

SU MAJESTAD EL DECIBELIO 1

por Luis A. del Molino, EA30G

Los modernos transceptores transistorizados y digitales llevan toda clase de artilugios, procesadores, pasabandas variables, mandos para mejorar todo lo mejorable y los fabricantes ya no saben que añadir para que su modelo se distinga sobre los demás.

Seguro que no me van a hacer caso: si es que me leen, pero a mí me gustaría que los equipos actuales, en vez de llevar tanta tontería inútil, llevaran nada más y nada menos que un calibrador de *S-meter* y os explicaré por qué. Si tenemos en cuenta que la parte más importante para una estación es la antena, un *S-meter* calibrado nos permitiría valorar las prestaciones muy eficazmente.

Si todos los *S-meters* marcaran lo mismo para una señal dada, por ejemplo S9 para 50 μV , las señales de control de 5-9, que ahora regalamos tan generosamente a cualquiera, no serían tan inútiles, sino que nos permitirían valorar el rendimiento o eficiencia de nuestra antena mucho más fácilmente.

Aunque parezca utópico, ya enuncié hace mucho tiempo, y os demostraré en otro artículo, el *principio de reciprocidad de lecturas de S-meter* que dice así: *dados dos equipos con la misma potencia que se comunican con antenas diferentes, los S-meters de ambos equipos deberían marcar lo mismo, independientemente de la ganancia de las antenas utilizadas.*

Esto significa que dos estaciones con la misma potencia deberían pasarse mutuamente el mismo control, si sus *S-meters* estuvieran calibrados. Por consiguiente, si uno le pasa un 5-6, la otra estación debería pasarle también 5-6. Así pues, si las dos estaciones trabajan con 200 W PEP, que es la potencia normal de todos los transceptores actuales (sin lineal), los controles intercambiados deberían ser los mismos. Si una de las dos estaciones trabaja con un lineal de 2 kW PEP (más o menos), deberá recibir un control de aproximadamente dos números más de *S-meter*, o sea 5-8, si tienen los *S-meters* calibrados medianamente bien.

Desgraciadamente esto no es así por dos razones principales.

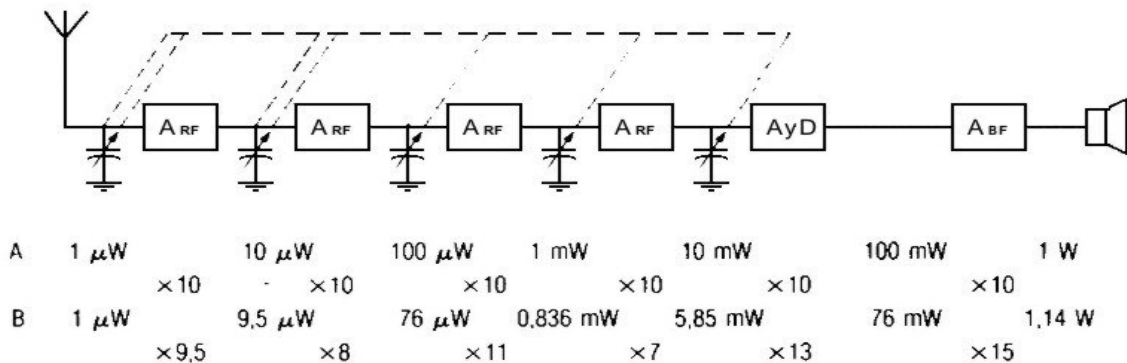
La **primera**, porque los *S-meters* no están bien calibrados, y sus indicaciones son pintorescas, y algunas incluso muy exageradas. Siguen el principio de que cuanto más marque, el novato creerá que mejor es el receptor.

La **segunda**, porque las antenas de los dos correspondientes no tienen la misma eficiencia. La eficiencia depende principalmente de las pérdidas en las bobinas y siempre hemos estimado en otros artículos que, a pesar de todo, no suelen haber pérdidas mayores a un 10 o un 20 % en las bobinas que trabajan en 10, 15 y 20 metros. En 40 y 80 metros, las bobinas que acortan físicamente las antenas pueden llegar a absorber potencias del 40 y 60 % en forma de calor y ahí sí que sufre la eficiencia.

Pero también hay otros factores que pueden disminuir la eficiencia. Cuando las antenas están colocadas muy bajas (es el caso de los dipolos demasiado bajos colocados a 4 o 5 metros) o cerca de elementos metálicos que absorben potencia (caso de las verticales rodeadas de mástiles de antenas de TV), la eficiencia disminuye por pérdidas, que no son debidas propiamente a la antena, sino a los elementos externos metálicos en la vecindad de la antena. Aunque las pérdidas se producen fuera de la antena, el resultado es equivalente a unas mayores pérdidas por resistencia óhmica en la antena.

Para volver a centrar el tema, sobre si sería posible calibrar o no los *S-meters*, tenemos que volver a los orígenes de esa unidad tan curiosa que llamamos **decibelio** al que os quiero presentar bien a fondo, pues si no lo comprendéis bien, no podremos continuar hablando del tema. Tengo que estar seguro de que me entendéis cuando lo manejo.

La primera duda que me gustaría resolver es: **¿por qué se utiliza el decibelio para las ganancias?**



Para explicarlo, me vais a permitir que os muestre el esquema de bloques simplificado de dos receptores un poco antiguos no superheterodinos, sino de radiofrecuencia sintonizada (A y B), tal como eran los primeros receptores (figura 1), que no llevaban ninguna conversión de frecuencia, sino sólo amplificadores sintonizados con un condensador variable de múltiples secciones, luego un detector por rejilla y un amplificador de audio.

Para calcular la *ganancia* del receptor A, comparamos las potencias a la salida y a la entrada (suponiendo que la resistencia sobre que se miden sea la misma):

$$G(A) = W_s / W_e = 1W / 1\mu W = 1/ 0,000001 = 1.000.000 = 10^6$$

Como veis, el número que se obtiene es muy elevado, y esto significa que para calcular ganancias de receptores debemos utilizar números de varios millones de veces de amplificación. Esto resulta muy incómodo y, además, cuando las ganancias individuales de cada etapa no son números enteros, tal como ocurre en el receptor B, obliga a unas multiplicaciones complicadas con decimales:

$$G(B) = 9,5 \times 8 \times 11 \times 7 \times 13 \times 15 = 1,141,140 \text{ veces}$$

Por eso tuvo éxito la idea de que la ganancia se podía expresar con un solo número: el *exponente* que va encima del número 10 o sea el número que indicaría el *número de ceros* que lleva la cantidad multiplicadora final que da la ganancia total del receptor. Por ejemplo:

$$G(A) = 1.000.000 = 10^6 \text{ (seis ceros)}$$

Si decidimos, por ser mucho más práctico, expresar la ganancia por potencias del número 10, que resulta mucho más manejable, existe un algoritmo matemático (procedimiento de cálculo) que nos da ese número directamente y a este método de cálculo le llamamos *logaritmos decimales*. En efecto, aplicamos logaritmos decimales a esta ganancia y el resultado es el *número de ceros* que añadir o potencias de diez por las que hay que multiplicar la entrada (1 μ W) para que nos dé la salida (1 W). Es decir, que para obtener la salida de 1 W debemos multiplicar la entrada (1 μ W) por un millón o añadirle *seis ceros*. Así diremos que la ganancia es de 6.

