

CURSO INTERACTIVO
Diploma
de
Operador
radioaficionado

TEMA 8
Medidas

Temario ajustado al
HAREC
(Harmonized Amateur Radio Examination Certificate)
Certificado Armonizado del Examen de Radioaficionado

desarrollado por los miembros
del Radioclub La Salle
coordinados por
Luis A. del Molino EA3OG

Publicado en PDF en 11 de Junio de 2011 por el Radioclub La Salle
bajo la supervisión de Luis A. del Molino EA3OG
amparado por una licencia *Creative Commons*



Reservados algunos derechos:

No se permite ni el uso comercial de la obra, ni la generación de obras derivadas, ni la utilización parcial del texto

Agradecimientos:

Numerosas ilustraciones han sido cedidas por la Editorial Marcombo (www.marcombo.com), procedentes de su libro: *Radioafición y CB: Enciclopedia Práctica en 60 lecciones*

También hemos de agradecer la colaboración de Víctor Ballesteros en la realización de algunas de las ilustraciones, tarea en la que ha colaborado también Roger Galobardes.

Con tal de mejorar el texto y el contenido, os agradeceremos mucho que cualquier sugerencia de mejora o los errores que encontréis nos los comunicuéis a la dirección:
<radioclub@salle.url.edu>

TEMA 8: Medidas

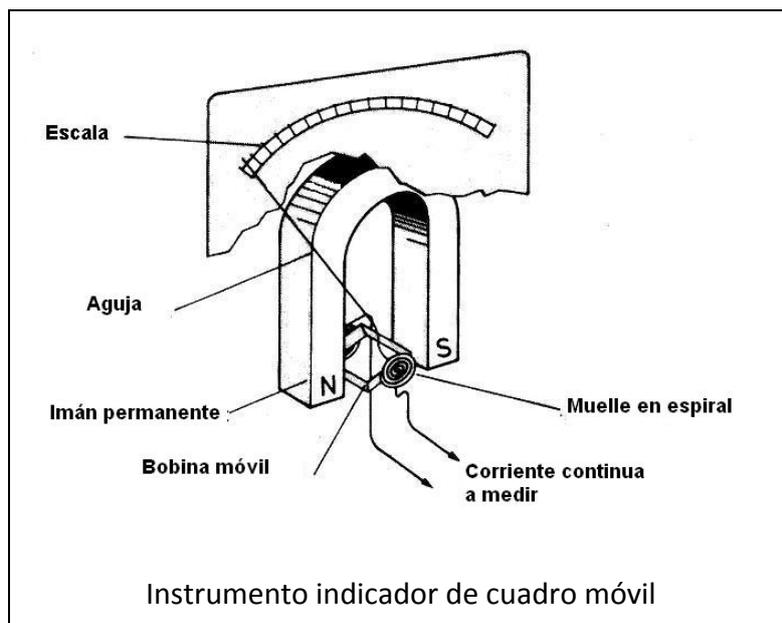
8.1 Toma de medidas

Para analizar el funcionamiento de los equipos no nos bastan los instrumentos de medidas pasivos para medir tensiones y corrientes, sino que también son muy importantes los instrumentos activos: los generadores de señales para comprobar el funcionamiento dinámico de los equipos, y verificar si su funcionamiento se corresponde con las previsiones del diseño. Empezaremos por los instrumentos pasivos.

8.1.1 Medida de corrientes y voltajes

Para medir una corriente en una rama de un circuito se debe intercalar el medidor en serie con el cable, para que la misma corriente pase por el medidor, instrumento denominado amperímetro o miliamperímetro, según sea su escala de sensibilidad.

El amperímetro debe tener una muy baja resistencia, para no modificar apreciablemente la impedancia del circuito en el que se intercala y, en consecuencia, la corriente que circula, para no perturbar su funcionamiento normal.



Para medir tensiones o diferencias de potencial entre dos nudos o puntos de conexión de un circuito, hay que conectar el medidor en paralelo con estos dos puntos, y el instrumento recibe el nombre de voltímetro.

Los voltímetros deben presentar una impedancia muy elevada, en comparación con la del circuito a medir, de manera que no modifiquen apreciablemente la corriente que circula por el circuito, una vez colocados en paralelo.

Los medidores digitales proporcionan una lectura de mayor precisión (más cifras decimales), aunque la exactitud (la calidad) de estas medidas digitales dependerá

igualmente de la buena calibración del instrumento, pero los medidores analógicos nos permiten distinguir mejor las evoluciones lentas de las tensiones y corrientes que los digitales.

