

# Comunicación por rebote lunar

Gerardo Miramontes de León, Ernesto García Domínguez, Claudia Sifuentes Gallardo

## *Moon bounce communications*

Recibido: abril 12, 2008

Aceptado: abril 27, 2008

Palabras clave: Rebote lunar; comunicación EME; radio aficionados

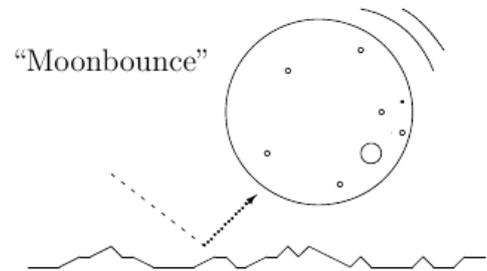
### **Abstract:**

*We describe a form of communication in which the lunar surface is used as a means of electromagnetic wave reflector. This mode of communication is known in the Hams community as moonbounce communications, or EME also, for its acronym in English (earth-moon-earth). Although it seems relatively simple, there are some very interesting details that should be considered if you want to have a successful experience. The aim of this paper is to show some design parameters from the point of view of wave propagation, not including the calculation and orientation of the antenna to the moon, which is another very interesting issue.*

**Keywords:** Moon bounce; EME communications; amateur radio

**R**EBOTE lunar es una forma muy interesante de radio comunicación. En la comunidad de radioaficionados es mejor conocido como EME (Earth-Moon-Earth) o tierra-luna-tierra, lo cual se lee como eco-mike-eco. Actualmente, gracias a los avances en la electrónica de radiofrecuencia (RF) se ha despertado el interés por experimentar con este tipo de comunicación. Sin embargo, aunque es importante tener una gran dosis de ánimo y de watts en el transmisor, es conveniente tener, además, algunas nociones de qué factores intervienen en un enlace EME como para asegurarse un cierto grado de éxito.

En una comunicación EME, se envía una señal de radio hacia la luna y ésta actúa como reflector, regresando la señal a la tierra. El concepto es simple pero tiene un primer grado



*Figura 1. Rebote lunar en cometas.*

de dificultad si consideramos la larga trayectoria que debe seguir la señal, primero para llegar a la luna y después para regresar a la tierra.

La primera demostración de un enlace EME se hizo en 1950 por la fuerza armada de los Estados Unidos empleando 400 MW de potencia radiada efectiva. El primer contacto entre radioaficionados ocurrió en 1953 entre las estaciones W4AO y W3GKP. Las condiciones en ese entonces eran más difíciles que las actuales para transmisiones en las bandas VHF y UHF, ya que se tenía una restricción en la potencia máxima que se podía emplear. Con el límite de 1500 W y la disponibilidad de dispositivos semiconductores de bajo ruido se ha aumentado la posibilidad de éxito con estaciones relativamente modestas.

Cabe esperar que el tipo de comunicación no corresponda a “fonía” sino a otros modos como RTTY, CW (telegrafía) y otros, modos digitales. Esto se debe a que las señales que se tienen que trabajar serán muy pequeñas, casi inmersas en ruido.

Para su recepción se emplean programas de cómputo capaces de detectar y decodificar estas señales que de otro modo sería muy difícil, a menos que se trate de un radioaficionado muy experimentado y con un excelente oído.

Se pueden realizar básicamente dos tipos de experimentos, en uno de ellos participa una sola estación enviando y recibiendo ella misma la señal que envió; a esto se le llama ECO (lunar). Un segundo experimento es el establecimiento de un contacto con otra estación, a esto se le llama QSO.

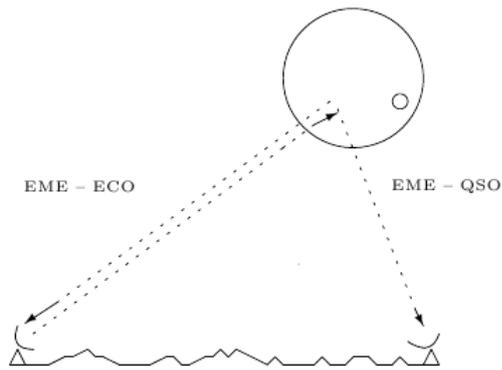


Figura 2. Enlace por EME y por eco lunar.