Pero a este cálculo, en electricidad le damos un nombre más bonito y más técnico. La unidad de ganancia la bautizaron con el nombre de *belio* (abreviadamente B), de forma que diremos su ganancia es de 6 B. El nombre se le dio, por supuesto, en homenaje a Alexander Graham *Bell* (en inglés cuenta el último apellido), el inventor del teléfono.

En el segundo receptor, el B, la ganancia no es un número múltiplo exacto de 10, sino un número más complicado, pero los logaritmos nos resuelven este problema, pues consiguen darnos un número de ceros y el pico que producen esa amplificación, como podréis comprobar los que tengáis una calculadora que lleve logaritmos decimales. (Atención, los ordenadores llevan logaritmos naturales que son muy diferentes).

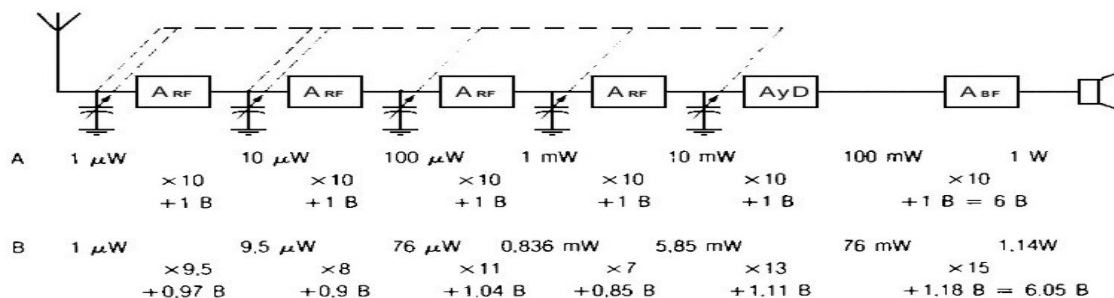
$$G(B) = \log \text{ de } 1141.140 = 6,05 \text{ B}$$

Es decir, los logaritmos nos dicen que el número de ceros necesarios para multiplicar a 1 μ W, o sea la ganancia del receptor, no es número exacto (entero), sino que tiene un pico: *seis y pico*. Este número es el exponente al que habría que elevar el número 10 (de ahí el nombre de logaritmos decimales) para obtener la cifra exacta de la ganancia o sea 1.141.140.

$$1.141.140 = 10^{6,05}$$

Así pues, para expresar la ganancia del receptor, en vez de decir que tiene una ganancia de *un millón ciento cuarenta y una mil ciento cuarenta* veces, diremos que tiene una ganancia de 6,05 B (belios).

Los *belios*, como son *logaritmos*, tienen también la gran ventaja que transforman todas las multiplicaciones en sumas.



Volvamos a la figura 1 y veamos la transformación de todos los productos de las ganancias de cada etapa (figura 2) en sumas. De esta forma, podemos calcular primero la ganancia de cada etapa y, por simples sumas obtener la ganancia total, sin necesidad de manejar engorrosas multiplicaciones. Como veis este sistema es muy práctico y, por cierto, que es el mismo utilizado en las reglas de cálculo, pues estas permiten hacer multiplicaciones, sumando las longitudes de dos reglitas graduadas, una fija y la otra móvil.

Pero los técnicos eran perfeccionistas y llegaron a la conclusión de que el *belios* era una unidad demasiado grande y poco práctica y que todo el día les obligaba a utilizar decimales, por lo que decidieron crear un submúltiplo más manejable al que llamaron el *decibelio*, o sea la décima de belio, de forma que obligara a usar números diez veces más grandes.

Atención que el *decibelio* es al *belio*, lo que el *decímetro* es al *metro*. Nada más que eso.

Es decir que, si 1 metro tiene 10 decímetros, 1 belio, tiene 10 decibelios. Matemáticamente se escribe:

$$1 \text{ metro} = 10 \text{ decímetros} = 10 \text{ dm}$$

$$1 \text{ belio} = 10 \text{ decibelios} = 10 \text{ dB}$$

Es decir que ahora necesitaremos un número 10 veces mayor para expresar el mismo resultado o lo que es lo mismo, tendremos que multiplicarlo por 10.

Luego nuestro receptor A, tendrá una ganancia de

$$6 \text{ belios} = 6 \times 10 = 60 \text{ dB}$$

Y el receptor B, tendrá también una ganancia de

$$6,05 \text{ belios} = 6,05 \times 10 = 60,5 \text{ dB}$$

A mí me parece una tontería este cambio, pues seguimos manejando decimales; ahora que la técnica afina mucho más en las antenas y ya empezamos a oír que una antena tiene 8,5 dB de ganancia, y cualquier día oiremos que otra antena es mucho mejor pues tiene 8,55 dB de ganancia, ¿por qué no seguimos utilizando la unidad de ganancia definida como belio?

Si fuéramos consecuentes, ahora que estamos ya utilizando decimales otra vez, lo lógico sería que empezáramos a utilizar el centibelio, para que pudiéramos escribir sin decimales:

$$G (A) = 6 \times 100 = 600 \text{ centibelios} \quad G (B) = 6,05 \times 100 = 605 \text{ centibelios}$$

Supongo que este odio por los decimales debe de haber salido de algún sitio, pero hoy en día se considera que todo el que trabaja en algo técnico tiene una formación básica que le permite manejar los decimales sin dificultad. Claro que «del dicho al hecho hay mucho trecho».

Como veis, el utilizar decibelios exige que *multipliquemos por diez* el resultado de aplicar logaritmos a la ganancia. Exactamente pasaría si utilizáramos el metro para medir azulejos, pues tendríamos que multiplicar por diez para tener el resultado en decímetros. Un azulejo mide 0,2 metros, por lo que tenemos que multiplicar por diez para obtener decímetros (2 dm) y por cien para obtener centímetros (20 cm).

Así pues, la fórmula de la ganancia en decibelios la tendremos que escribir:

$$G = 10 \times \log (W_s/W_e) \text{ en decibelios.}$$

Si la comparamos con la que pusimos para calcular la ganancia del receptor A, ambas difieren en que primero aplicamos logaritmos decimales y luego multiplicamos por 10. Al aplicar logaritmos obtenemos *belios* y al *multiplicar por diez* obtenemos *decibelios*.

Ya veis como nos complicamos la vida cada vez que intentamos simplificarla.

Y para terminar esta primera parte dedicada al *decibelio*, voy a plantear el problema que se presenta antes cuando las ganancias que queremos medir no son de *potencia* sino de *tensión*.

Las ganancias de los amplificadores son siempre de *potencia*, pues es la posibilidad de actuar y de proporcionar energía lo que queremos potenciar con la amplificación.

