

El reciente resurgimiento de proyectos de comunicaciones ópticas no guiadas verá su culminación a finales de 2009 cuando la NASA demuestre la primera comunicación mediante frecuencias ópticas en espacio profundo. Este enlace, que supondrá una importante mejora frente a los actuales sistemas de microondas, se establecerá entre el satélite MTO que orbitará Marte y una estación en la superficie terrestre.

## PROYECTO MLCB: LAS COMUNICACIONES ÓPTICAS LLEGAN AL ESPACIO

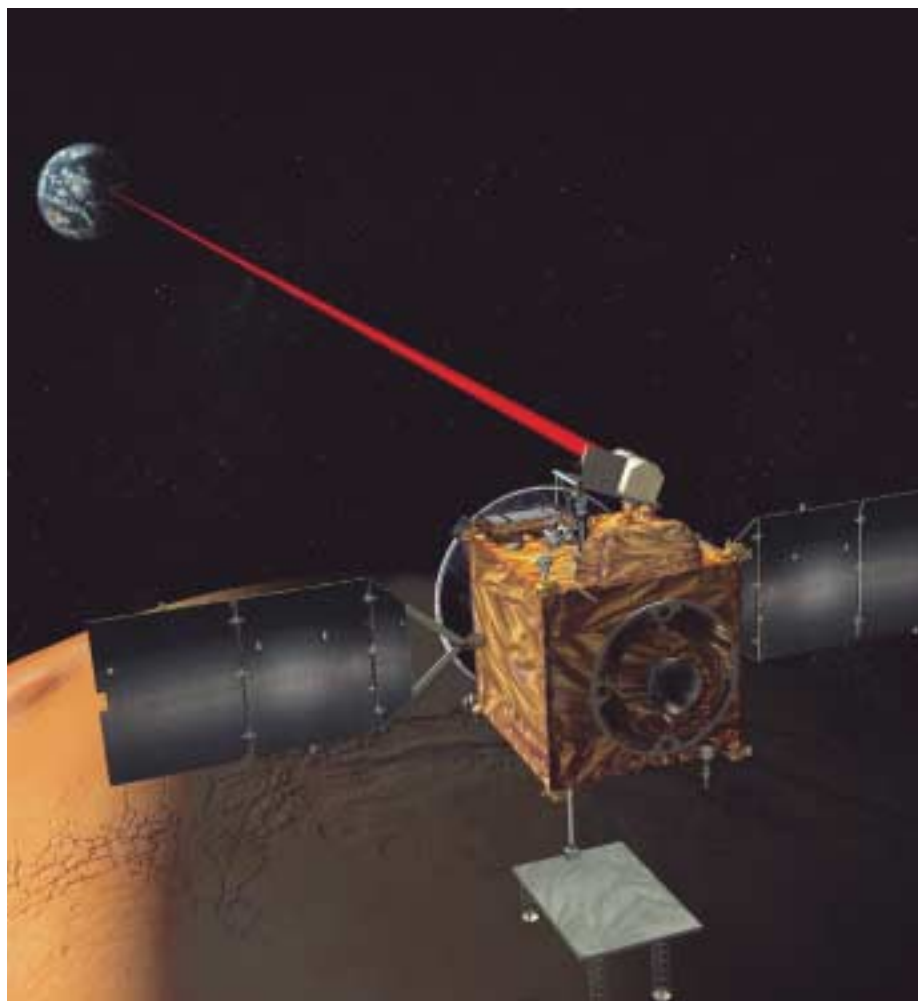
Alberto Carrasco Casado. *Ingeniero Técnico de Telecomunicación*  
alberto@coitt.es

El enorme desarrollo que han conocido las comunicaciones por fibra óptica en los últimos años ha traído consigo grandes mejoras en los distintos elementos que componen estos enlaces. En especial el avance en la calidad y estabilidad de las fuentes láser ha propiciado el resurgimiento de numerosos proyectos de investigación sobre comunicaciones ópticas no guiadas.

De estos proyectos, quizá el más conocido sea el Silex de la agencia espacial europea (ESA) en el que por primera vez se han utilizado frecuencias ópticas para comunicar satélites entre sí, alcanzando regímenes binarios de hasta 50 Mbits/s.

Hasta ahora las comunicaciones por satélite se han venido basando en la tecnología de microondas. Esta solución, que resulta satisfactoria para satélites en órbita terrestre, se ve cada vez más limitada a medida que el terminal remoto se aleja de la Tierra, con lo que a las distancias involucradas en las misiones en espacio profundo, la capacidad de estos enlaces se ve afectada de forma crítica.

Actualmente el máximo régimen binario alcanzable por el satélite más moderno que orbita Marte (el Mars Express





de la ESA) es de unos 300 kbits/s (y esto cuando la distancia entre Marte y la Tierra es la mínima, en cualquier otro caso este valor es menor), lo que ni siquiera llega a las velocidades más reducidas de las conexiones ADSL actuales.

