

CABLES COAXIALES

Introducción

El cable coaxial es hoy día el más utilizado por los radioaficionados en particular y en general en el campo profesional, para el traslado de la energía de RF generada por un transmisor hacia la antena correspondiente, y así producir el adecuado campo electromagnético. Atrás quedó el empleo de la cinta de conductores paralelos utilizada en televisión, que con su impedancia de 300Ω era muy adecuada para la alimentación de antenas, sobre todo en HF. También han quedado casi completamente fuera de uso las famosas "escaleras" de conductores paralelos realizados con trozos de tubos de plástico.

Las razones del empleo preferente del cable coaxial son su resistencia a la intemperie, facilidad de uso, menos posibilidades de interferencias, facilidad para utilizar conectores, no queda afectado por objetos metálicos próximos, se puede tender al aire sujeto con grapas sobre paredes, adentro de ellas o en conductos metálicos, etc.

La palabra "coaxial" quiere decir concéntrico, es decir que tienen el mismo centro. El cable coaxial está formado por dos conductores concéntricos, uno interior, llamado normalmente "vivo" y otro exterior que rodea al conductor interior y que normalmente está formado por una "malla" o rejilla de hilos trenzados.

El conductor interior puede ser de un solo hilo macizo o bien estar formado por varios hilos retorcidos. El conductor exterior puede estar formado por una o dos mallas y además puede llevar una lámina de aluminio o cobre, con lo que el blindaje mejora. Entre los dos conductores se encuentra un aislante, que puede ser macizo, normalmente de polietileno, o bien formado por una espuma plástica. En este caso el cable es algo más flexible.



Figura 1: cables coaxiales.

Tipos de cables

En la figura 1 se pueden ver distintos tipos de cable coaxial. El situado más a la izquierda es un cable coaxial con malla plateada y aislante de teflón, material que se caracteriza por su resistencia a las altas temperaturas. Este tipo de cable se utiliza para la interconexión de las distintas unidades de equipos de transmisión, recepción, etc.

El situado a continuación es el cable utilizado normalmente en las instalaciones de televisión. Tiene una impedancia característica de 75Ω , una malla de hilos de cobre, aislante de espuma y conductor central formado por un solo hilo de cobre. La malla no es muy tupida, por lo que el apantallamiento no es el mejor posible, aunque sirve perfectamente para la función mencionada.

El cable más a la derecha se utiliza también en televisión y como el anterior, tiene una impedancia característica de 75Ω . También tiene aislante de espuma y conductor central de un solo hilo, pero a diferencia del anterior, además de la malla de hilos de cobre, tiene una lámina de cobre formando parte del conductor exterior, con lo que se mejoran sus características de apantallamiento, radiación, pérdidas, etc. Este cable se puede usar en transmisión para alimentar dipolos, cuya impedancia es de 75Ω , sobre todo con equipos que tengan el paso final a válvulas, por su mayor capacidad de adaptar la impedancia de 75Ω del cable. Los equipos transistorizados tienen la impedancia de salida normalizada en 50Ω , por lo que la utilización de este cable impedirá que el transmisor entregue toda su potencia.

El cable situado a continuación es del tipo RG-59 también con una impedancia de 75Ω , por lo que es aplicable todo lo comentado anteriormente. Es un cable de buena calidad, con una malla bastante tupida y aislante de polietileno. Su cubierta, bastante gruesa, aguanta muy bien los agentes atmosféricos.

A su derecha está el conocido RG-58. Su impedancia es de 50Ω y el conductor central está formado por varios hilos, por lo que es bastante flexible. Debido a su impedancia de 50Ω se puede utilizar perfectamente en transmisión, para las bandas de HF siempre que la potencia utilizada no sea muy elevada y la longitud del cable no sea demasiado larga.

Más a la derecha se encuentra otro cable también muy utilizado. Se trata del RG-213, con una impedancia característica de 50Ω . El aislante es de polietileno y el conductor central está formado por varios hilos. Su capacidad de potencia es bastante elevada y se puede utilizar perfectamente en HF e incluso en VHF. También se puede utilizar en la banda de 70 centímetros si la longitud no es muy elevada.