Con la amplificación queremos aumentar la capacidad de efectuar un efecto físico, como mover un altavoz, ver con mayor contraste una imagen, etc.

Existen amplificadores llamados «falsamente» de tensión: pues parece que se limiten a amplificar tensiones, aunque la realidad es que también aumentan la potencia simultáneamente.

De todas maneras. las ganancias también se pueden comparar **midiendo solamente tensiones**, pero para ello hay que tomar varias precauciones especiales.

Primero, es que deben medirse las tensiones sobre una resistencia idéntica. Fijaros que eso es muy difícil en el caso de amplificadores de audio y de receptores, pues generalmente la impedancia de entrada (50 ohmios en las antenas) no es la misma que la del altavoz (8 ohmios) en los receptores, y en los amplificadores todavía se parecen menos la impedancia de entrada (500 ohmios en entradas de baja impedancia) con la de los altavoces.

Por eso debemos siempre tener presente que las ganancias de tensión deben referirse a la misma resistencia, o deben haber sido medidas las dos tensiones (entrada y salida) en resistencias o impedancias idénticas.

Segundo. Hay que tener en cuenta que las ganancias, midiendo las tensiones en resistencias iguales, tienen una fórmula ligeramente distinta. como vamos a ver ahora. Hay que multiplicar el resultado por 2.

$$W_s^2 = V_s^2 / R$$

para la potencia de salida.

$$W_e^2 = V_e^2 / R$$

para la potencia de entrada.

Si aplicamos la fórmula de la ganancia en belios (aplicamos logaritmos) obtendremos:

$$G = \log (W_s / W_e) = \log (V_s^2 / V_e^2) = 2 \times \log (V_s / V_e)$$

o sea que el 2 pasa delante multiplicando, para las tensiones.

Esto nos dice que la ganancia en belios obtenida comparando las tensiones de entrada y la salida en la misma resistencia es el doble del resultado de aplicar los logaritmos por las tensiones.

Si medimos en decibelios, tenemos que multiplicar por 10.

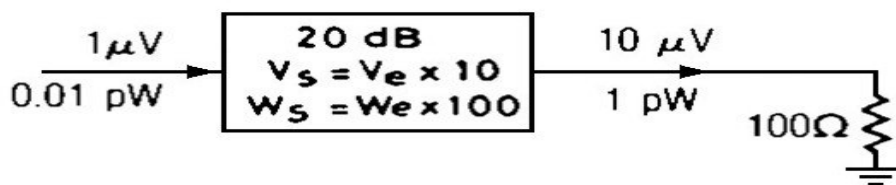
$$G = 10 \times \log (W_s / W_e) = 2 \times 10 \times \log (V_s / V_e) = 20 \times \log (V_s / V_e)$$

De forma que los logaritmos obtenidos con las tensiones los tenemos que multiplicar por 20 para obtener los decibelios, en vez de multiplicar por 10, cuando eran potencias.

Fijaros que digo los *logaritmos* y no los decibelios.

Tercero. Las ganancias de tensión y de potencia son siempre los mismos decibelios. *No existen decibelios de tensión y de potencia diferentes*. Existen logaritmos diferentes, que luego hay que multiplicar por 10 o por 20 según se hayan comparado potencias o tensiones, pero luego la *ganancia* en decibelios es *única*. Luego no digamos *nunca* estos decibelios son de ganancia de tensión y esos son de potencia.

Así pues, si un preamplificador tiene 20 dB de ganancia, y medimos su entrada y salida sobre 100 ohmios, podremos comprobar que, si en la entrada hay un 1 μV, en la salida hay 10 μV (figura 3).



$$G = 20 \times \log (10 \mu V / 1 \mu V) = 20 \times 1 = 20 \text{ dB}$$

Y su ganancia en potencia es exactamente la misma o sea 20 dB, aunque las potencias tienen distinto valor como podemos calcular:

$$W_s = V_s^2 / R = (0,000.01)^2 / 100 = 0,000.000.000.001 \text{ W} = 10^{-12} \text{ W}$$

$$W_e = V_e^2 / R = (0,000.001)^2 / 100 = 0.000.000.000.000.01 \text{ W} = 10^{-14} \text{ W}$$

si en la entrada hay 0,01 pW (10⁻¹⁴ W), tenemos que obtener en la salida 1 pW (10⁻¹² W).

$$G = 10 \times \log (1 \text{ pW} / 0,01 \text{ pW}) = 10 \times \log (100) = 10 \times 2 = 20 \text{ dB}$$

Es decir que, tanto si evaluamos la ganancia midiendo tensiones, como si la medimos comparando potencias, la *ganancia* es la misma y nos da 20 *decibelios*, siempre que hayamos aplicado la correspondiente fórmula $20 \times \log$, si medimos tensiones, y $10 \times \log$, si medimos potencias.

Con esta introducción espero que os hayáis familiarizado con el *decibelio* y podamos el próximo día demostrar el principio de reciprocidad de señales de *S-meters* calibrados.

En los receptores de radioaficionados, el lugar en el que aparecen los decibelios, de una forma muy solapada, es en el medidor de S o *S-meter*, instrumento que tiene por objeto indicar el nivel con el que nos llega por la antena la estación que estamos escuchando.

Ése es el instrumento que deberíamos mirar, antes de pasar el control, es decir, antes de soltar *cinco-nueve* sin mirarlo para nada, pequeño descuido que cometen el 95 % de los operadores que no valoran la utilidad de un control bien pasado.

Actualmente, el *S-meter* es un instrumento que proporciona solamente una indicación relativa de la intensidad de la señal de una estación, lo que nos permite únicamente comparar la intensidad de una estación respecto a otra. Por consiguiente, no sirve como medidor de campo, ni da indicaciones del nivel absoluto de llegada de la señal que escuchamos, por falta de esa fiabilidad y precisión de calibrado que estoy criticando. A mí me gustaría que sirviera para dar y recibir controles un poquito más exactos y, por supuesto, más modestos.

Pero, algo raro flota en el ambiente, como si fuera de mala educación pasar un control inferior a *cinco-nueve*; como si fuera a ofender al que lo recibe. Pues a mí me gustaría que me ofendieran más. Es posible que la culpa la tengan esos equipos que marcan un *nueve* a cualquier señal que mueva el *S-meter*. Los fabricantes, por motivos obviamente comerciales, han conseguido que los controles no sirvan para nada, al no incluir en los equipos calibradores como sugería en el artículo anterior [*CQ Radio Amateur*, núm. 35, Nov. 1986, pág. 50], sino más bien medidores ajustados con una generosidad escandalosa. Han explotado hasta el máximo la bobería de los ignorantes que creen que un receptor es tanto mejor cuanto más marque el medidor S.

Hablemos también de los concursos, en que el afán de ganar exige pasar siempre **un inútil cinco-nueve** a todas las estaciones contactadas, para no perder tiempo apuntando un control diferente y tener que mirar el instrumento. Creo firmemente que sería oportuno descalificar a todos aquellos que presentaran unas listas en que pasaran 5-9 a más del 80 % de las estaciones contactadas, puesto que han convertido en superfluo el intercambio de controles. Los concursos están acentuando el vicio de realizar comunicados sin contenido y sin sentido, no sólo durante su celebración, sino que están extrapolando esta forma vacía de operar al resto de comunicados normales que el radioaficionado realiza fuera de los concursos.