El proyecto MLCD (Mars Laser Communications Demonstration) de la NASA pretende demostrar a finales de 2009 el que será el primer enlace de comunicaciones ópticas en espacio profundo. El satélite MTO (Mars Telecommunications Orbiter) orbitará Marte comunicándose con la Tierra a una velocidad mínima de 1 Mbit/s incluso cuando la distancia Marte-Tierra sea máxima.

## ¿POR QUÉ USAR FRECUENCIAS ÓPTICAS?

Existen varias razones que hacen preferibles las frecuencias ópticas frente a las tradicionales microondas para ser usadas en las comunicaciones en espacio profundo. Valga destacar que las antenas y los terminales láser son considerablemente más pequeños y ligeros que los de microondas, factor crítico en este tipo de misiones que consigue abaratar en gran medida el presupuesto necesario. Pero la principal ventaja que aportan las frecuencias ópticas en un enlace a tan larga distancia es la menor divergencia del haz emitido por un láser en comparación con las frecuencias de microondas usadas actualmente. La divergencia que sufre el haz es inversamente proporcional a la

frecuencia de la señal, por lo que pasar de varios GHz (actualmente se usa la banda X y Ka) a miles de GHz (el MTO emitirá a 1.064  $\mu\text{m}$  dentro del infrarrojo) supone disminuir la divergencia considerablemente.

La razón última para minimizar la divergencia es hacer los haces lo más estrechos posible con el objetivo de aumentar la relación entre la potencia recibida y la emitida. Relación crítica ésta si se tiene en cuenta que en el espacio la potencia es un bien muy escaso (el terminal láser del MTO emitirá unos 5 W de potencia media). Cuanto menor sea el área sobre la que distribuir la energía emitida, mayor será la densidad de potencia recibida y así se dispondrá de la potencia necesaria para obtener una señal que esté suficientemente por encima del ruido de fondo.

Como ejemplo ilustrativo valga la siguiente comparación: El proyecto MLCD empleará un haz que originará un spot recibido de aproximadamente una décima parte del diámetro de la Tierra. Si se compara con los haces habituales de microondas que, para las mismas condiciones, generarían un spot en la Tierra de 1.000 veces su diámetro, se puede ver claramente la mejora de las frecuencias ópticas frente a las microondas.

Por supuesto, como suele ocurrir, esta ventaja no es gratuita. El precio que hay que pagar por usar haces tan estrechos es la necesidad de disponer de una tecnología de apuntamiento extremadamente precisa. Ésta es una de las razones por las

que se ha tenido que esperar tanto tiempo para llevar a cabo este enlace.

La idea de realizar un enlace de comunicaciones ópticas entre Marte y la Tierra viene de los años 60. El éxito de las misiones Apollo hizo pensar que el hombre podría llegar a Marte en 1980, para lo que era necesario mejorar las comunicaciones de la época y las frecuencias ópticas se situaron en el punto de mira. Por diversas razones, 1980 vino y se fue sin el hombre en Marte y en cualquier caso la tecnología de la época seguramente no hubiera sido suficiente para realizar el pretendido enlace de comunicaciones por láser. Actualmente sí se dispone de la tecnología para realizar dicho enlace, que será esencial para dar respuesta a la creciente demanda en capacidad y servicios de las comunicaciones en espacio profundo y por supuesto a las futuras misiones tripuladas a Marte.

## EL PROYECTO MLCD

El día 13 de octubre de 2009 está previsto el lanzamiento del terminal MTO. Tras un viaje de unos 10 meses tendrá lugar la inserción de la nave en su órbita final alrededor de Marte y desde este momento hasta el fin del proyecto el satélite se deberá enfrentar a todas las dificultades que supone una misión a Marte.

La distancia entre Marte y la Tierra variará desde los 101 millones de km en oposición (Marte y la Tierra a la mínima distancia y en línea vistos desde el Sol) hasta los 356 millones de km en conjunción (el Sol justo entre Marte y la Tierra). Estas grandes distancias constituirán la principal fuente de pérdidas en el balance de potencia del enlace y harán que la intensidad de la señal recibida en la Tierra varíe en gran medida durante el transcurso del proyecto. Debido a esta variación, el régimen binario no será constante, ya que dependerá en último término de la cantidad de potencia recibida. De esta forma cuando la distancia sea máxima (caso peor), el proyecto MLCD pretende demostrar un régimen binario mínimo de 1 Mbit/s, pudiendo alcanzarse 50 Mbit/s o más cuando la distancia sea mínima.

En función de la posición relativa entre el Sol, Marte y la Tierra, existirá otro problema derivado de la necesidad de recibir la señal del MTO durante el día o



durante la noche. En los momentos cercanos a las conjunciones, coincidiendo con las distancias máximas entre Marte y la Tierra, la recepción tendrá que ser forzosamente diurna, lo que conllevará, como se verá a continuación, que una parte de la radiación solar llegará a los receptores mezclándose con la señal y suponiendo una fuente de ruido que será tanto mayor cuanto más cerca del Sol se tenga que apuntar.

