

# Enlaces extraterrestres

traducción Gerardo Miramontes de León

## *Extra-terrestrial Relays Can Rocket Stations Give World-wide Radio Coverage?: Arthur C. Clarke*

Recibido: abril 1, 2008

Aceptado: julio 17, 2008

Palabras clave: administración; producto; DSPs

### **Abstract:**

*This article continues with a tribute to Sir. Arthur C. Clarke. It includes the translation of an article published in 1945, "Extraterrestrial Relays". This is a historical document because it represents a prediction of what would come after 20 years, ie, satellite communications, in a very close way to the present. The translation is taken from the publication of the original document.*

**Keywords:** project; design; DSPs



UNQUE es posible, por medio de una adecuada selección de frecuencias y trayectorias, proveer de enlaces de telefónicos entre dos puntos o regiones cualesquiera de la tierra por una gran parte de tiempo, las comunicaciones a gran distancia están impedidas por las peculiaridades de la ionósfera, y más aun hay ocasiones en que pueden ser imposibles. Un verdadero servicio de radiodifusión, ofreciendo un campo con intensidad constante todo el tiempo sobre todo el globo sería invaluable, por no decir indispensable, en una sociedad mundial.

Si bien no satisfactoria, la posición de la telefonía y la telegrafía, la de la televisión es mucho peor, ya que la transmisión ionosférica no puede para nada ser empleada. El área de servicio de una estación de televisión, aun en un lugar muy bueno, es de alrededor de unas cien millas a la redonda. Para cubrir un pequeño país como la Gran Bretaña se requeriría una red de transmisores, conectados por cable coaxial, guía de onda o enlaces VHF.

Un estudio teórico reciente[1] ha mostrado que tal sistema requeriría repetidores a intervalos de cincuenta millas o menos. Un sistema de esta clase proveería cobertura de televisión, a un costo muy considerable, sobre el pequeño país por completo.

Quedaría fuera de consideración proveer de tal servicio a todo un gran continente, y sólo los principales centros de población podrían ser incluidos en la red.

Este problema es igualmente serio cuando se intenta dar servicio de enlace de televisión en diferentes partes del globo. Una cadena de enlaces de varios miles de millas de longitud costaría millones, y los servicios trans-oceánicos serían imposibles. Se aplican consideraciones similares a las facilidades de modulación de banda ancha y otros servicios, tales como facsimile de alta velocidad los cuales están por su naturaleza restringidos a las frecuencias-ultra- altas.

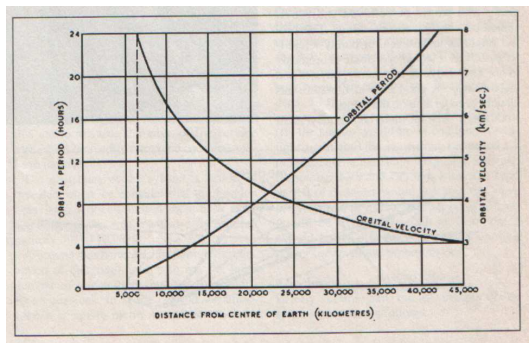
Muchos pueden considerar la solución propuesta en esta discusión demasiado fuera de alcance para ser tomada seriamente. Tal actitud no es racional, ya que todo lo que aquí se vislumbra es una extensión lógica de los desarrollos en los últimos diez años en particular la perfección de los cohetes de largo alcance de los cuales el V2 es el prototipo. Mientras este artículo estaba siendo escrito, fue anunciado que los Alemanes estaban considerando un proyecto similar, el cual creían posible dentro de cincuenta a cien años.

Antes de continuar, es necesario discutir brevemente ciertas leyes fundamentales de la propulsión de cohetes y "astronáutica". Un cohete el cual haya alcanzado suficientemente gran velocidad en vuelo fuera de la atmósfera terrestre nunca regresaría. Esta velocidad "orbital" es 8 km/s (5 millas/s), y un cohete que la haya alcanzado se convertiría en un satélite artificial circulando el mundo por siempre sin gasto de potencia – una segunda luna, de hecho. El cohete transatlántico Alemán A10 habría alcanzado más de la mitad de esta velocidad.