No estoy diciendo que tengamos que eliminar los concursos, ya que me parecen estupendos, pues fomentan la competitividad operativa y técnica, aparte de divertir a los apasionados de esta modalidad, pero creo que deberíamos tratar de evitar su degeneración en este aspecto y procurar exigir más contenido al comunicado, estableciendo que el intercambio tuviera algún sentido práctico.

De lo contrario, daremos la razón a los fabricantes japoneses que intentaron sustituir (con poco éxito, por cierto) el instrumento de medida por una tira de ridículas lucecitas o diodos luminiscentes. El rechazo que experimentaron estos equipos me han devuelto la esperanza de que sigamos empleando de una forma más útil el medidor S.

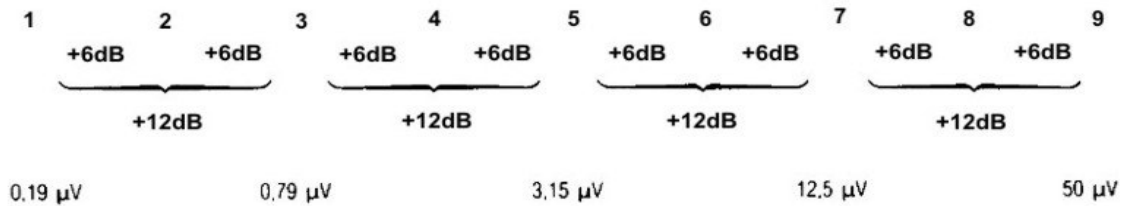
Pasemos a comentar qué significan o intentan significar las indicaciones del instrumento de medida de la recepción de una señal al que llamamos medidor S. En un principio, antes de que existieran estos indicadores, se definió una escala *subjetiva* a la que llamamos el sistema RST o sistema de controles: READIBILITY (legibilidad o comprensibilidad de la señal), STRENGTH (fuerza o intensidad de la señal) y TONE (o pureza del tono en telegrafía). En este sistema, el control S (STRENGTH o fuerza de la señal) se definía como una escala de 1 a 9, en la que el 1 indica señal que se percibe en muy malas condiciones, y el 9 una señal que se recibe perfectamente el 100 del tiempo.

No, el control RST no otorga SANTIAGOS, como los operadores procedentes de los 11 metros se empeñan en intercambiar, sino INTENSIDAD de la señal. A mí que no me pase nadie SANTIAGOS, porque se los tiraré por la cabeza.

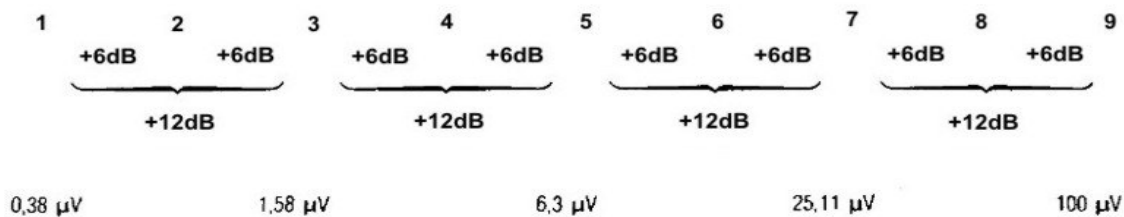
A partir de estos controles cualitativos o subjetivos, cuando se empezó a instalar el CAG (Control Automático de Ganancia) en los receptores, en seguida surgió la idea de utilizar la tensión de control del CAG, para dar un control *más objetivo*.

En principio surgieron **dos escalas cuantitativas** que intentaron trasladar a un instrumento más o menos esas definiciones subjetivas de recepción, convirtiéndolas a unas indicaciones más exactas y objetivas, que permitieran unos controles más exactos y que sirvieran mejor que una simple impresión subjetiva de la calidad de la recepción. Estas escalas se desarrollaron diferentemente en Europa y América.

La americana (figura 1) partió de 50 μV (microvoltios) como señal de referencia para S=9 y establece un intervalo de 6 dB entre cada unidad S, de forma que se llega a 0,19 μV para una señal S=1.



La europea (figura 2) partió de 100 μV como señal de referencia para S=9 y desciende de ese valor también de 6 en 6 dB, hasta llegar al 1 que correspondería a S=1 con 0,38 μV .



Esto significa que, entre el 1 y el 9 hay 8 saltos de 6 dB o sea 48 dB. En algunos equipos se ha afirmado que el medidor salta de 5 en 5 dB, de forma que, entre 1 y 9, habrían solamente 40 dB, pero es más general el considerar los 48 dB entre 1 y 9. Hay que tener en cuenta, que estos valores son muy aproximados, o sea que lo que queremos decir, cuando hablamos de 48 dB entre 1 y 9, es que la cantidad real comprobada varía entre 45 y 50 dB, lo que es una buena aproximación, y que está más cerca de 45 que de 40, como indicaría el salto de 5 en 5.

Es el momento oportuno de recordar que no existe el control 0 en la escala S. Repito, no existe el cero. Puesto que en la escala inicial de valoración subjetiva no existía, puesto que el cero es equivalente a nada, y lo que llega a nivel nulo, o no llega, se supone que no se oye. Y difícilmente se puede pasar un control a alguien que no se escucha, ya que no existe comunicado o QSO. Lo más increíble es que en algunos equipos exista la indicación S=0, demostración de que los que los diseñaron no habían leído nunca ningún libro sobre radioafición que hablara del control RST.

También es el momento de explicar que en los equipos de FM, el instrumento no marca nada que tenga que ver con estas escalas ni nada remotamente parecido. El medidor está de adorno en los equipos exclusivamente de FM, debido a que, en la FM, el CAG no está previsto que actúe de la misma forma que en BLU.

En FM, interesa que se sature uno de los pasos de amplificación del receptor, generalmente el paso anterior al discriminador de frecuencia, paso llamado limitador, con objeto de eliminar cualquier variación de amplitud, entre ellas el desvanecimiento (fading) o QSB rápido. Por eso la disminución de amplificación que efectúa el CAG es muy inferior a la de los equipos de BLU y la escala de medidor S pasa de 1 a 9 con solamente 10 dB, y llega al tope de 9 + 40 con solamente tan poco como 20 dB (lo que llaman full quietement). O sea que cualquier parecido con la escala es mera coincidencia.

Esto no sucede con los equipos de VHF que llevan las dos modalidades incorporadas, pues, en BLU, el CAG actúa muy eficazmente para prevenir la saturación de cualquier etapa y los controles, por consiguiente, pueden ser muy válidos en estos equipos mixtos.

En el pasado artículo de CO Radio Amateur, intenté explicar que el decibelio no es más que una forma de medir las ganancias de una manera más práctica.