Los instrumentos más utilizados son los llamados multímetros o polímetros que, como su nombre indica, son capaces de realizar medidas de resistencias, corrientes y tensiones en una gran margen de escalas.

8.1.2 Errores de medida: Influencia de la frecuencia y de la forma de onda

Al tomar medidas, se pueden cometer errores de distinta índole. Los errores pueden ser de concepto, de medida, o también provocados por un entorno de medición o personales inapropiados.

Las tensiones alternas en una onda sinusoidal impiden realizar una medida correcta con un instrumento de desviación magnética, sin intercalar antes algún tipo de diodo rectificador, pues marcarían una tensión media nula. El diodo rectificador afecta mucho también a la precisión y exactitud de la medida, que será mucho menos exacta.

Si el diodo debe ser capaz de rectificar corrientes importantes, su amplia sección conductora le proporciona también una gran capacidad interna. que facilita el paso al aumentar la frecuencia de la corriente alterna, pero aumentará el error de la medición.

También la medida de una señal alterna puede ser totalmente errónea si la onda no es perfectamente sinusoidal. El instrumento nos marcará un valor medio que tal vez no sea una buena indicación del valor máximo alcanzado.

Para medir tensiones y corrientes alternas y periódicas no perfectamente sinusoidales se recomienda, por tanto, recurrir a la utilización de osciloscopios bien calibrados, en cuya pantalla se distingue muy bien la forma de la señal y permite tomar medidas de amplitud que no son afectadas por la forma de la onda, como en un instrumento magnético.

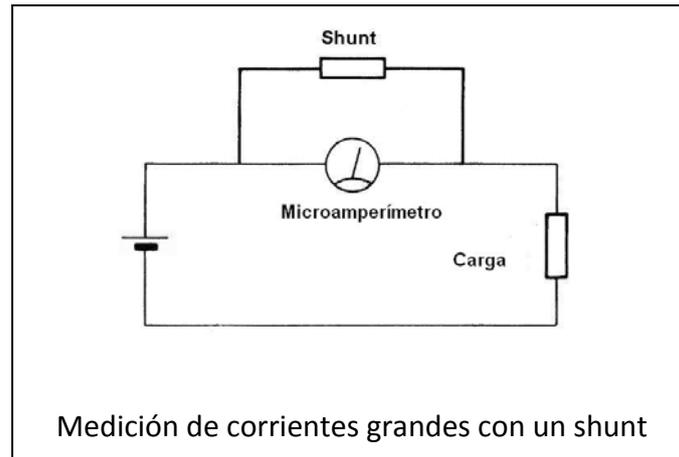
8.1.2b Influencia de la resistencia interna de los medidores

La resistencia interna de un voltímetro debe ser tan elevada como sea posible para no perturbar al circuito al que se conectan y su calidad viene dada por el número de ohmios por voltio de su escala de medida.

Los mejores voltímetros analógicos no consiguen superar los 30.000 ohmios/V en las escalas de medida y, por consiguiente, se prefiere la utilización de voltímetros electrónicos amplificados con impedancias de entrada muy elevadas al estar conectados a rejillas de válvulas o transistores CMOS con impedancias de entrada superiores a $M\Omega$.

En cuanto a las medidas de corriente, es importante que el medidor a intercalar en serie en un circuito tenga una resistencia mínima, de forma que su intercalación no afecte de algún modo a la corriente que circula.

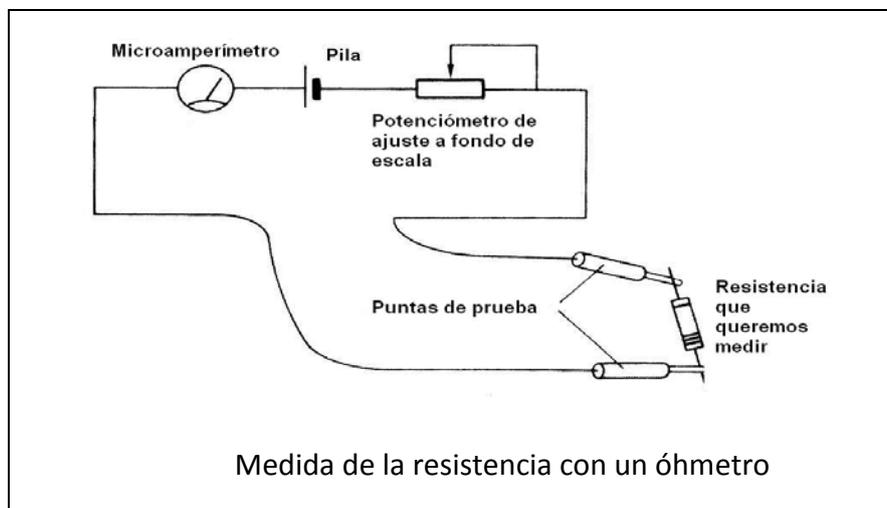
Para conseguir medir corrientes importantes con precisión en circuitos con resistencias muy pequeñas, se intercalan unas resistencias de valor muy reducido, llamadas shunts, a las que se conecta en paralelo el instrumento de medida. De este modo por los shunts hacemos pasar el 90% o el 99% de la corriente a medir, de modo que el amperímetro nos permitirá obtener la lectura correcta multiplicando x10 o x100 la indicación de la aguja en su escala.



