

# ESTUDIO DE LA FIBRA ÓPTICA Y SU APLICACIÓN EN UNA MISIÓN ESPACIAL

Rodríguez, Gabriel.  
 Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales (ABAE)  
 grodriguez@abae.gob.ve

**Resumen---** Este artículo tiene como objetivo el estudio de la fibra óptica para aplicaciones en misiones espaciales ya sea nave tripulada o no tripulada, las normas utilizada para el bus de transferencia de datos, así como los componentes y materiales con los cuales está fabricada, tomando en cuenta que a la misma se le tiene que aplicar pruebas específicas como lo son vibración, radiación, temperatura, vacío y compactibilidad electromagnética entre otros, para aplicarla a una misión espacial.

**Términos Claves---** fibra óptica, composición, ambiente espacial.

## I. INTRODUCCIÓN

La fibra óptica, es utilizada extensamente en el mundo moderno, es una tecnología con mucha historia recorrida. El confinamiento de la luz por refracción, principio que hace que la fibra óptica sea posible, fue demostrado por primera vez a principios de la década de 1840 por Daniel Colladon y Jacques Babinet. Años después, John Tyndall, físico irlandés, descubrió que la luz podía viajar dentro de algún material, en ese caso agua, curvándose por reflexión interna [1].

Durante más de treinta años la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) ha tenido éxito en todas las misiones de vuelos espaciales en las que se ha utilizado la fibra óptica. Uno de los primeros experimentos de caracterización ambiental que se realizó, incluyó fibra óptica y se colocó en el *Long Duration Exposure Facility (LDEF)* en 1978, desde entonces varias misiones se han puesto en marcha con elementos de fibra óptica, el cual funcionaron como se esperaba, sin fallo en toda la vida de la misión [2]. Esto fue solo el comienzo de una tecnología cuyas aplicaciones han llegado hasta el espacio [1], es cada vez más usado en sistema de última generación y tienen muchas ventajas sobre el cable eléctrico, en cuanto a ancho de banda, reducción de peso, inmunidad a las interferencias de los campos eléctricos entre otros. Estas ventajas son tomadas en cuenta para sistemas de vuelos que serán enviados al espacio [3].

## II. FIBRA ÓPTICA EN MISIONES ESPACIALES

Un satélite debe recopilar datos de diversos sensores e instrumentos distribuidos por toda la plataforma, para así poder retransmitirlas a fuentes externas. Para que el sistema pueda trabajar de una forma óptima, los cables de fibra ópticas deben proporcionar un funcionamiento estable en todos los ambientes. La construcción adecuada de los cables de fibra óptica tendrán que garantizar una buena resistencia térmica, sin embargo si la fabricación del cable de fibra es incorrecta, esto podrá conllevar a fallas de transmisión, dependiendo a los cambios de temperatura que se vayan haciendo, esto podría llevar a que la fibra óptica se pudiera deteriorar y finalmente pudiera sufrir una ruptura [3]. El satélite *Cosmic Background Explorer (COBE)* incluyó varios componentes de fibra fotónica y óptica. El sistema funcionó con precisión suficiente para los investigadores principales,

*John C. Mather de Goddard Space Flight Center (GSFC)* y *George F. Smoot del Lawrence Berkeley National Labs (LBNL)*, desde entonces varias misiones de la NASA han tenido sistemas de comunicación de fibra óptica, incluyendo la Estación Espacial Internacional [2].

El Programa *Small Explorers Program (SMEX)* de la NASA *Goddard Space Flight Center*, abrió un nuevo camino, demostrando que la fibra óptica era una opción viable para el vuelo espacial, el *Solar Magnetospheric Particle Explorer (SAMPEX)*, fue la primera misión del programa PYMEX; el cual se puso en marcha en 1992, y estuvo diseñada para que la misión durara 1 año. La Estación Espacial Internacional administrada por el Centro Espacial Johnson, utiliza un bus de datos de fibra óptica diseñado por *Boeing* llamado *High Rate Data Link (HRDL)*. El HRDL fue configurado con una guía de onda de 1300 nm para un enlace de fibra óptica multimodo y un conector MIL-STD-38999 y terminaciones MIL-T-29504. Habitualmente de los enlaces de fibra óptica se utiliza la norma MIL-STD-1773 con los terminales MIL-STD-38999 y MIL-T-29504. A continuación se presenta una tabla de misiones espaciales en donde fue implementada la fibra óptica y su propósito fue la de transmisión y manejo de telecomando crítico [4].