En unos pocos años más será posible construir cohetes radio controlados los cuales puedan ser dirigidos en tales órbitas más allá de los límites de la atmósfera y dejar difundir información científica de regreso a la tierra. Un poco más tarde, cohetes tripulados serán capaces de hacer vuelos similares

con suficiente potencia excedente para romper la órbita y regresar a tierra.

Hay un número infinito de órbitas estables posibles, circular y elíptica, en la cual un cohete permanecería si las condiciones iniciales fueran correctas. La velocidad de 8 km/s se aplica sólo a la órbita más cercana posible, una justo afuera de la atmósfera, y el periodo de revolución sería de alrededor de 90 min. En tanto se incrementa el radio de la órbita la velocidad decrece, ya que disminuye la gravedad y se necesita menos fuerza centrífuga para balancearlo. La Fig. 1 muestra esto gráficamente. La luna, por supuesto, es un caso particular y estaría sobre las curvas de la Fig 1 si fueran producidas. Las estaciones-espaciales Alemanas propuestas tendrían un periodo de cerca de cuatro horas y media.



*Figura 1. Variación del periodo orbital y velocidad con la distancia desde el centro de la tierra.*

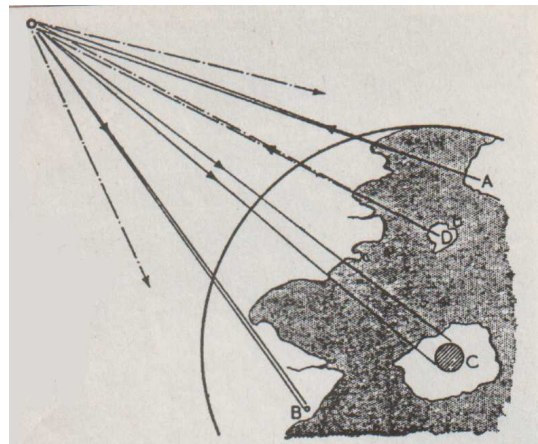
Sería observado que una órbita, con un radio de 42,000 km, tiene un periodo de exactamente 24 horas. Un cuerpo en dicha órbita, si su plano coincide con el del ecuador de la tierra, giraría con la tierra y así estaría estacionario arriba del mismo lugar sobre el planeta. El cuerpo permanecería fijo en el cielo de todo un hemisferio y a diferencia de todos los otros cuerpos pesados nunca se levantarían o pondrían. Un cuerpo en una órbita más pequeña giraría más rápidamente que la tierra y así se levantarían en el oeste, como de hecho sucede con las lunas interiores de Marte.

Usando el material transportado por cohetes, sería posible construir una "estación espacial" en tal órbita. La estación estaría provista de viviendas, laboratorios y todo lo necesario para el comfort del equipo de trabajo, el cual sería relevado y aprovisionado por un servicio regular de cohete. Este proyecto podría tomarse puramente por razones científicas ya que contribuiría enormemente a nuestro conocimiento de astronomía, física y meteorología. Se ha

escrito bastante literatura al respecto [2]. Aunque esto pueda parecer fantástico, requiere para su realización cohetes tan sólo el doble de rápidos como aquellos que ya están en etapa de diseño. Como las fuerzas gravitacionales involucradas en la estructura son despreciables, sólo serán necesarios materiales muy ligeros y la estación podría ser tan grande como se requiera.

Supongamos ahora que tal estación fuera construida en esta órbita. Ésta estaría provista con equipo de recepción y de transmisión (el problema de la fuente de alimentación será discutido después) y podría actuar como un repetidor para enlazar transmisiones entre dos puntos cualesquiera sobre el hemisferio de que se trate, usando cualquier frecuencia la cual penetrará la ionósfera. Si fueran usados arreglos directivos, los requerimientos de potencia serían muy pequeños, ya que se usaría transmisión de línea directa. Existe un punto importante adicional de que los arreglos en la tierra, una vez instalados podrían permanecer fijos indefinidamente.

Más aún, una transmisión recibida desde cualquier punto sobre el hemisferio podría difundirse toda la cara visible del globo, y así se cumplirían los requerimientos de todos los servicios posibles (Fig. 2).