Para la banda de 432MHz y la de 1200MHz y sobre todo si la longitud del cable es elevada, es preferible utilizar cables como el H-100 que se encuentra a continuación. Este cable tiene el conductor central formado por un solo hilo macizo y el conductor exterior está formado por una malla de hilos de cobre y una lámina de cobre. El aislante es de polietileno. De esta manera las pérdidas del cable disminuyen y es posible su uso en frecuencias tan elevadas como 1200MHz.

Otro cable muy similar al H-100 es el que se encuentra a continuación cuya denominación es C-0-22. En este caso la lámina metálica que acompaña a la malla es de aluminio y el aislante es de espuma, por lo que el cable pesa menos y es algo más flexible. Por último y totalmente a la derecha se encuentra un cable con un diámetro de una pulgada. El conductor central es un tubo de cobre y el conductor exterior también es un tubo de cobre corrugado para dar algo de flexibilidad al cable. El aislante es de espuma, por lo que, a pesar del diámetro del cable, su peso es reducido. Este cable se utiliza en el campo profesional en instalaciones de alta potencia y frecuencias elevadas, como pueden ser los repetidores de telefonía móvil.

Además de los mencionados, existen otros cables en el mercado que pueden ser de utilidad para el radioaficionado. Los parámetros a tener en cuenta son la impedancia característica, potencia que puede manejar el cable y la atenuación que presenta a determinadas frecuencias. Características como doble malla, lámina de cobre o aluminio, etc. Son deseables.

En la tabla se pueden ver las características de distintos cables coaxiales. Se presentan los tipos bajo la denominación "RG" así como las características principales del tipo C-0-22 mencionado anteriormente. En la tabla se encuentran los datos referentes al diámetro, impedancia característica, factor de velocidad, así como la atenuación en dB a distintas frecuencias de trabajo.

TIPO DE CABLE	DIÁMETRO EN MM.	IMPEDANCIA	FACTOR VEL.	DECIBELIOS DE ATENUACIÓN POR 100 METROS.						
				10 MHz	50 MHz	100 MHz	200 MHz	400 MHz	1 GHz	3 GHz
RG5	8,3	50	0,66	2,72	6,23	8,86	13,50	19,4	32,15	75,5
RG6	8,5	75	0,66	2,72	6,23	8,86	13,50	19,4	32,15	75,5
RG8	10,3	52	0,66	1,80	4,27	6,23	8,86	13,5	26,30	52,5
RG9	10,7	51	0,66	2,17	4,92	7,55	10,80	16,4	28,90	59,1
RG10	12,0	52	0,66	1,80	4,27	6,23	8,86	13,5	26,30	52,5
RG11	10,3	75	0,66	2,17	5,25	7,55	10,80	15,8	25,60	54,1
RG12	12,0	75	0,66	2,17	5,25	7,55	10,80	15,8	25,60	54,1
RG13	10,7	74	0,66	2,17	5,25	7,75	10,80	15,8	25,60	54,1
RG14	13,9	52	0,66	1,35	3,28	4,59	6,56	10,2	18,00	40,7
RG17	22,1	52	0,66	0,79	2,03	3,12	4,92	7,87	14,40	31,2
RG18	24,0	52	0,66	0,79	2,03	3,12	4,92	7,87	14,40	31,2
RG19	28,5	52	0,66	0,56	1,48	2,30	3,70	6,07	11,80	25,3
RG20	30,4	52	0,66	0,56	1,48	2,30	3,70	6,07	11,80	25,3
RG21	8,5	53	0,66	14,40	30,50	42,70	59,10	85,30	141,00	279,0
RG34	15,9	75	0,66	1,05	2,79	4,59	6,89	10,80	19,00	52,5
RG35	24,0	75	0,66	0,79	1,90	2,79	4,17	6,40	11,50	28,2
RG55	5,3	53	0,66	3,94	10,50	15,80	23,00	32,80	54,10	100,0
RG58	5,0	50	0,66	4,59	10,80	16,10	24,30	39,40	78,70	177,0
RG59	6,2	75	0,66	3,61	7,87	11,20	16,10	23,00	39,40	86,9
RG74	15,7	52	0,66	1,35	3,28	4,59	6,56	10,70	18,00	40,7
RG122	4,1	50	0,66	5,58	14,80	23,00	36,10	54,10	95,10	187,0
RG142	4,9	50	0,69	3,61	8,86	12,80	18,50	26,30	44,30	88,6
RG174	2,6	50	0,66	12,80	21,70	29,20	39,40	57,40	98,40	210,0
RG177	22,7	50	0,66	0,79	2,03	3,12	4,92	7,87	14,40	31,2
RG178	1,9	50	0,69	18,40	34,50	45,90	63,30	91,90	151,00	279,0
RG179	2,5	75	0,69	17,40	27,90	32,80	41,00	52,50	78,70	144,0
RG180	3,7	95	0,69	10,80	15,10	18,70	24,90	35,40	55,80	115,0
RG187	2,8	75	0,69	17,40	27,90	32,80	41,10	52,50	78,70	144,0
RG188	2,8	50	0,69	19,70	31,50	37,40	46,60	54,80	102,00	197,0
RG195	3,9	95	0,69	10,80	15,10	18,70	24,90	35,40	55,80	115,0
RG196	2,0	50	0,69	18,40	34,50	45,20	62,30	91,90	151,00	279,0
RG212	8,5	50	0,66	2,72	6,23	8,86	13,50	19,40	32,15	75,5
RG213	10,3	50	0,66	1,80	4,27	6,23	8,86	13,50	26,30	52,5
RG214	10,8	50	0,66	2,17	4,92	7,55	10,80	16,40	28,90	59,1
RG215	10,3	50	0,66	1,80	4,27	8,23	8,86	13,50	26,30	52,5
RG216	10,8	75	0,66	2,17	5,25	7,55	10,80	15,80	25,60	54,1
RG217	13,8	50	0,66	1,35	3,28	4,59	6,56	10,17	18,00	40,7
RG218	22,1	50	0,66	0,79	2,03	3,12	4,92	7,87	14,40	31,2
RG219	24,0	50	0,66	0,79	2,03	3,12	4,92	7,87	14,40	31,2
RG220	28,5	50	0,66	0,56	1,48	2,30	3,70	6,07	11,80	25,3
RG221	30,4	50	0,66	0,56	1,48	2,30	3,70	6,07	11,80	25,3
RG222	8,5	50	0,66	14,40	30,50	42,70	59,10	85,30	141,00	279,0
RG223	5,4	50	0,66	3,94	10,50	15,80	23,00	32,80	54,10	100,0
RG302	5,3	75	0,69	1,50	4,00	10,80	15,40	22,60	41,90	85,3
RG303	4,3	50	0,69	3,61	8,86	12,80	18,50	26,30	44,30	88,6
RG316	2,6	50	0,69	19,70	31,50	37,40	46,60	54,80	102,00	197,0
CO-22	10	50	0,80	1,2			6,0	8,0	16,0	42,0