Tabla 1  
 Misiones en la que fue utilizada fibra óptica para la transmisión y manejo de comando crítico [2].

Proyecto	Acrónimo	Lanzamiento	Tecnología	Longitud de Onda
Solar Magnetospheric Particle Explorer	SAMPEX	JUL. 1992	MIL-STD-1773,1 Mbps	850 nm
Microelectronic and Photonic Test Bed	MPTB	DIC. 1997	AS1773,20 Mbps	1300 nm
Microwave Anisotropy Probe	MAP	JUN. 2001	AS1773,20 Mbps	1300 nm
X-ray Timing Explorer	XTE	DIC. 1995	MIL-STD-1773,1 Mbps	850 nm
Hubble Space Telescope, upgrades	HST	FEB. 1997	MIL-STD-1773,1 Mbps	850 nm

*Astrium*, la división espacial de *European Aeronautic Defence and Space (EADS)*, son fabricante en el aérea espacial, involucrados en el desarrollo y fabricación de equipos y vehículos espaciales ha credo un giroscopio de fibra óptica en colaboración con *iXSea*, este suministra datos extraordinariamente fiables sobre la velocidad de rotación, con un nivel de ruido sumamente reducido, lo que resulta fundamental para el control de actitud, el apuntamiento y la estabilización de los sistemas espaciales. Además, se ajustan a cualquier aplicación espacial debido a su gran fiabilidad, con quince años de funcionamiento continuo, bajo consumo energético, escasa masa, rápida puesta en marcha e interfaces versátiles. Se han instalado en los satélites de validación *Planck* y

*Galileo* y en otras misiones internacionales. Según el director de productos de *Astrium Saellites*, este contrato constituye un gran hito para *Astrium Satellites* por haber vendido por primera vez un giroscopio de fibra óptica para una misión espacial oficial de Estados Unidos, demostrando que *Astrium* es uno de los principales suministradores de equipos del sector espacial a escala mundial [5]. El satélite *Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS)* y el *Project for Onboard Autonomy 2 (Proba-2)*, micro-satélites de la *European Space Agency (ESA)* también cuentan con un sistema de fibra óptica. La carga útil experimental de *Proba-2* incluye un sistema de sensores de fibra óptica que monitorizan su propulsión, mientras que el armamento del *Microwave Imaging Radiometer with Aperture (MIRAS)* en el *SMOS* es totalmente dependiente de una estructura de comunicación basada en fibra óptica. El *SMOS* es la primera misión en todo el mundo cuya carga útil depende fundamentalmente del enlace de fibra óptica. En comparación, *Proba-2* tiene sólo seis líneas de fibra óptica, pero se están utilizando en una forma totalmente nueva, para hacer mediciones de temperatura y presión en torno a su tanque de combustible, líneas de propulsores y boquilla de proa [6].

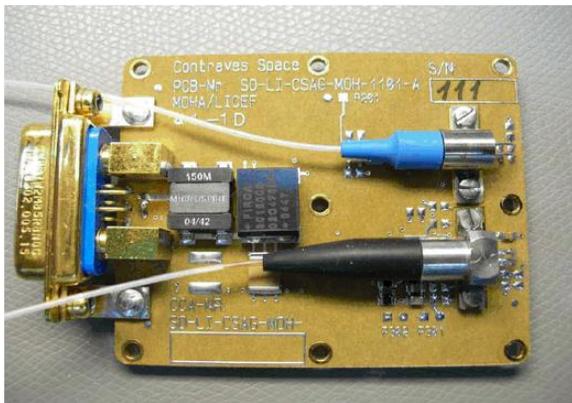


Figura 1 Transceptor óptico del satélite *SMOS* [6]

Actualmente la NASA incorpora un giroscopio de fibra óptica europeo a una misión espacial, en donde este lo fabrica la empresa de tecnología espacial *Astrium* y será utilizado en el 2016. Este giroscopio será incorporado a la misión *Joint Polar Satellite System-1 (JPSS-1)*. La misión *JPSS* está dirigida por la NASA, en representación de la *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*. Se tratará de la primera vez que este producto de alto rendimiento equipará un satélite de la NASA. El contrato ha sido firmado por *Astrium* con la empresa contratista del satélite *JPSS*, *Ball Aerospace & Technologies Corp* [7].