*Figura 2. Servicios de enlace extraterrestres típicos.*

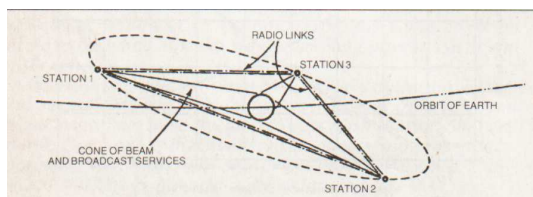
Puede argumentarse que todavía no tenemos evidencia de que las ondas de radio traspasen entre la superficie de la tierra y el espacio exterior; todo lo que podemos decir con certeza es que las longitudes de onda más cortas no son reflejadas hacia la tierra. Podría obtenerse evidencia directa de la intensidad de campo arriba de la atmósfera de la tierra por la técnica del cohete V2, y se espera que alguien haga algo al respecto pronto ya que debe haber valores de sobra en alguna parte!

Alternativamente, dada una potencia de transmisión suficiente, podríamos obtener la evidencia necesaria explorando los ecos desde la luna. Mientras tanto tenemos evidencia visual de que las frecuencias en el extremo óptico del espectro pasan con poca absorción excepto a ciertas frecuencias a las cuales ocurren efectos de resonancia. Las frecuencias medias altas van a través de la capa E a ser reflejadas desde la capa F dos veces y se han recibido ecos de meteoros dentro y sobre la capa F.

Parece casi cierto que las frecuencias, digamos, de los 50 Mc7s a los 100,000 Mc7s podrían usarse sin absorción en la atmósfera o en la ionósfera.

Una sola estación podría solamente cubrir la mitad del globo, y para un servicio mundial se requerirían tres, aunque fácilmente podrían usarse más. La Fig.3 muestra el arreglo más simple. Las estaciones estarían ubicadas aproximadamente equidistantes alrededor de la tierra, y parecen útiles las siguientes longitudes:

30E - Africa y Europa  
150E - China y Ocean  
90W - Las Americas



*Figura 3. Tres estaciones de satélites asegurarían una completa cobertura del globo.*

Las estaciones en la cadena podrían estar enlazadas por haces de ópticos o de radio, y entonces cualquier haz concebible o servicio de difusión sería suministrado.

Los problemas técnicos involucrados en el diseño de tales estaciones son extremadamente interesantes[3], pero sólo unos pocos pueden incluirse aquí. Serían suministradas baterías de reflectores parabólicos, de aperturas dependiendo de las frecuencias empleadas. Suponiendo el uso de 3000 Mc/s, espejos con un metro de sección transversal dirigirían casi toda la potencia sobre la tierra. Podrían usarse reflectores más grandes para iluminar un solo país o regiones para los servicios más restringidos, con el consecuente ahorro de potencia. En las frecuencias más altas no

es difícil producir haces con menos de un grado de anchura, y, como se mencionó antes, no habría ninguna limitación física en el tamaño de los espejos. (Desde la estación espacial, el disco de la tierra sería un poco más de 17 grados de sección transversal.) Podrían usarse los mismos espejos para muchas transmisiones diferentes si se tomaran precauciones para evitar la modulación cruzada.

Es claro de la naturaleza del sistema que la potencia necesaria sería mucho menor que aquella requerida por cualquier otro arreglo ya que toda la energía radiada puede ser uniformemente distribuida sobre el área de servicio, y ninguna es desperdiciada. Una estimación aproximada de la potencia requerida para el servicio de difusión desde una sola estación se puede hacer como sigue:

La intensidad de campo en el plano ecuatorial de un dipolo  $\lambda/2$  en el espacio libre a una distancia de  $d$  metros es[4]

$$e = 6.85 \frac{\sqrt{P}}{d} \text{ volts/m} \quad (1)$$

donde  $P$  es la potencia radiada en watts.

Tomando  $d$  como 42,000 km (efectivamente serían menos) tenemos

$$P = 37.6 e^2 \text{ watts} \quad (2)$$

( $e$  ahora en  $\mu\text{V/m}$ ).

