pF)	Frecuencia (Mhz)
0,8	2,14	6,79	26,80	29,84
1	2,82	8,48	20,38	23,87
2	6,51	16,96	8,82	11,94

En que vemos que una espira de dos metros de diámetro no podemos sintonizarla ya que su propia capacidad es superior a la de sintonía y la frecuencia máxima en que puede trabajar es inferior a la solicitada.

Debemos pues en este ejemplo escoger entre la de 0,8m y la de 1m, y ello debemos hacerlo en función de la montura que dispongamos para moverla

El condensador variable con el que ajustaremos la sintonía debería ser como el que hablamos en el caso de VLF, ya que como que lo usamos solo como receptor no deberemos preocuparnos por la tensión a que estaría sometido en el caso de usarlo en emisión ( en el caso de emisión el condensador tendría que ser de AT, ya que incluso con potencias moderadas (  $\approx 100W$ ) puede alcanzar valores de miles de voltios, con el peligro que ello conlleva.

Para nuestro trabajo ya tenemos bastante para diseñar nuestra antena loop, pero sería interesante tener todos los datos para afinar en nuestra decisión, para ello deberíamos conocer su anchura de banda, sea el caso de tener que desplazar la sintonía por estar ocupada por una emisora comercial o evitar que nos entre estrechando la banda.

$$\Delta f = \frac{f}{Q}$$

En la que la Q de la bobina es:

$$Q = \frac{2\pi fL}{R_T}$$

siendo  $R_T$  la resistencia total de la misma, es decir la de radiación mas la de pérdidas:

La resistencia de radiación es:

$$R_R = \frac{19227,78d}{\lambda^4}$$

y la de pérdidas resistivas, (recordemos que al tratarse de altas frecuencias hay que considerar el efecto pelicular en la que la resistencia es mayor que la óhmica medida en corriente continua)

$$R_p = \frac{\rho p}{\pi s \sqrt{\omega \mu}}$$

en la que  $\rho$  es la resistividad del Cu  $p$ = perímetro de la espira en metros,  $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$  es la permeabilidad del Cu, y  $\omega = 2\pi f$ , siendo  $f$  la frecuencia en hercios, y  $s$  el diámetro del conductor en metros.

La resistencia de pérdidas por su proximidad a tierra es en este caso tan poco importante que no la consideraremos.

La efectividad porcentual de la antena una vez conocidas las perdidas, será respecto a un dipolo perfecto:

$$E = \frac{100R_R}{R_R + R_P}$$

Como resumen total, hagamos un cuadro con los datos obtenidos en nuestra hoja de cálculo, suponiendo que la espira la hacemos con tubo de cobre de media pulgada

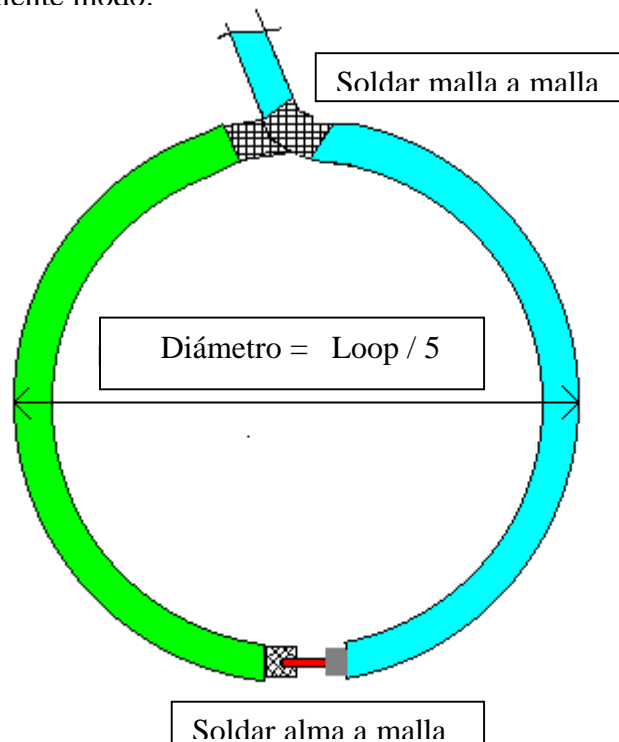
(Debido al efecto pelicular en HF, no es necesario que la espira sea maziza)