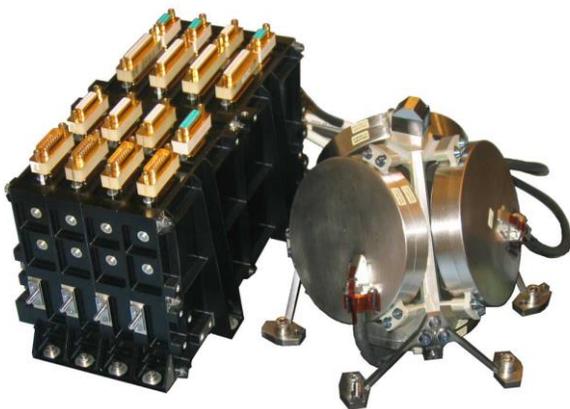


Figura 2 Tres Ejes Giróscopios basado en Fibra Óptica [8]

### III. BUS PARA LA TRANSMISIÓN EN FIBRA ÓPTICA

La norma utilizada en la conexión de fibra óptica para una misión espacial es la *Military Standard 1773 (MIL-STD-1773)*, la cual sustituye al MIL-STD-1553 utilizada en el bus de cobre.

El MIL-STD-1773 contiene los requisitos para la utilización de un sistema de "cableado" de fibra óptica como medio de transmisión para el protocolo de bus MIL-STD-1553B. La codificación de datos y formato de la palabra son idénticos a MIL-STD-1553, con la excepción de que los impulsos se define como transiciones entre 0 (apagado) y 1 (encendido) en lugar de entre positivo (+) y negativo (-) en la transiciones de tensión, ya que la luz no puede tener un valor negativo. La norma no especifica los niveles de potencia, niveles de ruido, características espectrales, longitud de onda óptica, eléctrica o medios de distribución de potencia óptica. Estos deben estar contenidos en especificaciones distintas para cada uno destinado utilizar [9]

Este estándar ha traspasado las barreras de las aplicaciones aeronáuticas para instalarse en el diseño de satélites y otras naves espaciales. Recientes trabajos lo colocan entre los candidatos con más posibilidades en la definición de la Arquitectura Avanzada de la Aviónica en las Naves Espaciales de *Advanced Spacecraft Avionics Architecture, (ASAA)* [10]. La NASA ha utilizado el estándar para proporcionar telecomando y control en el *Solid State Recorder Box* (grabadora de datos procedentes tanto de los instrumentos científicos como de los sistemas de aviónica del satélite para transmitirlos cuando el enlace del *Tracking and Data Relay Satellite System (TDRSS)*, no esté disponible) del Telescopio Espacial Hubble debido a su gran inmunidad a las interferencias electromagnéticas inducidas en el entorno espacial. Las características del estándar han sido probadas en satélites de órbita polar y en satélites con órbita muy inclinada con éxito en ambos casos. [11]

El estándar de bus AS1773, creado por la *Society of Automotive Engineers (SAE)*, *División sistemas de aviónica (ASD)* [12], se deriva del bus de datos por fibra óptica MIL-STD-1773 e incorpora una tasa reducida de radiación inducida por bit de error (BER), así como la implementación de una capacidad dual de transmisión a 1 y 20 Mbps [13].

A continuación se presenta una figura en donde se puede observar un esquema de la conexión.

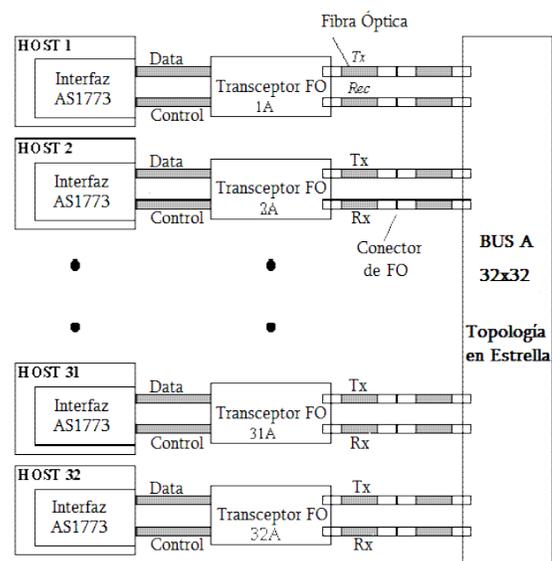


Figura 3 AS-1773. Utiliza un bus redundante [11]

Dado que la norma sólo se aplica al cableado, el bus funciona a la misma velocidad que sería la utilización con cableado eléctrico. Diferentes consideraciones ambientales se debe dar a los sistemas de fibra óptica, como la altura, humedad, temperatura, y el tiempo en que afecta a la fibra óptica de manera diferente que los hilos conductores [9].