## ¿Qué se requiere para intentar un comunicado EME?

Para asegurar un cierto grado de éxito, o al menos aumentar las probabilidades de éste, se deben cubrir los siguientes requisitos de operación:

- Una potencia de salida tan cercana como sea posible a la potencia máxima permitida legalmente.
- Un arreglo de antenas suficientemente grande en comparación con las antenas empleadas para satélites OSCAR.
- Una posición exacta del azimuth y elevación.
- Una línea de transmisión (cableado) con pérdida mínima.
- Un sistema con muy bajo factor de ruido, colocando el preamplificador preferentemente en el arreglo de antenas.

Como se dijo antes son muchos los factores que afectan la comunicación EME. Para comenzar, se debe elegir la frecuencia de trabajo. Como se sabe la pérdida de la señal por la distancia es diferente a diferentes frecuencias, siendo mayor entre más alta es la frecuencia. Esto no representa una regla de diseño, es decir, no necesariamente es mejor trabajar a bajas frecuencias. Por ejemplo, trabajar EME en la banda de 6 metros (50 MHz) exige antenas de tamaño considerable, entre otros muchos requerimientos.

En este artículo se harán algunos cálculos aproximados de los requerimientos mínimos que se deben tener en la

estación para poder realizar un contacto por EME, para 144 MHz.

Cabe aclarar que los cálculos que se hacen son muy optimistas, lo que resulta contrario a los cálculos que serían recomendables ya que siempre se debe aplicar el peor de los casos. Sin embargo, por simplicidad se prefiere hacerlo así para mostrar que se requiere de un esfuerzo y cuidado especial en el diseño de la estación. Recientemente se han anunciado comunicados por EME con potencias muy bajas, del orden de unos cuantos cientos de watts en la banda de 2 metros (144 MHz).

## Pérdida en el espacio libre

La pérdida en el espacio libre, o pérdida básica de transmisión (PBT) es la relación entre la potencia recibida a la potencia transmitida, bajo condiciones isotrópicas y está dada por

$$PBT = \frac{P_r}{P_t} = \frac{4\pi D^2}{\lambda^2} \quad (1)$$

donde

$P_r$  es la potencia recibida.

$P_t$  es la potencia transmitida.

$D$  es la distancia entre el transmisor y el receptor.

$\lambda = C/f$ , donde  $C$  es la velocidad de la luz ( $3 \times 10^8$  m/s) y  $f$  es la frecuencia de la señal.

Por condiciones isotrópicas se entiende que en el enlace no se toman en cuenta las pérdidas por el medio y las pérdidas por error de polarización, y que las ganancias de las antenas, tanto de la antena de transmisión como la de recepción son unitarias.

La distancia de la tierra a la luna es de 353 mil Km (perigeo) a 410 mil Km (apo-geo) aproximadamente. Como la señal de radio debe cubrir la distancia en dos sentidos, ida y regreso, la distancia total en el enlace será el doble. La pérdida total de la señal por recorrer esta distancia a una frecuencia de 145 MHz, empleando la (1) es de 200 dB aproximadamente. Esta pérdida supone condiciones ideales, así que un número más práctico es aquel que incluye las pérdidas de absorción por el medio.

El manual de la ARRL [1] se indica que a 144 MHz la pérdida básica de transmisión para EME es de 251.5 dB a 253.5 dB, lo cual representa una atenuación considerable.

## Requerimientos en la antena y el amplificador

La pérdida causada por la trayectoria de la señal exige que se tenga una gran potencia de transmisión, un receptor de bajo ruido, y un arreglo de antenas con un alto desempeño. Un parámetro muy importante en el diseño de la estación es la temperatura de ruido de la antena y del amplificador.

Recuérdese que cuando se trata de recibir una señal muy débil, ésta puede ser fácilmente ocultada por el ruido causado por el mismo sistema receptor (antena + amplificador). Se recomienda que el arreglo de antenas tenga una ganancia de al menos 20 dBi. Con esa ganancia deberá tenerse capacidad de escuchar su propio eco. En la banda de 144 MHz es común usar un arreglo de antenas Yagi con 12, 16 o más elementos para conseguir esa ganancia.