Diámetro Espira (m)	L ( $\mu H$ )	$C_d$ (pF)	$C_s$ (pF)	Frecuencia Max. (Mhz)	$R_R$	$R_P$	Q	$\Delta f$	E
0,8	2,14	6,79	26,80	29,84	0,189	0,08	1059	19825	70,8
1	2,82	8,48	20,38	23,87	0,461	0,09	665	31559	82,5
2	6,51	16,96	8,82	11,94	7,386	0,194	113	185377	97,4

Con lo que vemos que con el loop de 1m tenemos un ancho de banda de 31,6 Kc y en el de 0,8m alrededor de los 20Kc con una efectividad mas que aceptable, apenas son un dB por debajo de un dipolo perfecto .

El acoplador debe ser de entre un quinto y un sexto del diámetro de la espira mayor y puede efectuarse con el mismo cable de la antena que conectemos al receptor. Este debería ser un cable de pocas pérdidas y de 50 ohmios ( ojo el de TV es de 75 ohmios).

Y conectándolo del siguiente modo:



Aspecto de una antena Loop una vez montada:



En la parte superior de la espira mayor es donde se colocará el condensador variable, encerrado en una caja de plástico tipo instalación eléctrica doméstica, entrando la espira por los pasatubos laterales. El acoplamiento, espira pequeña, se colocará a 180° del condensador, es decir en la parte inferior como en la imagen y el tubo de sostén del conjunto tiene que ser de PVC o de madera.

El conjunto debe de acoplarse a la montura ecuatorial motorizada, según el ingenio de cada uno, orientarlo al Sol por la mañana y por la noche recoger los datos obtenidos por los procedimientos explicados anteriormente.

Según el ingenio de cada uno puede automatizarse toda la operación y ser mucho mas práctica que la del proyecto Radio Jove.

## **RADIOTELESCOPIO CON ANTENA PARABOLICA**

El Sol por su cercanía es el emisor mas potente del Universo, emitiendo en todo el espectro electromagnético. El problema está en las antenas, cuando mas baja es la frecuencia mas sencillos son los receptores pero mayores deben ser las dimensiones de las mismas.

El desarrollo de la electrónica de consumo en los últimos años, comunicaciones via satélite, teléfonos celulares etc., ha permitido que los materiales necesarios para la confección de un receptor en la banda de Ghz sea bastante asequible, así como las antenas necesarias para ellos.

En radiotécnia hay un refrán que dice que en el importe de un equipo, las pesetas deben gastarse en el receptor y los duros en la antena. De este refrán se desprende la

importancia que tiene la antena en todo equipo receptor, en nuestro caso no es menor la importancia de que esta sea fija o móvil.

Si nos decidimos por esta parte del espectro radioeléctrico, precisaremos de una antena parabólica y ya podremos empezar a realizar radioastronomía, en la clásica acepción del término, pero debemos empezar por preguntarnos que queremos conseguir, para poder decidir como hacerlo.

Para conocer elementalmente las bases teóricas de la radioastronomía, leer el Proyecto académico PARTNER con el radiotelescopio de la NASA en Robledo en:

<http://www.laeff.esa.es/partner/cursos/cursos.php>

Primero debemos preguntarnos con que frecuencia queremos trabajar ya que esta nos marcará el limite inferior del diámetro de la parábola.

$$D_m = 10\lambda$$

Siendo  $D_m$  el diámetro mínimo en centímetros y  $\lambda$  la longitud de onda en centímetros

Así pues si queremos recibir la longitud de onda de 21cm del hidrógeno neutro, necesitaremos un reflector parabólico mayor de 2m de diámetro, con un peso superior a los 40Kg y un coste superior a los 1200€

Este peso y envergadura (considerar también el esfuerzo del viento) hacen imposible su utilización con una montura ecuatorial motorizada para buscar y seguir objetos, sobre todo en el medio amateur, la montura debería ser azimutal, o fija, como radiotelescopio de pasos. El mayor del mundo en Arecibo (Puerto Rico) de 305m lo es.