8.1.3 Medida de la resistencia

La resistencia se mide por mediación del instrumento llamado óhmetro que contiene su propia pila interna y aplica una tensión conocida a la resistencia bajo examen, para medir luego la corriente que pasa por ella en el instrumento con una escala inversa, que ya viene directamente calibrada en ohmios.

En lugar de utilizar una escala ascendente de 0 ohmios a infinito, el instrumento mide resistencias en una escala descendente que marca desde infinitos ohmios (corriente nula) a cero (corriente máxima).



La escala se ajusta a máxima corriente (resistencia nula) al fondo de la escala mediante un potenciómetro de calibración.

Cuando se pretenda obtener la medida de una resistencia que forma parte de un circuito, éste debe estar desconectado de la alimentación y es conveniente aislar uno de los extremos de la resistencia a medir del resto del circuito, para que la medida sea correcta.

8.1.4 Medida de la potencia de la corriente continua y de la radiofrecuencia: Potencia media. Potencia de cresta de la envolvente

Un vatímetro es el instrumento usado para leer la potencia de nuestro amplificador. Toma una lectura de la tensión y de la corriente eficaz, de manera que, al multiplicarlas entre sí, nos da el valor de la potencia. Normalmente está formado por un instrumento compuesto con una bobina móvil por la que pasa la corriente y otra bobina fija por la que pasa una corriente proporcional a la tensión. Utilizado tanto para lecturas de corrientes continuas como de las alternas, nos indicará el valor de la **potencia eficaz** de salida.

Cuando modulamos un transmisor en banda lateral única, la potencia media que observamos en la aguja de un vatímetro no alcanza a marcar los picos de la emisión, porque el medidor no puede seguir los movimientos demasiado rápidos de la potencia instantánea y no puede alcanzar las crestas de potencia, sino que marca una potencia media.

La potencia de cresta de la envolvente (potencia PEP de *Peak Envelope Power*) o potencia de pico es la media de la potencia suministrada por el transmisor a la línea de alimentación de la antena, durante un ciclo de radiofrecuencia, tomado en la cresta más elevada de la envolvente de modulación que no sufra recorte en sus picos máximos. Esta potencia de cresta se puede medir exactamente con un osciloscopio de rayos catódicos.

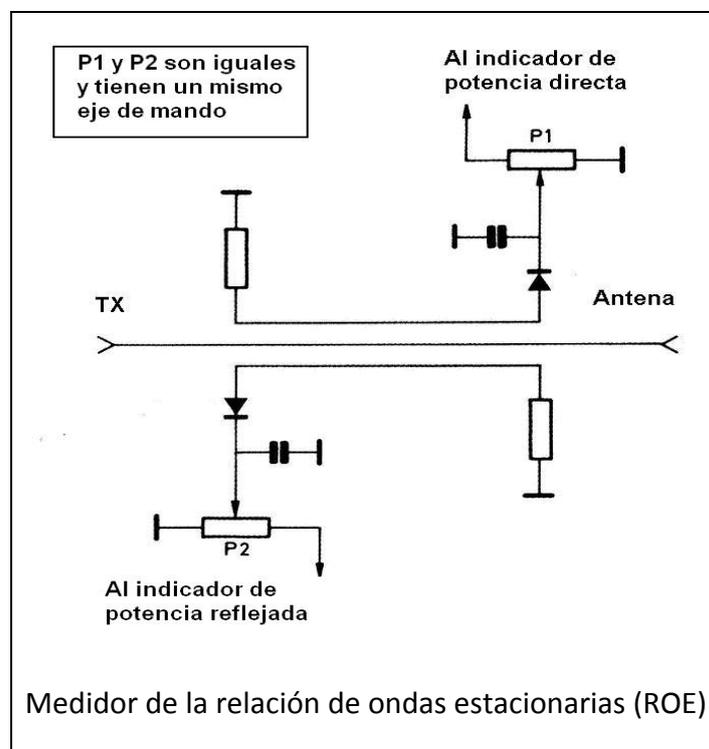
Esta potencia de cresta de envolvente de un emisor está normalmente limitada por las tensiones y corrientes máximas que pueden manejar los amplificadores finales, de modo que siempre se debe ajustar un transmisor para que la potencia de cresta de la envolvente no intente superar dichos límites y quede siempre por debajo de los máximos, pues la forma de la onda sufriría un recorte que produciría una gran distorsión y espurias por emisión de armónicos.