#### IV. CONECTORES PARA FIBRA ÓPTICA.

*Diamond* desarrollado un conector para vuelos espaciales, el *Aviation Intermediate Maintenance (AVIM)*, este se ha utilizado en configuraciones monomodo (SM) y multimodo (MM) con núcleos de todas las dimensiones junto a los cables de *FlexLite* [2]. El AVIO/AVIM son conectores para fibra óptica, el cual ofrece un gran rendimiento óptico y se clasifica para entornos dinámicos y plataformas móviles entre ellos la aviónica y los vuelos espaciales [14]. El conector AVIM cuenta con un mecanismo de aseguramiento único diseñado para mantener la estabilidad óptica en vibración y propenso a choques. **choque ambientes propensos.**



Figura 4 Conector AVIM [15]

El conector Mini-AVIM es introducido en el 2010 con una versión más pequeña del conector AVIM. El cambio principal de este conector es que la parte del mecanismo de seguridad para fijar la tuerca externa se ha ubicado en el cuerpo del adaptador en lugar de estar incluida en el propio conector, el mismo está diseñado para que se mantengan unidos por los resortes en la parte posterior de las férulas, una vez acoplados. La desventaja de este conector es su falta de robustez durante la manipulación, el conector estándar no tiene los medios para fijar el revestimiento de fibra al dispositivo sin el epoxy, lo que conduciría a un mal rendimiento térmico [16].



Figura 5 Conector Mini-AVIM [16].

Todas las misiones de la NASA que han utilizado fibra óptica como un enlace de transmisión nunca han reportado fallas a bordo relacionados con la tecnología [2].

A continuación se presenta una tabla de misiones donde se a utilizado el conector AVIM.

Tabla 2  
Misiones en donde se a utilizado el conector AVIM [16].

Proyecto	Lanzamiento	Conector	Descripción
Express Logistics Carrier on ISS	2009	AVIM standard custom drill for 140 um	Pilz ceramic shell ferrules
Laser Ranging on Lunar Reconnaissance Orbiter	2009	AVIM Array connector, 416 SS ferrule flower drill @ Diamond	Both sides array flower pattern. Gimbal, cold, to -55 C.
Lunar Orbiter Laser Altimeter (LOLA) on Lunar Reconnaissance Orbiter	2009	AVIM array connector, 303 SS ferrule drill @ GSFC	Custom drill 220 um on fan out side, with standard AVIM tungsten carbide shell ferrules
Shuttle Return to Flight NEPTEC Laser Heat Tile Sensor	2005	AVIM standard SM APC & SM	Standard pilz ferrule, ceramic shell
Mercury Laser Altimeter (MLA) MESSENGER	2004	AVIM Standard, Flat Polish	Custom drill in ferrule, tungsten carbide shell ferrules
Geoscience Laser Altimeter System (GLAS) on ICESAT	2001	AVIM Standard Single Mode / Multi Mode / Flat Polish	Custom drill in ferrule, tungsten carbide shell ferrules

#### V. CABLES DE FIBRA ÓPTICA Y COMPOSICIÓN

Los cables de fibra óptica están siendo cada vez más utilizados en sistemas de última generación, ya que poseen muchas ventajas sobre el cables eléctricos en gran ancho de banda, peso reducido, potencia de operación más bajos, menor tamaño, y de inmunidad a los campos eléctricos e interferencia. Estas ventajas son especialmente importantes para los sistemas de vuelo que debe ser lanzado al espacio [4].