Si deseamos subir la frecuencia hasta los 4Ghz (Banda C de microondas), para recibir principalmente radiación de origen térmico, nuestra parábola debería ser como mínimo

$$D_m = 10\lambda \quad D_m = 10 \times \frac{300}{4000} = 0,75m$$

Es decir una parabólica de nivel comercial, barata y de poco peso.

Podemos subir el nivel de la frecuencia con lo que necesitaríamos parábolas menores, o con una misma parábola aumentaríamos la ganancia.

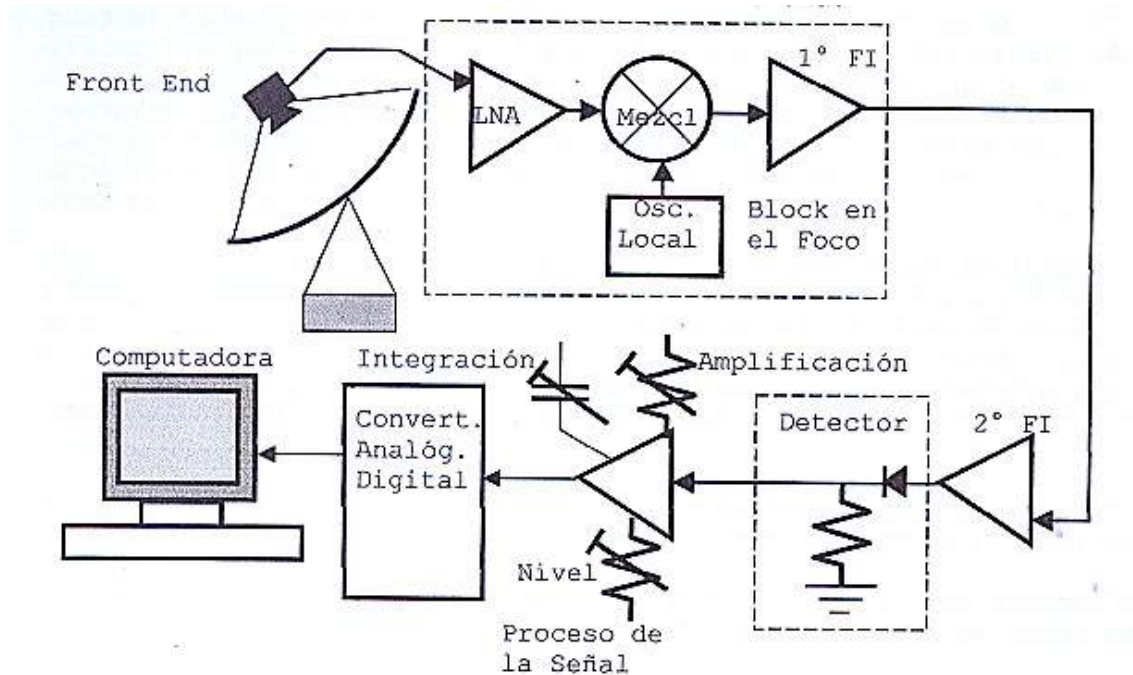
Recordemos una ley básica:

“Duplicando el diámetro, se cuadruplica la ganancia y la ganancia aumenta con el cuadrado de la frecuencia”.

Pero, aumentando la frecuencia la parábola debe ser mas perfecta, igual como sucede con los espejos ópticos. La superficie de la parábola, si no queremos perder ganancia

debe tener errores inferiores a  $\lambda/10$ , es decir que a 12Ghz (banda Ku) no puede tener irregularidades superiores a los 2,5mm.

Empezamos a tener una idea de por donde nos movemos, veamos ahora como es un radiotelescopio tipo, y analicémoslo:



Primero tenemos el "Front End" formado por la parábola, la antena de  $\lambda/4$  en su foco y el LNA (Low Noise Amplifier). Amplificador de bajo nivel de ruido, un oscilador local y el mezclador con lo que se nos produce la primera Frecuencia intermedia, este conjunto se llama LNB (Low Noise Block).

El aspecto de un LNB es:



Y es el encargado de amplificar la señal recibida por dipolo interior, sea por ejemplo de 12Ghz, mezclarla con la producida por el oscilador local y producirnos una primera frecuencia intermedia de alrededor de 1Ghz.

A la hora de escogerlo procuremos que tenga una figura de ruido NF, lo mas bajo posible y si nos dan la temperatura de ruido que sea la mas baja posible  $\leq 15^\circ\text{K}$ .