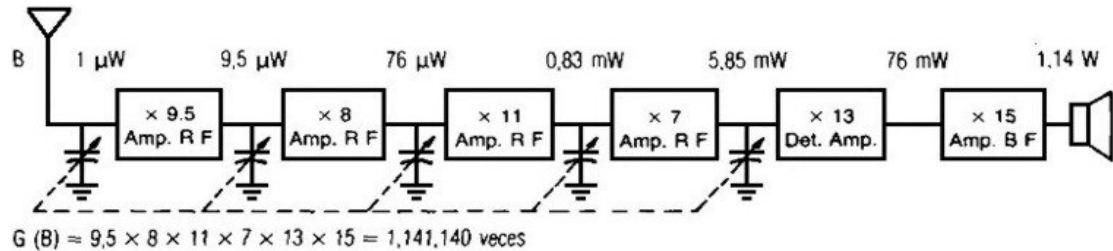
En vez de manejar un número multiplicador astronómico, se manejan las potencias de 10 que forman el multiplicador de la señal de entrada (lo que llamamos ganancia), y cuyo producto nos proporciona el valor de la señal a la salida del receptor. El número de ceros que lleva este multiplicador, al que llamamos ganancia, aparece en el exponente del número 10, cuando expresamos el número en la forma llamada científica, y lo utilizaremos como una nueva forma de indicar la ganancia.

$$G = 35,000.000 = 3,5 \times 10^7 = 107.5$$

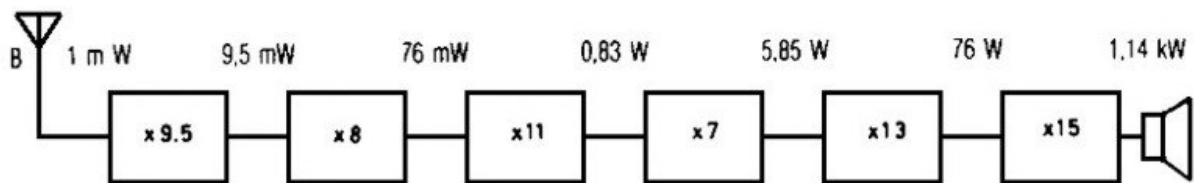
o bien $G = 7,5$ belios = 75 decibelios, expresión en la que vemos que la ganancia en belios es 7 y pico, siendo 7 el número de ceros que llevaría el multiplicador de ganancia, y el pico indica el factor 3,5.

Veamos ahora la forma práctica en que se mide esta señal en los receptores y los inconvenientes que acarrea. La tensión que nos marca el medidor S se obtiene de una tensión imprescindible en los receptores actuales y que se llama CAG o Control Automático de Ganancia (AGC en inglés).

Creo que es muy oportuno exponeros la razón de existir del Control Automático de Ganancia, que representó una gran mejora en la forma de hacer más automático un receptor, y cómo funciona en la práctica.



Si miramos la figura 3, veremos la ganancia de un receptor de radiofrecuencia sintonizada (anterior al superheterodino), tal como la mostrábamos en el artículo anterior (el receptor superheterodino sólo varía en las conversiones de frecuencia, conversiones que aquí sólo nos complicarían inútilmente el diagrama). Si llega una señal de $1 \mu\text{W}$ a la entrada del receptor por la antena, obtendremos una salida de $1,14 \text{ W}$ en el altavoz. Eso ya lo vimos en el artículo anterior y la forma de calcularlo tanto con decibelios, como con multiplicadores de ganancia.

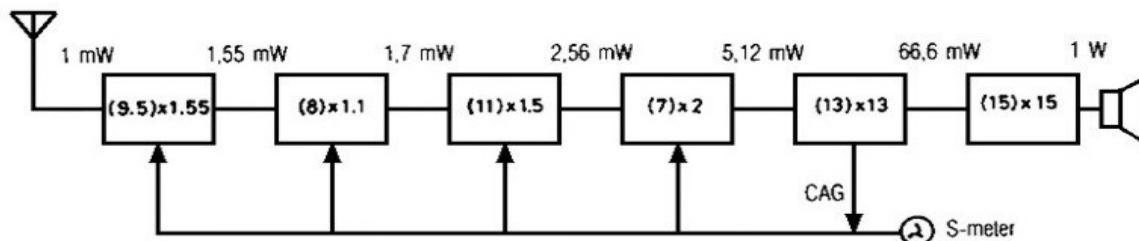


Pero veamos qué ocurre si llegara una señal más fuerte, por ejemplo, una señal de una potencia de 1 milivatio, a la entrada del receptor, captada por la antena, procedente de una estación vecina muy próxima (figura 4), es decir, una señal que fuera 1000 veces mayor de la que teníamos anteriormente, o sea, 1 milivatio, en lugar de 1 microvatio. Cuando llegáramos a la etapa de ganancia $\times 13$ nos encontraríamos con el absurdo de que la señal ya tendría una potencia de 76 W ; y en el altavoz, si se mantuviera la ganancia de todas las etapas exactamente igual, obtendríamos una potencia de 1.140 W ;Superior a 1 kW !

Evidentemente esto sería imposible. El receptor no puede manejar esas potencias en ningún paso amplificador y, probablemente, el paso multiplicador por 7 que daría una salida de $5,85 \text{ W}$ estaría saturado y distorsionaría la señal recibida. Sería incapaz de aumentar su amplitud (amplificar) por encima de 1 W .

Para evitar esto, los receptores primitivos llevaban un mando que se ha conservado como un atavismo primitivo (como el apéndice en el hombre) y que llamamos ganancia de radiofrecuencia, para disminuir manualmente la ganancia de las etapas de amplificación, a fin de evitar esa saturación. Actualmente, no se comprende la utilidad del mando de ganancia de radiofrecuencia, cuando los Controles Automáticos de Ganancia hacen una excelente labor. Si fueran atenuadores de antena progresivos, lo comprendería, pues eso sería muy útil cuando se produce intermodulación por la presencia de varias estaciones fuertes, pero un mando que disminuye manualmente la ganancia de los amplificadores, no tiene apenas utilidad actual.

El CAG utiliza la tensión generada en un detector tipo diodo, para generar una señal que responde logarítmicamente a la tensión de la señal de entrada, para reducir la ganancia de los amplificadores anteriores (figura 5). El efecto global es una tensión que es logarítmicamente proporcional a la señal de entrada en la antena.



Como podéis ver en la figura 5, todos los amplificadores de radiofrecuencia han reducido su ganancia por efecto de la tensión de control de CAG, con efecto de mantener una salida reducida de sólo 1 W a la salida del receptor. Esta tensión de control puede ser negativa en el caso de las válvulas, tensión que se aplica a la reja de control de válvulas de pendiente variable, las cuales disminuyen su ganancia cuando aumenta la tensión negativa de polarización. En el caso de los transistores, la tensión es positiva y controla la corriente de base, de forma que, con mayor corriente de polarización, disminuye la ganancia del transistor.