La fibra óptica *Flexlite*, fabricada por *W.L. Gore*, tiene un tamaño de 400/400  $\mu\text{m}$  (Micras), núcleo y revestimiento de sílice. El cable de fibra óptica está envuelto en PTFE (politetrafluoretileno), Aramida (aromatic polyamide), Kevlar (poliparafenileno tereftalamida) y una cubierta exterior de fluoropolimero, este cable ha sido utilizado en múltiples misiones espaciales de la NASA y es un tipo de cable que proporciona una resistencia mecánica y térmica. La fibra óptica utilizada en la estación espacial internacional (ISS), es una fibra óptica de 100/140  $\mu\text{m}$  con un recubrimiento de carbono, teflón y una camisa de exterior de polímero. El cable está diseñado para proporcionar estabilidad terminal. La fibra óptica monomodo con un PEEK (Polyether ether ketone), fabricado por *W.L Gore*, es de 9/125/250  $\mu\text{m}$ , trabaja en el rango de 1310 nm (nonometros) y 1550 nm. El cableado consiste en un PTFE expandido, tubo de PEEK y refuerzo con aramida con una cobertura exterior de polímero. El tubo PEEK se utiliza típicamente cuando se necesita resistencia mecánica. La fibra óptica fabricada por *Lucent SFT* de 62,5/125/250  $\mu\text{m}$ , fue probado para la resistencia a la radiación gamma en la cámara de la NASA *Goddard*

*Space Flight Center*. La fibra fue analizada a una onda de 1300 nm, a -25 C y a +25C. *Cornig* es el fabricante de fibra óptica de 100/140  $\mu\text{m}$ , el cual fue utilizada para aplicaciones espaciales, esta fibra se caracterizaba por ser utilizada en entornos espaciales pero hace varios años que se dejó de fabricar. Desde entonces *Lucent SFT*, ha sido el único fabricante de este tipo de fibra. El cable de fibra óptica para un satélite tiene que funcionar de manera óptima en temperaturas que van de -50 C hasta +125 C. De acuerdo al tipo de fibra y a su composición, este puede proporcionar un funcionamiento estable o tener grandes fluctuaciones en la transmisión [17].

Tabla 3

Misiones en donde se utilizó la transmisión por fibra óptica, para la recepción y procesamiento de señales [2].

Proyecto	Acrónimo	Lanzamiento	Tecnología
Geoscience Laser Altimeter	GLAS	Jun 2003	SM & MM – 1064/532 nm; AVIM - FLEXLITE
Mercury Laser Altimeter	MLA	Ago 2004	MM 1064 nm; AVIM - FLEXLITE
Shuttle-Return-to-Flight	Shuttle-RTF	Jul 2004	SM & MM – NEPTec camera w/ AVIM – Custom
Lunar Orbiter Laser Altimeter / Laser Ranging on LRO	LOLA on the Lunar Recon Orbiter	Jun 2009	5 & 7 arrays, 1064/532 nm w/ AVIM enlargement - Custom
Mars Science Lab ChemCam.	MSL	TBD	Broad spectrum – AVIM

#### A. Prueba para la Fibra Óptica.

Varias pruebas se utilizan como un método de confirmación para este tipo de tecnología, para determinar si un cable óptico es adecuado para un vuelo espacial se incluye, pruebas de desgasificación, pruebas térmicas, pruebas de radiación y pruebas de vibración, igualmente se utilizan como una prueba de validación de la tecnología [18].

De acuerdo a las normas determinadas en el documento de número S-311-339/1 establecido por la NASA y el GSFC, el cable de fibra óptica debe superar unos valores de acuerdo a la prueba exigidas. Entre ellas mencionaremos algunas de los ensayos que se aplican a los cables en donde la prueba de temperatura de acuerdo a los ciclos no debe tener un aumento de más de 1 dB. En vibración la atenuación del cable no deberá aumentar más de 1.0 dB, en golpes la atenuación del cable no deberá aumentar a más de 1.0 dB, la estabilidad térmica en el cable no deberá tener una atenuación inferior a  $\pm 3$  dB para una muestra de 10 metros sobre el rango de temperatura de -55 C a 85 C, la radiación para 10 mts de cable, la atenuación no podrá aumentar por más de 1 dB en los niveles de dosis total de radiación hasta 10 *kilorads (SI)* a 50 *rads / min* la tasa de dosis, y hasta 1 *Megarad (SI)* en 500 atenuación *rads / min* de tasa de dosis no deberá aumentar a más de 3 dB. Después de la radiación, la atenuación del cable deberá regresar a los valores originales dentro de 0,5 dB, a las 24 horas, las pruebas de radiación y las mediciones se realizan a  $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$  [19]. Cabe señalar que las condiciones de temperatura deben ser determinadas previamente para el cable, ya que el operar fuera de su rango de temperatura, el cable de fibra óptica se podrá contraer y crear tensión en los conectores, si no fueron acondicionados previamente para ese rango de temperaturas. El uso de cables de fibra óptica en misiones espaciales y otro tipo de ambientes hostiles, exige que la transmisión óptica sea estable a grandes cambio de temperatura [17].