Justo en el momento de la conjunción, cuando el Sol bloquee la línea de visión directa entre ambos terminales, deberá cortarse la comunicación inevitablemente. Sin embargo la causa del apagón temporal no responde únicamente al eclipse del Sol. Apuntar muy cerca del Sol implica exponer a los telescopios (usados a modo de antenas) a un sobrecalentamiento, y por lo tanto a una posible deformación de la óptica, que será necesario evitar. El proyecto MLCD contempla cortar el enlace cuando, visto

desde la Tierra, el ángulo entre Marte y el Sol sea inferior a 3 grados.

Este margen de seguridad únicamente protegerá a los telescopios de la radiación que incida directamente sobre ellos. Sin embargo, durante cualquier momento del día se recibirá constantemente cierta cantidad de radiación solar aunque no se apunte directamente al Sol. Ello es debido a la dispersión de la luz del Sol que introduce la atmósfera y que constituirá otra importante causa de ruido.

Como se acaba de ver, el proyecto MLCD contempla utilizar receptores ubicados en la superficie terrestre. Quiere decir esto que las señales tendrán que atravesar la atmósfera terrestre con los inconvenientes que ello implica. El efecto de la absorción atmosférica de la radiación electromagnética se elimina casi por completo eligiendo la longitud de onda dentro de una de las ventanas de transmisión existentes. Dificultades mayores suponen las turbulencias (que debi-

do a movimientos aleatorios de masas de aire hacen variar el índice de refracción), las nubes (que podrían llegar a bloquear el enlace) o el scattering o dispersión de la luz (ya mencionado para la radiación solar y aplicable también a la señal de comunicaciones).

Pese a que cada efecto atmosférico presenta sus características particulares, todos pueden mitigarse situando a los terminales terrestres en observatorios astronómicos. Ésta es la solución adoptada en el proyecto MLCD debido a que estos emplazamientos están precisamente elegidos para minimizar el efecto de la atmósfera. Además en los observatorios astronómicos se dispone de la óptica más adecuada para emplearse a modo de antenas receptoras, si bien a largo plazo deberá hallarse una solución más eficiente, tal como el empleo de arrays de pequeños telescopios, que hacen posible disponer de grandes ganancias sin las complicaciones de los grandes telescopios y cuya óptica, orientada a las comunicaciones, no precisa de la calidad de la óptica destinada a la formación de imágenes astronómicas.

El diseño de los receptores está aún abierto pero se planea utilizar técnicas de detección directa o incoherente que consisten en transformar directamente la potencia óptica recibida en una corriente eléctrica constituyendo la técnica más simple, habitualmente utilizada en fibra óptica. Por otra parte, los fotodetectores deberán ser extremadamente sensibles para captar tan débiles señales por lo que se consideran dispositivos «contadores de fotones» capaces, en teoría, de detectar hasta un solo fotón, tales como los fotomultiplicadores o los APD en modo Geiger.





## EL FUTURO

Un enlace de comunicaciones ópticas que pretenda comunicar la Tierra con planetas más lejanos tales como Saturno o hasta Plutón deberá recurrir a estrategias distintas a las empleadas por el proyecto MLCD. Estrategias éstas que deberán investigarse y desarrollarse conforme a las necesidades específicas del enlace.

Por mencionar dos mejoras importantes para enlaces más problemáticos que el tratado aquí, cabría destacar en primer lugar los beneficios que se obtendrían del empleo de satélites como terminales terrestres en lugar de estaciones en superficie. Con ello no sólo se eliminarían por completo los efectos perjudiciales de la atmósfera sino que, al desaparecer la necesidad de ceñirse a una ventana atmosférica determinada, se podría reducir la longitud de onda de las señales de forma que se mantendría el pequeño tamaño del spot recibido en la Tierra pese a las mayores distancias involucradas.

Otra mejora significativa la constituiría el uso de técnicas de detección coherente, similares conceptualmente a las

**Estos sistemas  
de enlaces  
en espacio profundo  
representan  
el futuro  
de las  
comunicaciones  
interplanetarias**

usadas en microondas, que aportarían una gran mejora en la relación señal-ruido a costa de añadir complejidad en los terminales. Sin duda ésta es un área que deberá ser investigada en el futuro y que podrá aportar grandes mejoras.

El reciente resurgimiento del interés en las comunicaciones ópticas no guiadas sin duda deparará grandes avances en este tipo de tecnología. Pese a las grandes dificultades a las que se deberán enfrentar este tipo de enlaces en espacio profundo, todo indica que representan el futuro de las comunicaciones interplanetarias. ●

## BIBLIOGRAFÍA

- Alberto Carrasco Casado, «Diseño de un Enlace de Comunicaciones Ópticas con Marte». Proyecto fin de carrera, Universidad de Málaga (Junio, 2005).
- Don Boroson, Abhijit Biswas, et al., «MLCD: Overview of NASA's Mars Laser Communications Demonstration System», Proceedings of SPIE, Vol. 5338: Free-Space Laser Communications Technologies XVI (Enero, 2004).
- Bernard Edwards, Stephen Townes, et al., «Overview of the Mars Laser Communications Demonstration Project», AIAA Space 2003 Conference, Paper 2003-6417 (Septiembre, 2003).