Los problemas que se plantean para calibrar los medidores S empiezan porque los componentes, ya sean válvulas o transistores, no tienen ganancias iguales, aún siendo del mismo modelo, sino que sus características varían ampliamente. Esto ha empeorado con la utilización de los semiconductores, puesto que tienen una dispersión en sus características muy superior a las de las válvulas.

Sin embargo, existen medios técnicos, entre los que se cuenta las realimentaciones negativas individuales en cada etapa, para uniformar y establecer la ganancia de cada etapa, aunque para conseguir una ganancia estable y prefijada, es preciso utilizar componentes de gran precisión que son bastante más caros.

De todas maneras, aunque se consiguiera solucionar este problema de la diferencia entre distintas válvulas o semiconductores, habría que tener en cuenta que la ganancia de cada etapa varía con la frecuencia y con la banda utilizada, por lo que técnicamente es difícil, aunque no imposible, conseguir ganancias iguales, aún con modelos iguales en cada una de las bandas de radioaficionado.

Pero, si eso se consigue en los medidores de campo, ¿por qué no podría conseguirse en buenos equipos de radioaficionado? Así que no desesperemos.

De todas formas, aún me queda un último cartucho. Podríamos prescindir de todas esas variaciones en los componentes, y establecer en los transeptores un patrón de radiofrecuencia que permitiera calibrar el medidor S, con un mando de ajuste suplementario, de forma que fuera cuál fuera la ganancia del receptor, y la banda en que esté funcionando, consiguiéramos dejar el S-meter en S=9 para una señal patrón de 50 μ V.

Puesto que ya tenemos una posición CAL que nos inyecta armónicos de un cristal que permite calibrar la frecuencia del dial de los transeptores, bastaría conseguir un limitador de suficiente fiabilidad para garantizar que la señal tuviera 50 μ V. Ese limitador existe y es

el diodo Shockty, que puede actuar como limitador a tensiones tan pequeñas como 50 μ V. Claro que desconozco la repetitividad que se obtiene en su fabricación, pero no creo que importaran mucho desviaciones de ± 10 μ V, pues eso es un error de 2 dB sobre 50 μ V.

Luego, si esto se consiguiera, sólo tendríamos que actuar sobre un mando de ajuste que nos permitiera calibrar la indicación a S=9 en cada banda y tendríamos un medidor de campo bastante fiable. En principio, la fiabilidad de la indicación del nivel de una señal sería solamente cerca del S=9, puesto que sería mucho menor cuanto más nos alejáramos de ese valor. Ahí sí que tendría que mejorarse la uniformidad de ganancia de los receptores.

Quizá todavía no he insistido suficiente en las ventajas que esta calibración nos aportaría. La primera, yo diría que la más evidente, es la dificultad que se nos presenta actualmente para valorar si nuestro receptor "tira" bien; si por lo menos funciona igual que el del vecino. En estos momentos no podemos decir, sin utilizar un instrumental sofisticado, si un receptor funciona decentemente, a menos que lo llevemos a casa de un vecino y lo comparemos con otro, utilizando la misma antena.

Si el medidor estuviera calibrado, a poco que supiéramos qué antena utiliza nuestro vecino, podríamos juzgar rápidamente el funcionamiento de nuestra antena y nuestro receptor.

Actualmente, no podemos comparar nuestra antena con la del vecino en recepción, sino que nos vemos obligados a ponernos en transmisión y a pedir controles comparativos que no son nunca simultáneos, puesto que debemos transmitir en momentos diferentes, con lo que el QSB enmascara todos los resultados.

En recepción, con medidores S calibrados, bastaría que una de las estaciones cantara la señales que le marca el instrumento, para que los operadores que le escucharan vieran en seguida como tiraba su antena. Eso significa menos QRM en pruebas comparativas y eso vale mucho en unas bandas congestionadas.

Por otra parte, normalmente no podemos comparar dos antenas en nuestro QTH simultáneamente por falta de espacio, puesto que tenemos que desmontar una y poner otra. Dado que no podemos fiarnos de la estabilidad de ganancia de nuestros receptores, no podemos estar seguros, sin un calibrado de su indicación, de que cuando probemos la nueva antena que acabamos de montar, estemos en las mismas condiciones de recepción que el día anterior.

Podríamos valorar la eficiencia y rendimiento en ganancia de antenas diferentes y lugares diferentes, y considerar todos los factores para que una antena dé su rendimiento óptimo y estudiar qué lugares favorecen su mejor rendimiento, sin necesidad de pruebas complicadas, puesto que tendríamos una indicación excelente y simultánea de, por ejemplo, cuatro estaciones que en un instante dado valorarán la señal que reciben y la informaran por radio.

Creo que se nos ocurrirían muchas más utilizaciones prácticas, si pudiéramos obtener de los medidores S unas indicaciones fiables o, al menos, que pudieran calibrarse adecuadamente. Y me exaspera que no se haya hecho ningún intento serio de que las señales dadas por el cristal de calibrado de la mayoría de equipos de radioaficionado sirvieran de patrón de amplitud para calibrar el medidor S.

Me parece que eso se podría conseguir de forma barata y fácil, así que ¿por qué no insistimos?

Cuando contempléis los anuncios de antenas, siempre tenéis que mirarlos con la mosca en la oreja, o poniendo cara de duda.

Cuando veáis la ganancia anunciada para las antenas verticales colineales, os quedaréis asombrados. Se ven cosas como 10 dB de ganancia, 12 dB y otras fantasías. A la que menos le dan son 6 dB de ganancia, que en términos de multiplicación significan multiplicar la potencia emisora por cuatro veces y, cuando la compras, descubres que no es más que una escoba que capta radiofrecuencia de todas partes, menos de la que te interesa.

De todas maneras tengo en perspectiva escribir un próximo artículo sobre las colineales, para ver si es verdad lo que digo, porque algunas veces, hasta que no intento escribirlo y demostrarlo, no me doy cuenta yo mismo de todas las implicaciones.

Pero, para desfacer entuertos y seguir nuestro camino con el decibelio por la ruta dorada de las antenas, necesitáis conocer dos cosas más:

- **Primero**, disponer una buena tabla de decibelios, que nos evite el tener que usar los logaritmos o una calculadora para comparaciones sencillas.
- **Segundo**, saber que significan exactamente las ganancias de una antena. En primer lugar, ahí va una tabla práctica (tabla 1). Y podríamos seguir así hasta el infinito. Veamos una observación importante: Las ganancias en decibelios son únicas, y el mismo número de decibelios se aplica igual a tensiones que a potencias. Los decibelios son siempre los mismos, aunque el multiplicador de potencia difiere del multiplicador de tensión.

Las ganancias de las antenas no son ganancias en el mismo sentido que los amplificadores, los cuales aumentan la potencia de una señal dándole más amplitud por aportación de más energía, sino que en las antenas tiene matices diferentes. Aunque el resultado sea el mismo: o sea, obtenemos una señal de mayor amplitud en recepción y en transmisión.