Para pasar de una expresi3n a otra, podemos utilizar:

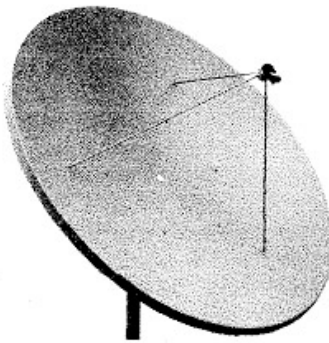
$$NF = 10 \log\left(\frac{T_R}{290} + 1\right)$$

$$T_R = 290\left(\text{anti log } \frac{NF}{10} - 1\right)$$

Hasta aqu3 es exactamente igual que en un receptor comercial de TV v3a sat3lite, e igual que ellos lo 3nico que puede variar es la banda de microondas que usemos.

Volvamos a la par3bola, estas son principalmente de dos tipos:

**De foco centrado o primario:** Su superficie es un paraboloide de revoluci3n, todas las ondas inciden paralelamente al eje principal se reflejan y van a parar al foco. El foco est3 centrado en el paraboloide:



**Parab3lica OFFSET :** Su superficie se obtiene recortando de grandes superficies parab3licas de forma esf3rica, tienen el foco desplazado hacia abajo, de forma tal que queda situado fuera de la superficie de la antena, con lo que al no tener efecto de sombra tiene un rendimiento un 10% superior a las de foco centrado.



La ideal para nosotros ser3a la de foco centrado pero se fabrica solo para di3metros a partir de 1,90m. Se encuentran menores, por desmontaje de sistemas antiguos y



entonces son prácticamente gratis ya que estorban a los instaladores, pero el peso es el principal inconveniente si se quieren utilizar ecuatorialmente, Si se utilizan azimutalmente, tipo DOBSON, con una estructura metálica masiva, sería interesante acoplarles motores paso a paso y automatizándolas con el sistema Mel Bartels igual que en los telescopios ópticos, ver: <http://www.bbastrodesigns.com/cot/cot.html>, entonces lo gobernaríamos todo por el ordenador.

Si solo queremos estudiar el Sol, con una antena OFFSET de 0,80m y una LNB para la banda KU de 12 a 14 Ghz, acoplándola a una montura ecuatorial motorizada, vamos justos pero suficientes y todo el “Fronde end” puede tener un coste, sin la montura claro está, de unos 70€

Si disponemos de una montura ecuatorial robusta que pueda sostener un telescopio óptico de 25cm, podemos llegar a una antena OFFSET de 1,20m y el coste de todo el “Extremo frontal” rondará los 110€

A la hora de orientar la antena OFFSET tendremos que tener en cuenta el ángulo del mismo, dato que nos dará el fabricante. TELEVES por ejemplo da un ángulo de 26,6°, con lo que al enfocar al Sol debemos levantar la antena este ángulo.

Si por ejemplo al iniciar la observación, el ángulo de declinación del mismo es de 20°, deberemos colocar la antena según el círculo de la montura a 46,6°, para poder tener centrada nuestra antena con el Sol.

Tengamos en cuenta que el Sol se mueve aparentemente por la eclíptica, por lo tanto no mantiene constantemente la misma declinación, pudiendo variar en el transcurso del tiempo de observación varios minutos de arco, pero al ser el radiosol de mayor tamaño que el Sol óptico, aunque nuestra montura no sea automática el radiosol nos entra en el lóbulo de recepción de nuestra parábola.

El ancho del haz del lóbulo principal es aproximadamente:

$$\theta = 1,22 \frac{\lambda}{D}$$

siendo  $\lambda$  la longitud de onda y D el diámetro de la parábola tomados ambos en las mismas unidades, entonces  $\theta$  nos vendrá dado en radianes.

Haciendo números, tendremos que el ancho de haz de nuestra antena será aproximadamente de:

$$\theta = 1,22 \frac{0,027}{1,20} \times 57,3 = 1,5^\circ$$

Con lo que el tiempo que tardara el Sol en atravesar nuestro haz, suponiendo la antena fija será de unos 8 minutos, tiempo muy breve, así si queremos aumentar el tiempo de observación en el caso de tener una antena fija, deberemos cambiar a la banda C de 4Ghz en la que tendremos una anchura de haz de 5,1° y un tiempo de paso de 27 minutos.