De todos modos, intentar superarlos también sería peligroso para la potencia disipada en los transistores finales en forma de calor, teniendo en cuenta que el rendimiento de la amplificación no suele superar el 50%, pues la temperatura de los transistores amplificadores podría alcanzar niveles peligrosos para su integridad.

8.1.5 Medida de la relación de ondas estacionarias

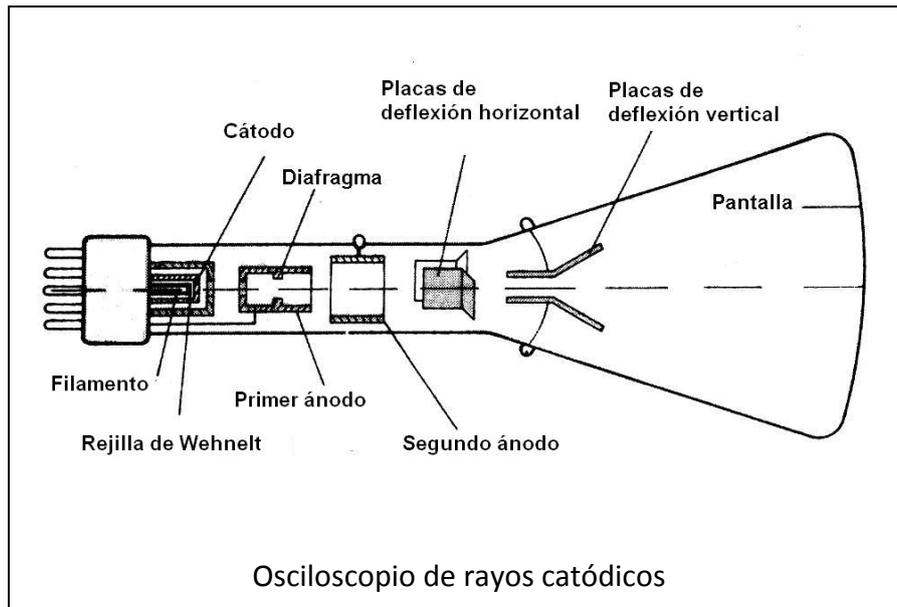
Los medidores de ROE consisten en utilizar captadores direccionales que se intercalan entre el emisor y la línea de transmisión, y que miden la potencia que circula en el sentido del emisor hacia la antena y también la potencia que vuelve reflejada desde la antena hacia el emisor, para poder realizar la comparación entre ambas y obtener la relación entre la potencia directa y la reflejada.

El instrumento consiste en dos líneas paralelas al conductor central de un cable coaxial, mediante las que se toman dos muestras de las corrientes que circulan en los dos sentidos, se rectifica cada una de ellas con un diodo y se muestran en un instrumento de medida. Con estas dos lecturas, podemos comparar la magnitud de la potencia directa y de la reflejada, y de ahí deduciremos el valor de la Relación de Ondas Estacionarias o ROE.



8.1.6 Medida de forma de onda de la envolvente de una señal de RF

El instrumento adecuado para medir la forma de onda de la envolvente de una señal de RF es un osciloscopio de rayos catódicos, que dispone de un haz de electrones que se desvía por la atracción electrostática de dos juegos de placas: las placas verticales, que controlan la deflexión horizontal y están accionadas por una base de tiempos bien cronometrada que mueve el haz horizontalmente; y las placas horizontales, que están conectados a la señal a medir y desvían el haz verticalmente, por lo que se conectan a la señal que queremos analizar y contemplar su evolución temporal en la pantalla.



Basta calibrar el osciloscopio con una señal cuadrada patrón de tensión conocida para poder tomar medidas muy exactas de la amplitud.