Si suponemos  $e$  como 50 mV/m, lo cual es el estándar de la FCC para frecuencia modulada,  $P$  sería de 94 kW. Esta es la potencia requerida para un solo dipolo, y no un arreglo el cual concentraría toda la potencia sobre la tierra. Tal arreglo tendría una ganancia sobre un dipolo simple de alrededor de 80. La potencia requerida para el servicio de difusión sería entonces de alrededor de 1.2 kW.

Ridículamente pequeña aun es, este número es probablemente demasiado generoso. Serían usadas pequeñas parábolas de cerca de un pie de diámetro para recibir en la tierra y daría una muy buena relación señal a ruido. Habría muy poca interferencia, en parte debido a la frecuencia usada, y en parte debido a que los espejos estarían apuntando hacia el cielo el cual no contiene otra fuente de señal. Una intensidad de campo de 10 mV/m sería bien amplia y esta requeriría una salida del transmisor de solo 50 W.

Cuando se recuerda que estos números relacionan el servicio de difusión, la eficiencia del sistema será realizada.

Los haces de transmisión punto a punto pueden necesitar potencias de sólo 10 W o algo así. Estos números por supuesto, necesitarían corrección por absorción ionosférica o troposférica, pero eso sería muy pequeña para la mayor

parte de la banda. La ligera caída en la intensidad de campo debida a estas causas hacia la orilla del área de servicio podría corregirse fácilmente por un radiador no uniforme.

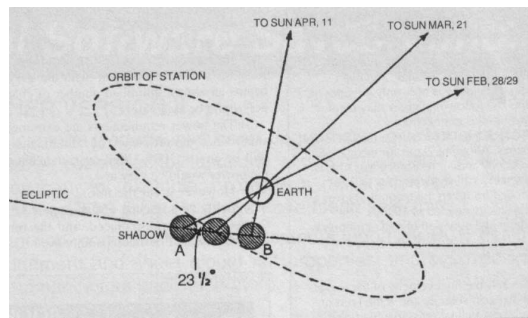
La eficiencia del sistema es sorprendentemente revelada cuando consideramos que el servicio de Televisión de Londres requiere cerca de 3 kW de potencia promedio para una área menor a cincuenta millas de radio [5].

Un segundo problema fundamental es la provisión de energía eléctrica para alimentar el gran número de transmisores requeridos para los diferentes servicios. En el espacio más allá de la atmósfera, un metro cuadrado normal a la radiación solar intercepta 1.35 kW de energía [6]. Las máquinas solares han sido previstas para uso terrestre y son una proposición económica en países tropicales. Ellas emplean espejos para concentrar la luz solar sobre un boiler de una máquina de vapor a baja presión. Aunque este arreglo no es muy eficiente podría hacerse mucho más en el espacio donde los componentes de operación están en un vacío, la radiación es intensa y continua, y el ciclo de bajas temperaturas no estaría lejos del cero absoluto. Desarrollos termoeléctricos y fotoeléctricos pueden hacer posible la utilización de la energía solar directamente.

Aunque no hay límite al tamaño de los espejos eso podría ser construido, uno de cincuenta metros de radio interceptaría arriba de 10,000 W y al menos un cuarto de esta energía estaría disponible para su uso.

La estación estaría en continua exposición solar excepto por algunas semanas cerca de los equinoccios, cuando entraría en la sombra de la tierra por unos pocos minutos cada día. La Fig. 4 muestra ese estado de cosas durante un periodo de eclipse.

Para ese cálculo es legítimo considerar a la tierra como fija y el sol moviéndose alrededor de ella. La estación rozaría la sombra de la tierra en A, el último día de febrero. Cada día, en tanto hiciera su revolución diurna, cortaría más profundamente en la sombra, alcanzando su periodo de eclipse máximo el 21 de marzo. En ese día habría oscuridad por una hora noventa minutos. De ahí en adelante el periodo del eclipse se acortaría, y después del 11 de abril (B) la estación estaría en exposición solar continua nuevamente hasta que la misma cosa suceda seis meses después en el equinoccio de otoño, entre el 12 de septiembre y el 14 de octubre. El periodo total de oscuridad sería de alrededor de dos días al año, y como el periodo más largo del eclipse sería poco menos de una hora no habría dificultad en almacenar suficiente potencia para un servicio ininterrumpido.