Si la antena es fija, una radiofuente entra y sale del haz produciéndose una variación lenta de la tensión de salida, luego toda variación rápida, lo consideraremos de origen extraño a nuestros intereses y la filtraremos, dejando solo la componente lenta, a este proceso se le llama integración y es fundamental en la determinación en la sensibilidad de nuestro instrumento. La integración se debe adecuar pues al tiempo que tarda la radiofuente, el Sol en nuestro caso, en atravesar el haz de nuestra antena, si el haz es muy agudo, no podremos emplear tiempos de integración altos ya que perderíamos información útil .

Si en cambio nuestra antena se mueve, nos vemos obligados a usar tiempos de integración muy pequeños, del orden de los 0,2 segundos, a fin de no perder detalles de la fuente.

Después de estas disquisiciones veamos ahora que podremos obtener teóricamente con nuestro Frond end o extremo frontal

Definiremos primero que tipo de radiotelescopio queremos realizar:

A nivel amateur el tipo mas adecuado es el radiómetro de flujo total, es decir aquel radiotelescopio o radiómetro que procesa toda la señal recibida, no comparándola con ninguna otra señal, como hacen los radiómetros compensados, que continuamente comparan la señal recibida con otra fija de control producida artificialmente en el laboratorio, radiómetro de Dicke... etc. con lo que las señales que mediremos serán solo las afectadas por los cambios de nivel de la propia señal, y con la ventaja de no tener intercalado elementos con inevitables pérdidas y una mayor facilidad de construcción.

Averigüemos primero cual será la sensibilidad o temperatura mínima detectable:

$$\Delta T_{\min} = \frac{T_{\text{sis}}}{\sqrt{\Delta \nu t n}}$$

siendo  $\Delta T_{\min}$  = la temperatura mínima detectable en °K ,  $T_{\text{sis}}$  = la temperatura de ruido del sistema en °K,  $\Delta \nu$  = ancho de banda en Hz, t = el tiempo de integración en segundos y n = el número de observaciones promediado.

La temperatura del sistema:

$$T_{\text{sis}} = T_a + T_l \left[ \left( \frac{1}{\epsilon} \right) - 1 + \left( \frac{1}{\epsilon} \right) T_r \right]$$

En la que  $T_a$  = la temperatura de ruido de la antena (nos la da el fabricante),  $T_l$  = la temperatura física de la línea,  $T_r$  = la temperatura de ruido del receptor, todas ellas en °K y  $\epsilon$  = un factor entre 0 y 1 que depende de la eficacia de la línea.

La abertura efectiva de nuestra antena será

$$A = 0,64\pi r^2$$

A = en  $m^2$  y r = radio en m.

Y el flujo mínimo detectable, o sensibilidad mínima que es capaz de resolver nuestro extremo frontal es:

$$\Delta F = \frac{2k\Delta T_{sis}}{A}$$

en la que K= constante de Boltzman =  $1,38 \times 10^{-23}$  julios / $^\circ k$  y  $\Delta F = Wm^{-2}Hz^{-1}$

Si llevamos estas fórmulas en otra hoja de cálculo para poder ir cambiando variables podemos encontrar estos datos aproximados:

Tomando como  $T_a = 49^\circ K$  catálogo TELEVES,  $T_l = 293^\circ K$ , t =0,1 , n =10 y  $T_r = 100^\circ K$  (este valor depende de la calidad del receptor, un buen receptor está sobre los  $46^\circ K$ , en nuestro caso y como aproximación le damos un valor de 100)

Diámetro de la parábola m	$\Delta F$ $W / m^{-2} Hz^{-1}$
0,8	$1,40 \times 10^{-24}$
1,10	$7,42 \times 10^{-25}$
1,20	$6,23 \times 10^{-25}$
2	$2,24 \times 10^{-25}$
3	$9,97 \times 10^{-26}$

Si tenemos en cuenta que la unidad de medida del flujo solar es el **sfu** (solar flux units) =  $10^{-22}$  Watios /  $m^{-2} Hz^{-1}$ , y el Sol en los mínimos esta alrededor de los 60 sfu, vemos que cualquiera de los extremos frontales y con un receptor no muy perfecto, podemos realizar estudios solares que si son cuidadosos y continuados, pueden llegar a ser de calidad.