8.1.7 Medida de la frecuencia

El instrumento que nos indica la frecuencia se llama frecuencímetro. Actualmente todos los frecuencímetros son digitales y consisten en un contador que cuenta el número de ciclos en cada unidad de tiempo (un segundo), basada en un generador de frecuencia interna de gran precisión (normalmente termostatado), que proporciona la base de tiempos necesaria para iniciar y terminar el recuento.

Para medir las frecuencias, también se puede utilizar un analizador de espectros, el cual nos muestra en una pantalla un eje horizontal en el cual se representa la frecuencia y un eje vertical donde se representa potencia o tensión.

Un analizador de espectros es un instrumento muy útil, porque, si tenemos una señal que no es una senoide pura, podremos ver en que frecuencias armónicas contiene energía y el ancho de banda que ocupan sus bandas laterales.

En cambio, un frecuencímetro sólo nos aportará información de la frecuencia si le introducimos una onda sinusoidal pura o, en algunos casos, nos indicara la frecuencia de unos pulsos cuadrados.

8.1.8 Medida de la frecuencia de resonancia

Para medir la frecuencia de resonancia de un circuito LC o de una antena, el instrumento que se utiliza es un medidor por mínimo de rejá. Consiste en una bobina captadora y un condensador variable que forman un oscilador de RF.

Cuando se quiere saber la frecuencia de resonancia de un circuito sintonizado o de una antena, se le acerca la bobina del circuito resonante del dipmeter, la bobina del circuito LC que genera la oscilación. Esta bobina está sintonizada por un condensador

variable con una escala graduada, al cual se le varía su capacidad de modo que varíe la frecuencia de oscilación, hasta que aparece claramente una absorción de energía, es decir, una disminución de la corriente del oscilador, visible en el medidor, que entonces nos indicará la frecuencia de resonancia aproximada en la escala del condensador variable..

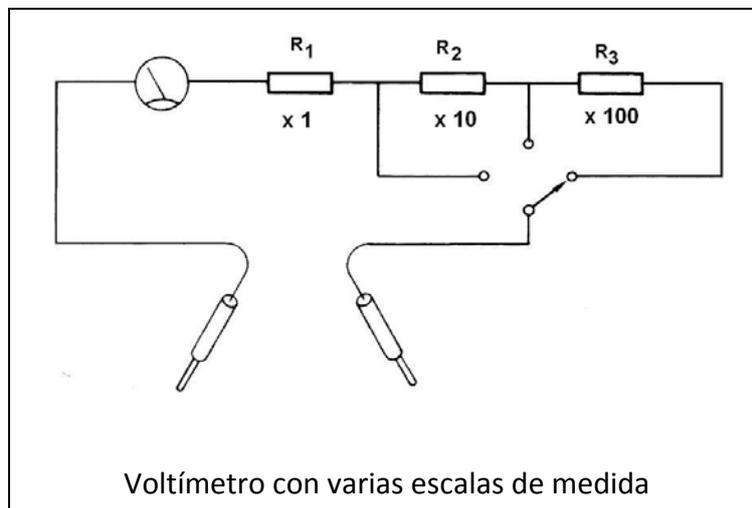
8.2 Instrumentos de medida

El instrumento de medida más indispensable para el radioaficionado y técnico electrónico es el polímetro o multímetro, ya sea digital o analógico, pues es el instrumento indispensable para utilizar como voltímetro y comprobar las tensiones de las fuentes de alimentación y de la red, como microamperímetro para comprobar corrientes y como óhmetro para comprobar la continuidad de los cables y que no existen cortocircuitos en los conectores.

8.2.1 Realización de medidas usando un polímetro

Cuando vayamos a usar un polímetro, lo primero que debemos hacer es seleccionar la función que deseamos realizar y ajustar su escala. Si deseamos leer señales que sabemos que serán del orden de, por ejemplo, milivoltios, debemos utilizar la escala de milivoltios.

Si no sabemos la magnitud de la señal que vamos a leer, lo ajustaremos a la escala de máxima lectura y, a partir de ahí, iremos reduciéndola hasta obtener un valor lo suficientemente preciso. El sistema es el mismo para medir las corrientes y las resistencia.