Tabla

En la primera columna aparece el tipo de cable, en la segunda el diámetro expresado en milímetros, a continuación, la impedancia característica, el factor de velocidad y después la atenuación en decibelios a distintas frecuencias, para una longitud de cien metros.

Los cables se denominan con las letras "RG" seguidas de un número. Esta forma de marcar los cables coaxiales parece responder a una norma americana. He buscado en diversas publicaciones el significado de estas letras, así como del número y no he encontrado esta información. Hay fabricantes que denominan sus cables coaxiales con otro tipo de código distinto al "RG" mencionado.

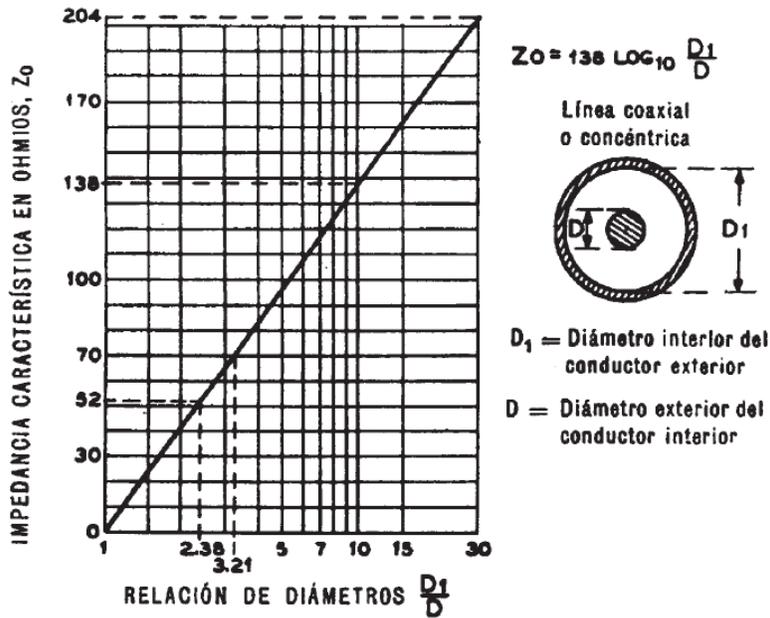


Figura 2: impedancia característica.