*Figura 4. La radiación solar sería cortada por un corto periodo cada día en los equinoccios.*

## Conclusión

Resumiendo brevemente las ventajas de la estación espacial son las siguientes:

1. Es la única forma en la cual se puede alcanzar una verdadera cobertura global para todos los tipos de servicios posibles.
2. Permite el uso sin restricción de una banda de al menos de 10,000 Mc/s de ancho, y con el uso de haces sería posible un casi ilimitado número de canales.
3. Los requerimientos de potencia son extremadamente pequeños ya que la eficiencia de “iluminación” sería casi 100%. Más aún, el costo de la potencia sería muy bajo.
4. A pesar del gran gasto inicial, sería sólo una fracción de eso requerido para las cadenas reemplazadas en el mundo, y los costos de operación serían incomparablemente menores.

## Bibliografía

- [1] *Radio Relay Systems*, CW Hansell, Proc. IRE, Vol. 33, March, 1945.
- [2] *Rockets* Willy Levy (Viking Press NY) .
- [3] *Das Problem der Befahrung des Weltrams*, Hermann Noordung.
- [4] *Frequency Modulation* A. Hund (McGraw-Hill)
- [5] “London Television Service”, MacNamara and Birken-saw, JIEE, Dec. 1938.

[6] *The Sun*, GC Abbot (Appleton-Century Co).

[7] *Journal of British Interplanetary Society*, Jan., 1939.

#### Diseño de cohetes

El desarrollo de cohetes suficientemente potentes para alcanzar la velocidad “orbital” y aun la velocidad de “escape” es ahora sólo cosa de años. Los siguientes números pueden ser de interés en este aspecto.

El cohete tiene que adquirir una velocidad final de 8 km/s. Dejando 2 km/s correcciones gravitacionales y pérdida por resistencia del aire (esto es legítimo ya que todos los cohetes espaciales serán lanzados desde tierra muy alta) dando una velocidad total necesaria de 10 km/s. La ecuación fundamental del movimiento del cohete es

$$V = v \log_e R, \quad (3)$$

donde  $V$  es la velocidad final del cohete,  $v$  es la velocidad de escape y  $R$  la razón de masa inicial a final (carga útil más estructura). Hasta ahora  $v$  ha sido de cerca de 2–2.5 km/s para cohetes de combustible líquido, pero los nuevos diseños y combustibles permitirán números considerablemente altos. (El combustible Oxy-hidrógeno tiene una velocidad de escape teórica de 5.2 km/s y se conocen combinaciones más poderosas). Si suponemos  $v$  de 3.3 km/s,  $R$  será de 20 a 1. Sin embargo debido a su aceleración finita, el cohete pierde velocidad como resultado de retardación gravitacional. Si su aceleración (supuesta constante) es  $\alpha$  m<sup>2</sup>/s, entonces la razón necesaria  $R_g$  se incrementa a

$$R_g = R \frac{\alpha + g}{\alpha}. \quad (4)$$

Para un cohete controlado automáticamente,  $\alpha$  sería de cerca de  $5g$ , y así la  $R$  necesaria sería 37 a 1. Tales razones no pueden ser realizadas con un solo cohete pero se pueden alcanzar por “cohetes-a-pasos” [2], mientras que se pueden alcanzar razones mucho más altas (hasta de 1000 a 1) por el principio de construcción “celular” [3].

#### Epílogo- Energía atómica

El advenimiento de la energía atómica ha acercado los viajes espaciales a medio siglo. Parece poco probable que tendremos que esperar tanto como veinte años antes de que los cohetes con energía atómica sean desarrollados, y tales cohetes podrían alcanzar aún los planetas más remotos con una razón combustible masa fantásticamente pequeña – sólo un poco por ciento. Las ecuaciones desarrolladas en el

apéndice son aún válidas, pero  $v$  será incrementada por un factor de cerca de mil.

En vista de estos hechos, parece poco útil gastar mucho esfuerzo en la construcción de cadenas de enlace de grandes distancias. Aun las estaciones locales que pronto estarán en construcción pueden tener una vida útil de sólo 20–30 años.