El amplificador también es una fuente importante de ruido. Quizá el lector recuerde aquellos amplificadores de bajo ruido (LNA) que fueron muy empleados durante la década de los años 1980 para comunicaciones por satélites geoestacionarios. Las especificaciones del amplificador incluía su ganancia, de alrededor de 50 dB, y su temperatura de ruido desde 75 K hasta 120 K (grados Kelvin). El LNA que se muestra en la fotografía muestra en la su placa de datos una ganancia típica de 48 dB y ruido de 75 K. Sin estos amplificadores la recepción era prácticamente imposible.



Figura 3. Amplificador de bajo ruido.

Cuando se tienen todos los componentes del sistema, la contribución de ruido se mide por el factor de ruido (noise figure) y generalmente se expresa en dB. El factor de ruido (FR) es la razón de la relación señal a ruido a la entrada del sistema  $(S/N)_i$  y la relación señal a ruido a la salida  $(S/N)_o$  [2], es decir

$$FR = \frac{(S/N)_i}{(S/N)_o} \quad (2)$$

donde  $(S/N)$  es la relación entre la potencia de la señal a la potencia de ruido. Como puede verse de la (2), si el sistema no contribuye con ruido, que sería el caso ideal, la el  $FR$  sería igual a 1, (0 dB). Se espera que la  $(S/N)_o$  siempre sea menor a la  $(S/N)_i$  ya que el sistema siempre introduce ruido.

La relación entre el  $FR$  y la temperatura de ruido está dada por

$$FR = 1 + \frac{T_s}{T_o}, \quad (3)$$

donde  $T_s$  es la temperatura de ruido del sistema y  $T_o = 290K$ . Para el caso EME es igualmente importante que haya una muy baja contribución de ruido en el sistema receptor. Se pueden tener arreglos de antenas de alto desempeño con temperaturas de ruido cercanas a los 30 K. Por su parte el amplificador también debe ser de bajo ruido. Por ejemplo, con el transistor 2SC2498 que se especifica como un transistor bipolar de bajo ruido para VHF/UHF se puede construir un preamplificador con un factor de ruido de 1 dB [3]. Es común encontrar preamplificadores para VHF/UHF con factores de ruido entre los 2 y 3 dB.

Actualmente se pueden encontrar transistores FET a base de GaAs (Arseniuro de Galio), conocidos como GaAsFET (del tipo que se emplean en los LNAs) con baja temperatura de ruido, así que estos transistores se deben manejar con mucha precaución ya que son muy sensibles a las descargas electrostáticas.

## Cálculos del sistema

Para tener una recepción aceptable, para BLU (SSB), se debe alcanzar una  $S/N$  final de unos 3 dB, por lo menos. La ARRL indica que para contactos en CW de baja velocidad se pueden hacer hasta con 0 dB. En realidad, es deseable tener una  $S/N$  de al menos 5 dB, si se espera leer el código CW a “oído,” o con los programas de cómputo corrientes para decodificarlo, como el UA9OSV CwGet, entre otros, que seguramente requieren de una  $S/N$  por arriba de 0 dB. Sólo por recordar, en el caso de transmisiones con modulación de frecuencia (FM), en teoría la mínima  $S/N$  aceptable es de 8 dB, y en la práctica se busca que alcance los 10 dB.

Si se conocen los parámetros de la estación, entonces se puede calcular la capacidad para alcanzar esta S/N como sigue. La S/N en dB es simplemente la suma de ganancias y pérdidas en toda la cadena de los elementos que componen al sistema. La fórmula para su cálculo, que se estudia en los cursos básicos de comunicaciones, es

$$S/N = P_t - P_{L_t} + G_t - PBT_{dB} + G_r - P_n \quad (4)$$

donde

$P_t$  es la potencia de transmisión.

$P_{L_t}$  son las pérdidas en los cables del transmisor (feed-line loss).

$G_t$  es la ganancia de la antena de transmisión.

PBTdB es la pérdida por trayectoria.

$G_r$  es la ganancia de la antena de recepción.  $P_n$  es la potencia de ruido del sistema receptor, y todos los términos están en dB.