8.2.2 Realización de medidas usando un medidor de potencia de RF

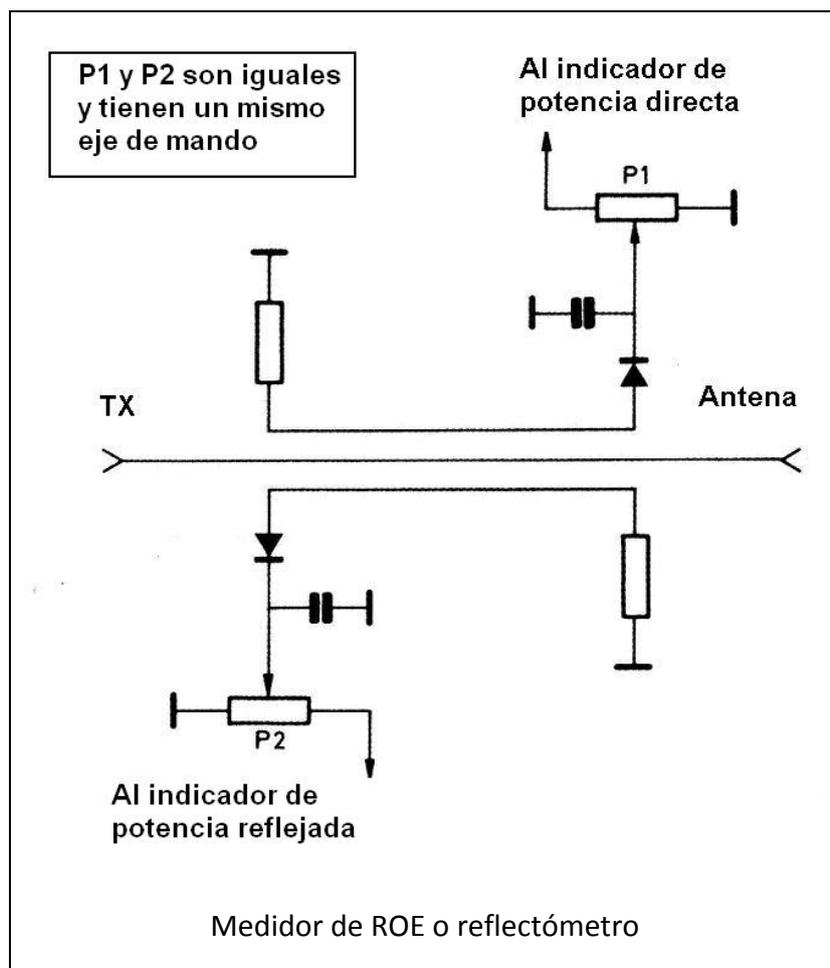
Existen tal variedad de dispositivos para medir la potencia de un amplificador que no es posible dar unas directrices generales, ya que dependerá de cada dispositivo en particular. Los hay incorporados en el propio transmisor, los hay externos, como vatímetros, o medidores de ROE, etc.

En todas las medidas de potencia en RF, para que los resultados sean significativos, deben realizarse con el amplificador o transmisor conectado a una carga artificial o resistencia de 50 ohmios, capaz de resistir y disipar la potencia estimada del amplificador de potencia a medir, porque la impedancia de una antena, aunque sea resonante, depende mucho de la frecuencia y, si no coincide, con 50 ohmios, las lecturas de potencia serán completamente erróneas.

8.2.3 Realización de medidas usando un puente reflectómetro (medidor de ROE)

La medida de la relación de ondas estacionarias o ROE se realiza sencillamente intercalando el instrumento entre el emisor y la línea de transmisor. Luego colocamos el conmutador del instrumento en la posición de lectura de la potencia directa de salida y ajustaremos la lectura al nivel previsto al fondo de escala del instrumento.

Después se cambia el conmutador a la posición de lectura de la potencia reflejada, y conocer el porcentaje de la potencia devuelta por la antena (caso de existir) y el instrumento nos indicará el porcentaje relativo de potencia reflejada y, al mismo tiempo, nos indicará el valor de la ROE o Relación de Ondas Estacionarias correspondiente a ese porcentaje.



El medidor de ROE es un instrumento muy útil para ajustar un acoplador de antena, pues una vez intercalado entre el emisor y el acoplador, debemos ajustar las inductancias y capacidades del acoplador hasta que la potencia reflejada por la antena sea mínima (Inferior a 2:1) y, si es posible, conseguir una potencia reflejada nula, es decir, una ROE 1:1.