En radioastronomía la unidad de densidad de flujo es el **Jansky (Jy)**, en honor del pionero en este campo:

$$1 \text{ Jansky} = 10^{-26} \text{ Watios} / m^{-2} Hz^{-1}$$

Veamos ahora el receptor:

Aunque los amateurs realizamos muchos experimentos con receptores en desuso de recepción por satélite, el gran ruido interno de estos aparatos los hace totalmente insatisfactorios. Para un coste bajo hay una solución genial, con diseño y construcción del departamento de radioastronomía de la universidad de Indianápolis <http://radio.uindy.edu/radio>

Que consiste en la utilización como receptor de un detector de señal TV-Satélite, (Satfinder) y concretamente el PROMAX MS 250 (de fabricación española) por ser el de mayor sensibilidad



Este aparato está formado por un amplificador de RF con tres transistores, un diodo rectificador y un amplificador de continua con OP y cuya señal detectada esta indicada por el vu-meter y por el zumbador.

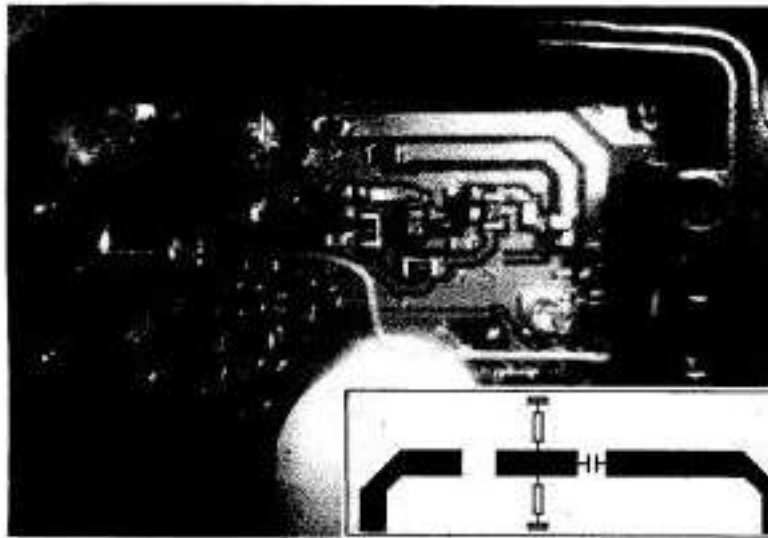
La alimentación tanto de la LNB como del Satfinder proviene del mismo cable de la antena, el cual proporciona la tensión de 13 a 18V para su funcionamiento al mismo tiempo que transporta la señal del LNB al receptor.

La tensión variable proveniente del receptor, modifica dentro de la LNB la frecuencia de salida que oscila entre 1000 y 2000Mhz consiguiendo la frecuencia del canal solicitado.

En nuestro caso al no haber receptor debemos suministrarle la tensión para el funcionamiento del Satfinder y del LNB, lo que nos lleva a una primera modificación. (Las modificaciones fueron propuestas por Miguel Vallejo (EA4EOZ))

Primero deberemos disponer de una fuente estabilizada de 15V 1A y con ella alimentaremos al satfinder. Para ello desoldaremos el conector hembra tipo F del lado Receiver, lo desmontaremos de la caja y colocaremos en su lugar un conector hembra tipo SO-239, desde el terminal de este, soldaremos un cable que ira hasta el terminal F, conexión al LNB, con lo que tendremos alimentado el satfinder y el LNB.

Ahora viene la parte mas delicada, (es mejor que toda la operación la haga un técnico en electrónica), que es extraer la señal amplificada y rectificada procedente del LNB, por lo cual se deberá cortar con mucho cuidado la pista del circuito impreso en dos sitios, ver figuras, colocando un condensador 1nF y dos resistencias de 150 ohms.



Tener cuidado de rascar, eliminando la pintura de los lugares donde hay que soldar las resistencias y el condensador.

La señal de salida para llevar a la siguiente etapa amplificadora, la tomamos del cable rojo que alimenta al galvanómetro del satfinder.