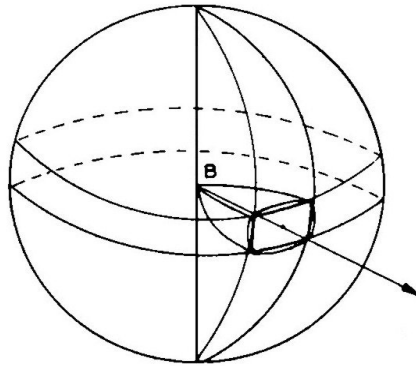
La antena isotrópica

Para conocer la ganancia de una antena en transmisión, la comparamos con un emisor, cuya antena fuera solamente un punto y a la que llamamos antena isotrópica. Es decir imaginamos una antena que sea un punto radiante que envíe la potencia del transmisor repartida por igual en todas direcciones (figura 1) y a la que llamamos antena A. La radiación se desprende en forma de oleadas de esferas sucesivas que se alejan progresivamente del centro de la esfera que es el punto radiante o antena isotrópica.

<i>Ganancia decibelios</i>	<i>Equivalen a relación de potencias W_s/W_e</i>	<i>Equivalen a relación de tensiones V_s/V_e</i>
1 dB	× 1	× 1,12
2 dB	× 1,58	× 1,25
3 dB	× 2	× 1,41
5 dB	× 3,16	× 1,78
6 dB	× 4	× 2
9 dB	× 8	× 2,81
10 dB	× 10	× 3,16
20 dB	× 100	× 10
30 dB	× 1.000	× 31,6
40 dB	× 10.000	× 100
50 dB	× 100.000	× 316
60 dB	× 1.000.000	× 1.000

La antena isotrópica no existe, pero permite comparar matemáticamente todas las antenas, y definir su ganancia como resultado de la directividad.

La directividad no es más que la capacidad de concentrar la radiación en una dirección determinada. Es decir que una antena con directividad (y de ahí su ganancia), como por ejemplo la B (figura 2), concentra la potencia del transmisor en unas direcciones privilegiadas del espacio. Por consiguiente, la potencia en estas direcciones privilegiadas es mayor que la que originaría una antena isotrópica con el mismo transmisor y potencia.



Ahora aumentamos la potencia del transmisor A, equipado con la antena isotrópica A, hasta que en la dirección que estamos comparando se obtenga la misma potencia radiada que con la antena directiva B. Si para conseguirlo hay que multiplicar la potencia del transmisor por 8, diremos que la antena B tiene una ganancia del 9 dB isotrópicas, o 9 dBi (véase la tabla de equivalencias entre multiplicadores y decibelios en la que se ve que x8 equivale a 9 dB). Diciéndolo al revés, la antena B produce una radiación de energía en la dirección privilegiada que es ocho veces mayor que la que daría una antena isotrópica, por lo que decimos que tiene una ganancia de 9 dBi.

Fijaros que la antena no genera nueva potencia, sino que la concentra, o sea que no es un amplificador activo en el sentido de darle una aportación de nueva energía, sino que se limita a concentrar la que ya había generado el transmisor. Eso no importa, pues el resultado de utilizar la antena B produce el mismo efecto que si tuviéramos un transmisor ocho veces más potente en A con la antena isotrópica

La gran ventaja de las antenas directivas es que obtenemos más potencia equivalente, sin gastar más energía en el transmisor. Es la amplificación de energía más barata, que nos saldría casi gratis, si las antenas directivas no fuesen tan caras. Pero, igual que nos sale más a cuenta comprar un teléfono supletorio, que estar pagando el alquiler del supletorio a la telefónica todo el resto de nuestra vida, la compra de una buena antena directiva será siempre más rentable que la de un amplificador de más potencia.

En la práctica, como la antena isotrópica es ficticia y no puede construirse, pues es imposible concentrar una antena en un punto, se hacen las comparaciones con una antena real que es el dipolo de 1/2 onda en el espacio libre, del que se ha determinado que tiene una ganancia de 2.1 dBi, o sea que produce una radiación en la dirección perpendicular al mismo que es 1,6 veces la de una antena isotrópica

Y como a nosotros nos interesan más las comparaciones con antenas reales, por consiguiente, todas las ganancias de las antenas de radioaficionado se dan preferentemente comparadas con un dipolo de media onda, en vez de con la isotrópica, y el resultado se le añade la letra d. Nuestra antena directiva B tiene una ganancia de $9 - 2,1 = 6,9$ dBd comparativamente a un dipolo.

Pero algunos fabricantes intentan pasar gato por liebre y no dicen con cual de las dos antenas de referencia ha sido comparada la ganancia de su antena. Intentan darnos ganancias dBi en lugar de dBd, con lo que dan valores 2,1 dB superiores a los que deberían dar. Normalmente esto se detecta porque estos fabricantes no especifican la letra que va a continuación de los dB, lo cual nos indicaría, sin ninguna duda, qué tipo de comparación han efectuado para evaluar la ganancia.

Esto se agrava con las antenas verticales, pues generalmente las ganancias se dan comparativamente con una antena típicamente vertical de 1/4 de longitud de onda. No se pueden hacer comparaciones reales entre antenas de polarización vertical y otra horizontal, por lo que las ganancias con relación a un dipolo horizontal son carentes de sentido.

Además hay una gran confusión, pues la antena vertical de 1/4 de onda patrón debe de tener teóricamente un plano infinito conductor en el espacio libre, pero esa antena no es real. Es tan ficticia como la isotrópica. No se puede conseguir un plano de tierra infinito y perfectamente conductor.

La antena vertical de 1/4 de onda real con plano de tierra más o menos mal conductor es peor que el dipolo de media onda, pues es más pequeña y se considera que tiene una ganancia negativa respecto al dipolo de -1.75 dBd. Es decir, que su ganancia isotrópica sería $G = 2,1 - 1,75 = 0,35$ dBi

Aprovechando esto, generalmente las ganancias de antenas verticales son prácticamente ganancias isotrópicas, pues el valor isotrópico es casi el mismo si la ganancia se compara con un cuarto de onda real. Es decir, que siempre hay que recordar que debemos restar 2 dB para compararlos con dipolos de media onda. De ahí que los valores de

ganancia de las colineales que comentábamos al principio probablemente son valores isotrópicos o dBi, en lugar de ser dBd.

El decibelio absoluto o dBm

Hasta ahora hemos hablado del decibelio como una unidad relativa, una medida de comparación entre señales de entrada y salida de un amplificador. Es decir, hemos insistido en que era una unidad de comparación y que no es una unidad que dé valores absolutos. En Física diríamos que es una unidad sin dimensiones. Sin embargo, en cuanto a potencias, sí que se ha pensado en una potencia de referencia con la cual podemos comparar todas las demás y hablar de decibelios absolutos, referidos a esta potencia clave.

Esto nos permite utilizar el decibelio como unidad absoluta, puesto que lo usamos para comparar cualquier potencia con una de referencia preestablecida.

Esta potencia de referencia preestablecida clave es 1 mW (milivatio), aunque a veces también se utiliza el vatio.

Los decibelios que comparan una potencia con el milivatio se llaman dBm, y los que la comparan con el vatio, dBW.