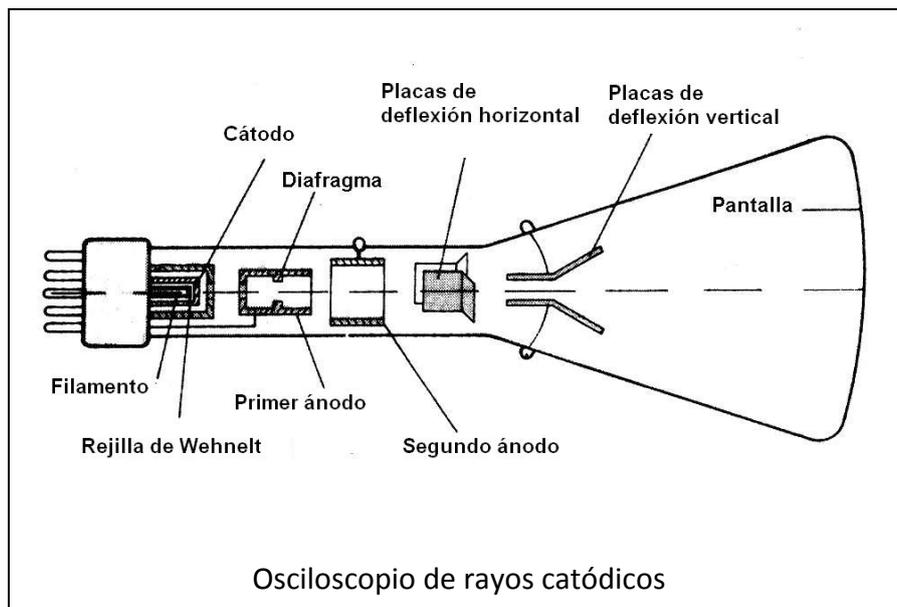
8.2.4 Realización de medidas usando un frecuencímetro

Actualmente casi la determinación de la frecuencia siempre se realiza por medio de un frecuencímetro digital al que se le suministra una muestra de la señal de RF, sin que deba sobrepasarse una potencia mayor de 10 mW.

Si estimáramos que la potencia a aplicar pudiera ser superior, podríamos dañar el paso de entrada, por lo que deberíamos utilizar una sonda captadora o algún tipo de atenuador calibrado para trasladar la señal al frecuencímetro.

8.2.5 Realización de medidas usando un osciloscopio

Un osciloscopio tiene unos bornes y conectores de entrada, los cuales se conectan de manera idéntica a los de un voltímetro y que pasan la señal a medir a los amplificadores de barrido vertical conectados a las placas horizontales.



Si el osciloscopio no dispone de un mando PRESET que preajusta la amplitud y la frecuencia de barrido automáticamente, deberemos ajustar manualmente la escala de amplificación a la amplitud a medir y la base de tiempos a un submúltiplo de la frecuencia de la señal, según el número de ondas completas que queramos ver en la pantalla.

Por otra parte, normalmente dispone también de un dispositivo sincronizador (SYNC) de disparo que enclava o sincroniza el barrido horizontal al flanco de subida de la señal entrante, para poder estabilizar la traza de esta señal en la pantalla y que se inmovilice la señal en la pantalla.

Los osciloscopios vienen con diez divisiones en cada eje, de manera que, al ajustar la tensión y la base de tiempos, este se ajusta en X voltios/div e Y segundos/div. Esto significa que cada división de cada eje representa X voltios e Y segundos.

Lo que debemos hacer siempre en primer lugar es ajustar la ganancia de entrada del osciloscopio para que la señal encaje en la escala visible de las divisiones de la pantalla. De este modo será muy fácil calcular la tensión máxima de pico de nuestra señal.

Por último, un osciloscopio presenta habitualmente una impedancia de unos cuantos Megaohmios, de manera que en la práctica no alterará el circuito al ser conectados en paralelo los cables de prueba a masa y al punto de medición.

8.2.6 Realización de medidas usando un analizador de espectro

El analizador de espectro analiza la señal en el dominio de la frecuencia, de manera que indica claramente cómo se reparte la potencia de la señal a lo largo del eje de frecuencias entre la frecuencia fundamental y las bandas laterales, así como indicar la presencia de posibles armónicos y otras espurias.

Es muy útil para analizar señales complejas, señales que tienen energía en diferentes frecuencias, como por ejemplo señales sinusoidales distorsionadas que presentan gran cantidad de armónicos, así como emisiones espurias de osciladores y transmisores en general.

Un analizador de espectros presenta una baja impedancia de entrada típicamente de 50 ohmios (algunos con posibilidad de conmutar a 75 ohmios). Esto es así para que se pueda sustituir la antena por un analizador de espectros y saber cuál es la potencia entregada a la carga. Los analizadores especifican cuál es la potencia máxima que puede soportar y, por tanto, si vamos a superar esta potencia, debemos usar atenuadores.