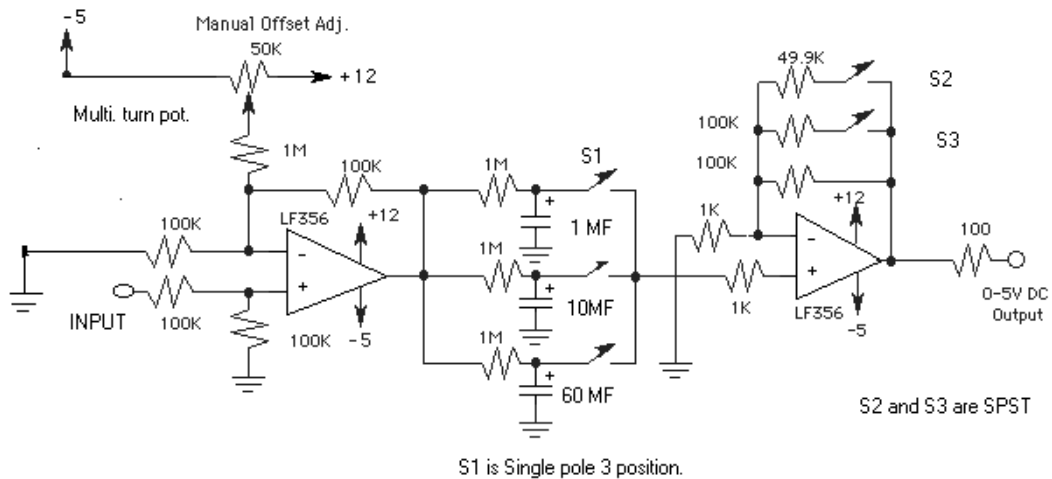
El último paso consiste en eliminar el zumbador, puede ser útil para los antenistas ya que el zumbido producido es proporcional a la intensidad de la señal recibida y pueden situar una parábola sin mirar el galvanómetro, pero su zumbido es al cabo de poco tiempo, verdaderamente insoportable.

Para minimizar las pérdidas, el satfinder y el amplificador deben estar situados a menos de 3 metros de la antena parabólica.

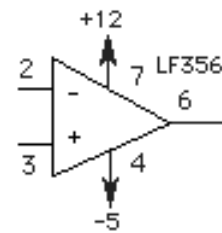
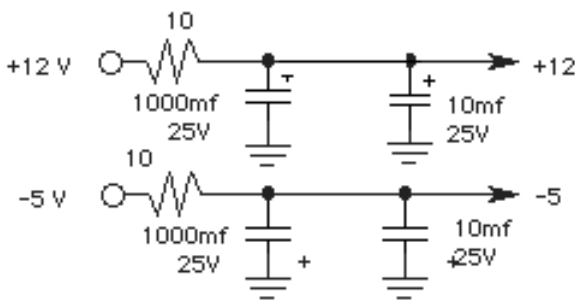
Hay que tener en cuenta que este radiómetro es extremadamente sensible a la temperatura, y detectará a aves, aviones...etc, recordemos que todo cuerpo con una temperatura superior al cero absoluto emite radiación, la experiencia nos enseñará ante una perturbación extemporánea a que es debido la modificación de la señal.

A continuación, la señal extraída del cable rojo debemos amplificarla de nuevo e integrarla

El amplificador propuesto por la universidad de Indianápolis es el siguiente::



Y el detalle de la alimentación y el de las patillas del LF356



DC AMP. BOARD

La fuente de alimentación de este amplificador es como las del tipo usadas por los ordenadores.

S1, es un interruptor de tres posiciones que nos permite seleccionar tres tiempos de integración: 1 segundo, 10 segundos, 60 segundos.

Los interruptores S2 y S3 nos permiten variar la amplificación final, si S2 y S3 están abiertos la amplificación es 100X, si S3 está cerrado y S2 está abierto la amplificación es de 50X y si S2 y S3 están cerrados, la amplificación es de 25X.