Para nosotros, los radioaficionados, las potencias casi siempre se miden sobre una resistencia de 50 ohmios, por lo que la tensión correspondiente a un milivatio es:

$$V_m = \sqrt{W \times R} = \sqrt{0,001 \text{ vatios} \times 50 \text{ ohmios}} = 0,223 \text{ V} = 223 \text{ mV}$$

Y a un vatio:

$$V_w = \sqrt{W \times R} = \sqrt{1 \text{ vatio} \times 50 \text{ ohmios}} = 7,07 \text{ V}$$

La señal de referencia de 50 μ V en los bornes del receptor que hemos afirmado que debería corresponder en los medidores S de los receptores bien calibrados para S9, sería:

$$S9 = 20 \times \log(0,000,050 \text{ V} / 0,223 \text{ V}) = -73 \text{ dBm referida a 1 milivatio}$$

o si lo referimos a 1 vatio sería:

$$S9 = 20 \times \log(0,000,050 \text{ V} / 7,07 \text{ V}) = -103 \text{ dBW}$$

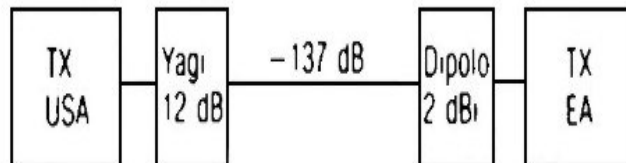
Con esta referencia, podemos hablar de potencias y tensiones de forma absoluta con los decibelios, aunque estos sean una medida relativa de comparación.

Teorema de reciprocidad

Una vez conocido lo que es la ganancia de las antenas, podemos pasar a intentar explicar el teorema de la reciprocidad de lecturas en los medidores S.

Supongamos que hablamos con un americano con una potencia de 100 W (vatios) y con una antena directiva de cuatro elementos monobanda de las que pueden llegar a tener una ganancia de 12 dBi o 10 dBd (redondeemos la décima, es decir, prescindamos del pico y dejemos la ganancia del dipolo en 2 dBi) y que está en QSO con nosotros que tenemos solamente una antena dipolo de 2 dBi o 0 dBd (figura 3).

$$100 \text{ W} \rightarrow 50 \text{ dBm} + 12 \rightarrow 62 \text{ dBm} - 137 \text{ dB} \rightarrow -75 \text{ dBm} + 2 \text{ dB} \rightarrow -73 \text{ dBm} (50 \mu\text{V S9})$$



$$(50 \mu\text{V S9}) = -73 \text{ dBm} \leftarrow +12 \text{ dB} - 85 \text{ dBm} \leftarrow (-137) + 52 \text{ dBm} \leftarrow 2 + 50 \text{ dBm} \leftarrow 100 \text{ W}$$

La potencia del americano referida a 1 mW es de 50 dBm. Si le añadimos una antena de 12 dBi la señal que pondrá en nuestra dirección es de $50 + 12 = 62$ dBm.

La potencia recibida en nuestro receptor es 50 pW o sea -73 dBm, pero esto se ha producido con una antena que tiene +2 dBi, por lo que la atenuación entre las dos estaciones es de $62 + 2 - (-73) = 137$ dB.

Si ahora lo miramos al revés y la potencia de nuestro transmisor es también de 100 W o sea 50 dBm, la señal que emitimos por la antena tendrá 2 dB más o sea 52 dBm.

Si la trayectoria de vuelta es la misma, como generalmente suele pasar, experimentará una atenuación igual de 137 dB, por lo que una antena isotrópica en América daría:

$$52 - 137 = -85 \text{ dBm}$$

pero, como el americano tiene una directiva, la señal llegará a su receptor aumentada por la ganancia de su antena directiva en 12 dB y esto la aumentará hasta:

$$-85 + 12 \text{ dBi} = -73 \text{ dBm},$$

por lo que la señal que teóricamente marcaría un medidor S igualmente bien calibrado sería exactamente la misma, la que precisamente hemos dicho que equivale a 50 μ V en bornes del receptor y a S9.

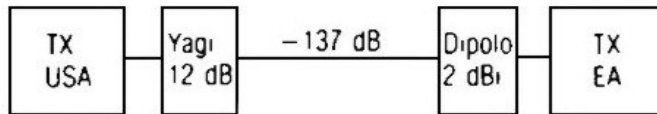
Fijaros pues que las señales intercambiadas son iguales, independientemente de las antenas de cada estación, que precisamente son diferentes, y lo que vendría a demostrar el teorema de la reciprocidad.

Esto se aplica al promedio de las señales recibidas durante un lapso de tiempo, porque el desvanecimiento (fading) o QSB puede producir aumentos y disminuciones de señal en diferentes momentos para las dos estaciones. Y puede dar a lecturas variables que dificultan la comparación

Por otra parte, las señales que marquen los medidores S serán diferentes si las potencias empleadas son diferentes, siempre que las antenas tengan una eficiencia similar.

Por consiguiente, si el americano utiliza un lineal de 2 kW, o sea aumenta su potencia en 20 veces o en 13 dB, nuestro S-meter marcará aproximadamente S9+10 (+13), mientras que a nosotros nos escucharía con S9 (figura 4).

$$2\text{kW} \rightarrow -63 \text{ dBm} + 12 \text{ dBm} \rightarrow 75 \text{ dBm} - 137 \text{ dB} \rightarrow -62 \text{ dBm} + 2 \text{ dB} \rightarrow -60 \text{ dBm} \text{ (223 mV o S9+13)}$$



$$S9 \text{ } 50 \mu\text{V} \leftarrow -73 \text{ dBm} \leftarrow 12 \text{ dBm} - 85 \text{ dBm} \leftarrow (-137) + 52 \text{ dBm} \leftarrow -2 \text{ dB} + 50 \text{ dBm} \leftarrow 100 \text{ W}$$

Es decir, la relación de indicaciones entre dos estaciones con los medidores S calibrados, será igual a la relación entre las potencias de ambas estaciones, transformada en decibelios. No he mencionado que normalmente los decibelios de ganancia de las antenas que dan los fabricantes se refieren muchas veces a comparaciones con dipolos del mismo tipo que la antena directiva y puede ser que dos antenas no tengan la misma eficiencia, por culpa de mayores pérdidas en las bobinas. En ese caso, aparte de la directividad, a uno de los receptores le afectaría negativamente la menor eficiencia y su medidor marcaría menos. Es decir, le afectarían negativamente unas mayores pérdidas en su antena.

De ahí deduzco yo la gran utilidad que nos prestaría un medidor S en los equipos que estuviera bien calibrado, pues nos permitiría deducir en seguida si nuestra antena está trabajando correctamente y con qué ganancia. Basta charlar con alguien que tenga nuestra misma potencia y nos pase control, para saber que, si todo fuera bien, tendríamos que pasarle la misma señal que nos pasa el corresponsal.

Y final de este rollo sobre el decibelio, que espero haya servido para que le hayáis perdido el miedo y descubráis la utilidad de los medidores S. A ver si tenemos suerte, me leen los fabricantes de equipos y los calibran mejor.