El diámetro del cable viene expresado en milímetros. Cuanto mayor sea el diámetro, mayor será la superficie de los conductores por la que pasará la energía de RF y por tanto la pérdida de potencia será menor.

La impedancia característica de un cable coaxial depende de la inductancia de los conductores interno y externo, así como de la capacidad entre ellos. El valor de esta impedancia depende de la relación de los diámetros de los conductores interno y externo, y se puede calcular con la siguiente fórmula

$$Z_0 = 138 \log (D_1/D)$$

D_1 es el diámetro interior del conductor exterior.

D es el diámetro interior del conductor central.

En el ábaco de la figura nº 2 se puede ver que un cable coaxial en el que la relación de los diámetros de los conductores exterior e interior es de 2,38, la impedancia característica es de 52Ω, mientras que con una relación de 3,21, la impedancia característica es de 75Ω.

La energía de RF se desplaza por el espacio a la velocidad de la luz, que es de 300000 kilómetros por segundo. En los cables coaxiales, debido a la inductancia de los conductores y la capacidad entre ellos, esta velocidad queda reducida por un factor que es el llamado "factor de velocidad". Esto quiere decir que, en un cable cuyo factor de velocidad sea de 0,66, la velocidad de propagación de la RF será de 300000 multiplicado por 0,66, es decir, 198000 kilómetros por segundo.

Este factor de velocidad habrá que tenerlo en cuenta al calcular la longitud que deberá tener un transformador de impedancias realizado con cable coaxial. Normalmente se utiliza un cuarto o un medio de longitud de onda. La longitud calculada habrá que multiplicarla por el factor de velocidad del cable que se esté utilizando.

La atenuación de los cables coaxiales se da en decibelios a distintas frecuencias de trabajo. Es conveniente utilizar un cable que tenga las menores pérdidas posibles, sobre todo en frecuencias altas. Normalmente se utiliza el tipo RG-58 hasta 30MHz y para potencias reducidas. Para mayores potencias será necesario utilizar el tipo RG-213. Este cable puede ser utilizable hasta la banda de 70 centímetros, sobre todo si la longitud no es muy elevada, digamos 10 a 15 metros. Para longitudes mayores será conveniente utilizar otro cable de mejores características. Hay que indicar que el cable atenúa las señales tanto en transmisión como en recepción, por lo que el empleo de un buen cable, en combinación con una buena antena redundará en buenas señales en los dos sentidos, No obstante, hay que tomar las cifras de atenuación en su justa medida. Una pérdida de señal de seis decibelios supone una unidad menos en el "s-meter", lo cual puede ser insignificante si la señal es buena. Por el contrario, si las señales son muy débiles, cualquier decibelio que podamos ganar supondrá un incremento significativo de la señal.

Conectores

Los cables coaxiales se terminan normalmente en un conector. Los conectores más utilizados son el tipo "PL-259", que se emplea en HF y VHF, y el tipo "N" que se emplea en frecuencias superiores. Otros conectores de uso menos corriente son el tipo "BNC", "SMA", etc.

Los transceptores de HF y VHF vienen equipados con el conector hembra correspondiente, cuya denominación es "SO-239". En los equipos de UHF se utilizan conectores tipo "N" hembra.

El conector tipo "PL-259" es el más utilizado. Está formado por dos piezas, el conector propiamente dicho y una pieza roscada de acoplamiento. El conductor central se suelda en el extremo del "pin" central, y el conductor exterior se suelda al cuerpo del conector a través de unos orificios laterales dispuestos a tal efecto.