8.2.7 Realización de medidas usando un ondámetro

Los ondámetros, a diferencia del medidor por mínimo de reja, son instrumentos totalmente pasivos que funcionan absorbiendo una pequeña fracción de la señal a medir por medio de un circuito resonante LC con bobinas conmutables y condensadores variables y un diodo detector que la rectifica y nos permite ver la minitensión generada en un instrumento indicador muy sensible cuando el ondámetro se sintoniza a resonancia y absorbe energía.

Normalmente un ondámetro se utiliza para verificar el funcionamiento de los emisores en sus diversas etapas. Un ondámetro nos puede dar también medidas aproximadas de la longitud de onda que permiten calcular sin problemas la frecuencia aproximada de funcionamiento.

8.3 Generadores de señales

Para ajustar los aparatos y ver su respuesta dinámica a distintas frecuencias y niveles, hay que utilizar generadores de señales, especialmente de señales sinusoidales, de los que la característica más importante sea la pureza de la señal sinusoidal generada, para que tenga el menor ruido de fase y la menor cantidad de armónicos.

Se dividen en dos grandes grupos, según generen señales de audio o señales de radiofrecuencia.

8.3.1 Los generadores de señales de B.F.

Se consideran frecuencias de B.F. las inferiores a 100 kHz, aunque el oído humano sólo capta frecuencias hasta 20.000 Hz y, para transmitir la voz con total comprensibilidad, es suficiente manejar frecuencias hasta 3.000 Hz. Generalmente estos generadores se utilizan exclusivamente para comprobar la respuesta de los circuitos a señales de audio de todo tipo.

También son capaces de generar ondas cuadradas y ondas triangulares, las cuales consisten en una rampa de subida lenta y una bajada brusca. La respuesta de los circuitos a estas señales se comprueba y observa en un osciloscopio.

8.3.2 Los generadores de señales de R.F.

Son generadores que cubren varias bandas de frecuencia y que pueden ser simples osciladores analógicos con salidas de nivel bien calibrado, aunque pueden estar o no equipados con un frecuencímetro digital, pero en general los analógicos ya están prácticamente en desuso para instrumentación, pues los generadores más modernos son casi todos de síntesis digital directa o DDS (del inglés *Direct Digital Synthetizers*).

Es esencial que el instrumento disponga una buena calibración del nivel de salida de la señal, pues es el que nos permitirá comprobar la respuesta dinámica de un receptor o de un amplificador posterior.

Para ciertas pruebas sencillas, en que no sea necesaria una gran exactitud de frecuencia, puede ser suficiente utilizar la RF generada por un medidor por mínimo de rejilla o dipmeter, descrito en el punto 8.1.8.

8.3.3 Los puentes de impedancia y de ruido

Un puente de impedancias es un instrumento pasivo que nos permite medir la resistencia y reactancia de una antena por medio de un miliamperímetro muy sensible en el que se busca una lectura mínima de la tensión de RF cuando el puente está equilibrado, cuando las impedancias en las dos ramas, la conocida y la desconocida, sean iguales. Dispone de un potenciómetro variable que permite determinar la resistencia real entre 10 y 200 ohmios y de un condensador variable que nos permite encontrar la reactancia del circuito, normalmente en una escala entre 10 y 400 ohmios.

Cuando el puente está equilibrado, habiendo buscado la lectura mínima en el instrumento de medida, la posición de los mandos del potenciómetro y del condensador sobre una escala calibrada nos permite deducir la resistencia y la reactancia inductiva o capacitiva presente en la antena.

Como el puente de impedancias es totalmente pasivo, normalmente se necesita disponer también de una fuente de RF, que generalmente procede de un generador de RF, pero generalmente nos servirá perfectamente la pequeña señal generada por un medidor por mínimo de rejilla (dipmeter) para activarlo.

Un puente de ruido es una versión mejorada del puente de impedancias, pues incorpora su propio generador, consistente en un generador de ruido de banda ancha que cubre toda la gama de HF y el instrumento de medida es nuestro propio receptor.

El puente se ajusta moviendo el potenciómetro y el condensador de ajuste de la misma forma que en el puente de impedancias, pero buscando el mínimo ruido del generador captado por el receptor en la frecuencia a la que queremos medir la antena. En ese punto las posiciones de los dos mandos nos proporcionarán la resistencia y la reactancia de la antena, igual que con el puente de impedancias.