Este último término se calcula por

$$P_n = 10 \log(K T_s B), \quad (5)$$

donde

$K$  es la constante de Boltzman =  $3.8 \times 10^{-23}$  (J/K).  $B$  es el ancho de banda (Hz), y  $T_s$  es la temperatura de ruido del sistema (K).

Por su parte la  $T_s$  está dada por

$$T_s = T_a + (P_{L_r} - 1)T_0 + P_{L_r}T_r, \quad (6)$$

donde

$T_a$  es la temperatura de ruido de la antena.

$P_{L_r}$  es la pérdida en los cables del receptor.  $T_r$  es la temperatura de ruido del receptor.

Suponiendo un enlace en la banda de 144 MHz, con una potencia de 500 W, ganancias de antenas de 20 dBi, una PBT de 252 dB de acuerdo al manual de la ARRL, y valores conservadores de pérdidas por cableado de 1.05 dB, una  $T_r$  de 35K con una  $T_a$  de 60 K, y un ancho de banda de 100 Hz (para CW) se obtienen los siguientes valores:

Temperatura de ruido del sistema  $T_s = 111.25$  K, potencia de ruido del receptor  $P_n = -188.1382$  dB, y una S/N = 2.0779 dB. Es decir, se alcanza una S/N que para propósitos prácticos es muy baja, pero que seguramente con programas de cómputo especializados, como el WSJT, se podrá decodificar algún mensaje. Si suponemos una potencia de 1000 W, se logra una S/N de 5.08 dB. Sólo por completar

los cálculos con una potencia de transmisión de 200 W se obtiene una S/N de -1.901 dB, mientras que con 300 W se obtiene una S/N de -0.14 dB.

Si se deseara trabajar en fonía el ancho de banda necesario es de 2.3 kHz, y entonces, como aumenta la potencia de ruido, aún con 1000 W, la S/N es de -8.52 dB. Note que es negativa. Hay que recordar que en este cálculo no se han incluido otros factores que pueden afectar el enlace, pero que son muy importantes ya que pueden producir aún más pérdidas. Esos factores incluyen una incorrecta localización de la luna (errores en el azimuth y elevación) y pérdidas por polarización. Estos dos últimos factores requieren programas de cómputo e implementos especiales para ajustar la posición de las antenas con mucha precisión, además de la complejidad del seguimiento que hay que hacer al movimiento de la luna. ´

## Conclusiones

Como se ha mostrado con los cálculos, los requerimientos de una estación para establecer un enlace EME son severos. Si se desea intentar con una potencia menor a 500 W será estrictamente necesario aumentar el desempeño de la estación en otros elementos, es decir, disminuir la temperatura de ruido del sistema y aumentar en la medida de lo posible las ganancias de antenas y del preamplificador en un número significativo de dBs.

Por otra parte, si se intenta un enlace entre dos estaciones, se puede tener un esfuerzo compartido, es decir, las deficiencias de una estación deberán estar compensadas de alguna forma por la otra, por ejemplo, si una estación transmite con baja potencia, la otra deberá tener un sistema de recepción con alta ganancia y muy bajo factor de ruido, al mismo tiempo si una estación tiene un sistema de recepción con un factor de ruido grande la otra estación deberá tener una alta potencia de transmisión.

Como último comentario, hay que señalar que actualmente hay disponibles varios programas de cómputo que permiten la recepción de señales inmersas en ruido. Estos programas hacen uso de técnicas de procesamiento digital de señales, algunos de ellos muy sofisticados, y pueden trabajar con relaciones S/N muy severas, dando la oportunidad de tener una experiencia muy interesante.

## Bibliografía

- [1] The ARRL Handbook for Radio Amateurs 2000, ARRL - the national association for Amateur Radio, Newington, CT 06111, USA, (2000).
- [2] Ferrel G. Stremler, Introduction to Communication Systems, Second Edition. Addison Wesley Publishing Company, (1982).
- [3] 440 Mhz Low Noise Preamp Kit, Kit No. PR40, Ramsey electronics, Inc. 793 Canning Parkway, Victor NY 14564.

### Acerca del autor o autores

Profesores-investigadores de la Fac. de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de Zacatecas, y miembros del Cuerpo Académico de Procesamiento digital de señales.