Montaje del conector

Para montar el conector "PL-259" es preciso seguir un procedimiento que nos asegure su correcta colocación. Como herramientas utilizaremos una cuchilla muy afilada ("cutter"), unos alicates, y un soldador de bastante potencia, digamos 100 watts. La figura nº 3 ilustra el procedimiento de montaje. A una distancia de unos 30 milímetros del extremo del cable, daremos un corte alrededor, procurando no dañar la malla. Mediante un corte longitudinal separaremos el trozo de funda de plástico. Después estañaremos la malla utilizando el soldador y la menor cantidad de estaño posible. Esta operación tiene como objeto sujetar los hilos que forman la malla para que no se descoloquen. El cable quedará tal como se muestra en la figura nº2, en la posición segunda empezando por la derecha. Con la cuchilla bien afilada y mediante unos movimientos de rotación, cortaremos la malla a una distancia de ocho milímetros desde el final de la funda de plástico. Profundizaremos el corte

hasta llegar al conductor central para cortar también el aislante de plástico, teniendo cuidado de no cortar dicho conductor central. Separaremos la malla y el aislante sobrante y estañaremos el conductor central. El cable quedará tal como aparece en la posición tercera de la figura n° 2. Hay que asegurarse que no haya ningún hilo que pueda poner en cortocircuito el conductor central con la malla.

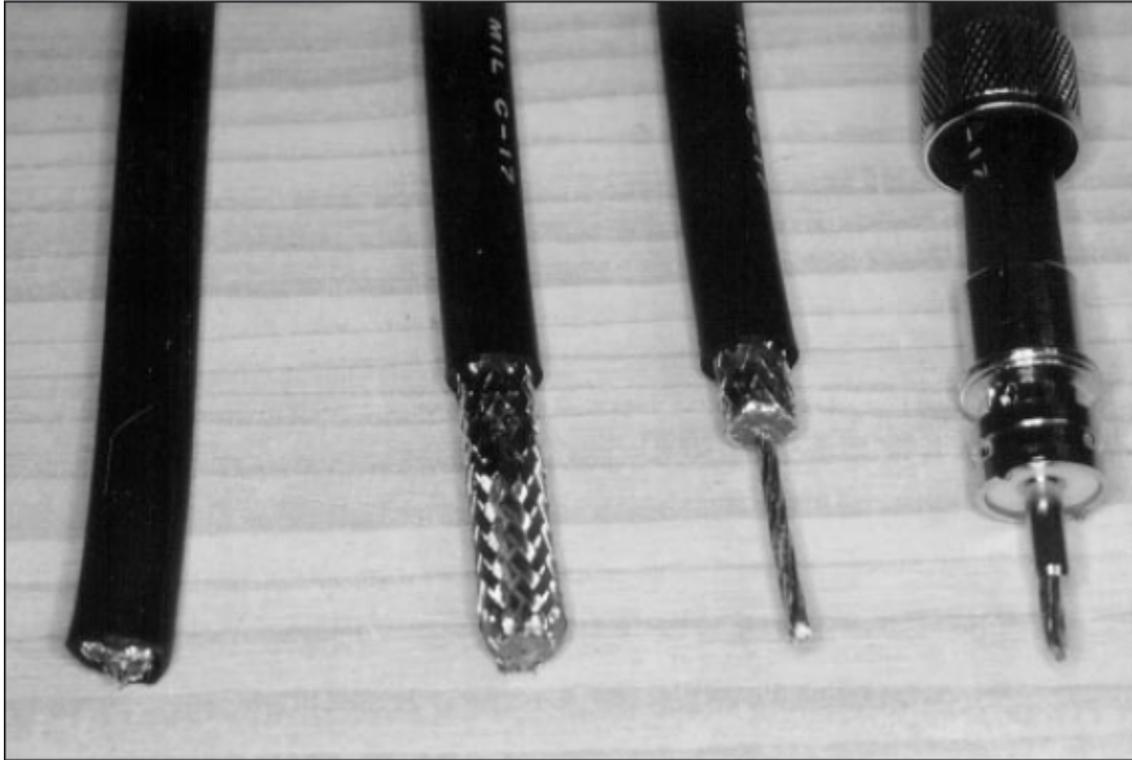


Figura 3: armado del conector.