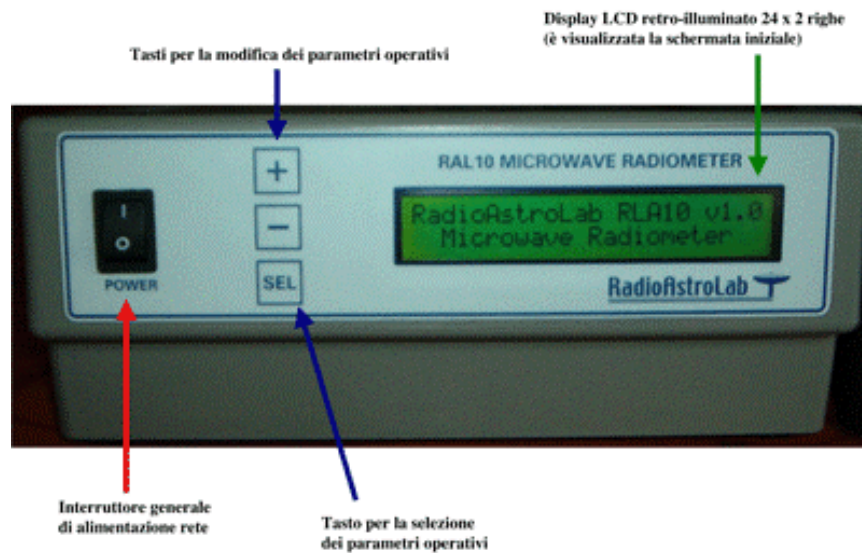
A la salida de este amplificador deberá colocarse el conversor A/D que nos dará el número de señales promediadas y de aquí al ordenador para almacenar y graficar las señales recibidas.

El cable por donde pasa la señal deberá ser de buena calidad y de 75 ohmios.

Con este equipo aparte de observar el Sol, si la parábola es de 1m se podrá detectar ya: Orión, M31, TaurusA, Cygnus A, ...y con parábolas superiores a los dos metros podremos ya detectar muchas de las radiofuentes del Tercer Catálogo de Cambridge, más cuando mayor sea el diámetro de la antena.

Este radiómetro tan sencillo, sirve para lo que sirve, no le podemos pedir mas de lo que nos puede dar, si queremos observar: el hidrógeno molecular en la raya de 21cm, quasars, o radiaciones no térmicas del universo etc. aparte de trabajar con las frecuencias correspondientes al fenómeno que queremos estudiar, necesitaremos de antenas de a partir de 3,5m de diámetro, que a nivel amateur deberán ser fijas, solo con movimiento de altura y esperar que el objeto pase por delante de nuestra antena. Pero entonces necesitaremos de receptores ya serios. Aunque sean para uso amateur.

El más sencillo de ellos es el RAL 10



Que se puede adquirir en: <http://www.radioastrolab.it/>

Que lo lleva todo comprendido, solo falta la antena y el LNB, su precio es de alrededor de 500€y se vende también en kit por unos 300€

Hay un prototipo mas sofisticado casi profesional, el RAL11, que todavía no esta a la venta.

Receptores mas completos son ya el VLB-1 a 1,42 y 1,665Ghz con precio de catálogo de 1500\$ USA





O el espectrómetro de 1,42 Ghz (21cm) con un precio de catálogo de 2580\$ USA



Ambos se pueden adquirir en: <http://www.nitehawk.com/rasmit/ras.html>

Este artículo no ha pretendido ser nada mas que una introducción al mundo de la radioastronomía desde el punto de vista práctico, dirigido principalmente al mundo de la heliofísica. Sea cual sea la parte del espectro radioeléctrico que interese al lector y para no hacer demasiado largo este trabajo, tiene los suficientes hipervínculos para profundizar por sí mismo en la parte que mas le atraiga.

Hay una asociación “SARA” ( Society of Amateur Radio Astromers) que tiene también enlaces interesantes de todo lo que se hace en este campo <http://www.qsl.net/SARA/>

## **ADENDA**

Se puede evitar la utilización del conversor A/D y el programa de graficación de datos utilizando solo la placa de sonido del ordenador y entrando por la del micro, con el programa SkyPipe (la misma placa de sonido realiza la conversión), que se encuentra en <http://www.radiosky.com/skypipeishere.html>

Si queremos hacer radioastronomía general, podemos utilizar para la visualización de radiofuentes el programa Radioeyes: en <http://radiosky.com/radioeyesishere.html>