Antes de proceder a la soldadura del conector, y puesto que normalmente están níquelados en su exterior, es muy recomendable limar, con una lima fina, alrededor de los agujeros laterales donde se efectuará posteriormente la soldadura de la malla. Una vez preparado el cable tal como se ha indicado, en primer lugar se introduce la pieza de acoplamiento en el cable y después se introduce su extremo en el cuerpo del conector, dándole un movimiento de rotación, hasta que haga tope sobre el fondo del conector. Ya solo queda soldar el conductor central y la malla a través de los agujeros laterales. Esta operación es preciso hacerla lo más rápidamente posible para evitar que se derrita el aislante. De ahí la necesidad de utilizar un soldador de bastante potencia.

Cortaremos el sobrante del conductor central y con una lima fina eliminaremos el sobrante de estaño que haya podido quedar en el "pin" central o en los orificios laterales. Si es necesario, limpiaremos con alcohol de quemar los restos de resina, sobre todo del conductor central, para un buen contacto.

Algunos colegas sacan por los orificios laterales la malla retorcida y la sueldan sobre el cuerpo del conector. En otras

ocasiones vuelven la malla sobre la funda de plástico y ésta queda aprisionada al roscar el conector, pero sin soldar. Este procedimiento puede ser satisfactorio para una situación provisional, pero no es recomendable ya que la malla puede oxidarse y perder contacto con el cuerpo del conector.

Ondas estacionarias

Mucho se ha escrito sobre las ondas estacionarias en esta y otras publicaciones y no siempre se ha acertado en su exposición. Si un cable coaxial está terminado o conectado a una impedancia igual a su impedancia característica, no se producirá reflexión en el extremo del cable y la distribución de tensión y de corriente será uniforme a lo largo del cable. Si el extremo del cable está abierto o en cortocircuito, se producirá un cien por cien de reflexión en dicho extremo apareciendo sobre el cable ondas estacionarias de amplitud muy grande. Cada media longitud de onda se producirán nodos de tensión y también vientres de tensión que se corresponderán con nodos de corriente.

Si es cable está terminado en una resistencia de valor distinto de la impedancia característica, habrá alguna reflexión, cuyo valor vendrá determinado por la magnitud de la desadaptación de impedancias. Cuando exista reflexión habrá ondas estacionarias (variaciones de tensión y de corriente) a lo largo del cable, si bien el valor de dichas ondas será menor que cuando el extremo del cable se encuentre en circuito abierto o en cortocircuito. Los vientres de tensión y de corriente se producirán en los mismos puntos del cable que cuando el extremo de éste se hallaba en cortocircuito o en circuito abierto, y si el valor de la impedancia terminal se aproxima a la impedancia característica del cable, la corriente y la tensión en éste se harán más uniformes. La relación de ondas estacionarias (ROE) se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$ROE = (V_o - V_r) / (V_o + V_r)$$

V_o es la tensión incidente.

V_r es la tensión reflejada.

Para la medida de ROE utilizamos un reflectómetro. Este instrumento nos da directamente la ROE presente en la línea de alimentación. Cuando más baja sea ésta, mejor adaptada está la antena al coaxial de alimentación. Valores de ROE hasta "2" son aceptables, ya que en esta situación la potencia reflejada es solamente el 11% de la potencia de salida, siendo insignificante la variación de señal en el receptor del correspondiente.

La presencia de ondas estacionarias en una línea indica desadaptación de impedancias, que puede ser debido a dos motivos. En un caso podemos tener una antena resonante a la frecuencia de trabajo, aunque su impedancia no sea la correcta por la situación de la propia antena, distancia al suelo, presencia de objetos próximos, etc. Otra posibilidad es que la antena no sea resonante a la frecuencia de trabajo, con lo que la desadaptación de impedancias y consecuente presencia de ondas estacionarias se une al pobre rendimiento de la antena por no resonar en la frecuencia correcta.

En cualquier caso, es preferible tener la antena resonante a la frecuencia de trabajo, aunque haya estacionarias, siempre que éstas sean moderadas, ya que el rendimiento de la antena será mayor. Para reducir las estacionarias no debemos acortar las líneas de transmisión, ya que con este procedimiento lo único que conseguimos es "disminuirlas", nunca reducirlas.

Resumen

En las anteriores líneas se ha intentado resumir las características y usos más importantes de los cables coaxiales, atendiendo sobre todo a los aspectos prácticos que puedan interesar al radioaficionado. Mediante la tabla de características que se acompaña se puede elegir el cable más adecuado para una utilización determinada.

Autor: Luis Sanches Perez (EA4NH)
Fuente: revista URE - marzo 2000