En la mayoría de los casos, todos los materiales utilizados en el hardware de los vuelos espaciales se evalúan las características de

desgasificación al vacío del medio ambiente con la norma ASTM 595 (% Total pérdida de masa, (% TML) debe ser inferior a 1%). Si un material pasa la prueba ASTM 595, el material se considera aceptable para el uso en un entorno de vacío. Recubrimientos acrílicos utilizados como protección de la fibra óptica son bien conocidos como "outgassers" y por lo tanto suelen ser prohibida en misiones de vuelos espaciales [18].

#### B. Materiales Usados para la Fabricación de la Fibra Óptica

Actualmente existen pocos epoxys aprobados para los vuelos espaciales y aún menos cualificados aplicados a cables de fibra óptica. En la actualidad, GSFC utiliza Tra-Con Bipax, Tra-Bond BA-F113AMP para todos los grupos de cables en la fibra óptica relacionado con vuelos espaciales [18].

El Tra-Bond-F113 es ópticamente transparente de baja viscosidad, es un epoxy adhesivo de alto impacto, desarrollado para la unión de pequeños ramales de fibras de plástico o de vidrio óptico, lentes, prismas, pantallas y otros componentes ópticos LED [19].

Según pruebas realizadas por la GSFC con el epoxy *AngstromBond AB9119* y *AngstromBond 9112*, concluyeron que los valores adquiridos durante la prueba de desgasificación demostraron que el *AngstromBond 9119*, tenía *outgassers* característicos que estaban dentro de los rangos aceptables para el vuelo calificado con epoxys en la fibra óptica. Sin embargo, los valores adquiridos con él, *AngstromBond 9112*, el epoxy tenía características que no estaban dentro de los valores aceptables. El *AngstromBond AB9119* es un polimero resistente de baja viscosidad y desarrolla fuertes lazos con el vidrio, plásticos, metales y cerámicas que le permiten ser utilizados en aplicaciones ópticas por su alta resistencia y fiabilidad [20]. La prueba de desgasificación para materiales no metálico asociados con superficies ópticas sensibles en un entorno espacial se pueden ubicar en el documento de la NASA (MSFC-SPEC-1443) [23]. La prueba de desgasificación de un epoxy es importante, ya que es la única validación de que el epoxy y el sistema terminado pueden soportar un ambiente de vacío. Es muy importante asegurarse de que la integridad de la unión y la terminación se mantiene, especialmente en aplicaciones de vuelos espaciales, donde los cables de fibra óptica no se pueden reemplazar fácilmente.

## VI. CONCLUSIONES

Podemos demostrar que el constante avance de la tecnología en las comunicaciones está llevando a la fibra óptica a ser un excelente medio de transmisión. La investigación realizada a la fibra óptica ha conllevado a ser una aplicación dentro de las misiones espaciales de gran importancia delante del cable de cobre utilizado. Actualmente se encuentran satélites que poseen bus de datos de fibra óptica utilizando la norma MIL-STD-1773, como lo es el SMOS, el cual incorporo una arquitectura completa basada en fibra óptica, en el que ha tenido un rendimiento óptimo en el ambiente espacial. El rendimiento de la fibra óptica en misiones espaciales ha llevado a tener una gran aceptación dentro del entorno aeroespacial por poseer poco peso frente a un cable de cobre el cual se reduciría considerable al momento de diseñar el satélite. De acuerdo a este estudio realizado, se concluye que el cable de fibra óptica en aplicación de misiones espaciales tiene un desempeño optimo, pues su forma de transmitir es mediante la luz y no por pulsos eléctrico, los cuales estos se pueden ver afectador por algún tipo de interferencia electromagnético a lo cual estará expuesto el satélite dependiendo de la misión y orbita donde el mismo se pueda ubicado, como lo son los anillos de Van Aller y la anomalía del atlántico sur. El uso de cables de fibra óptica en los vuelos espaciales y otros ambientes hostiles exige que su transmisión óptica sea estable y confiable a grandes cambios en la temperatura, al igual que su tiempo

de vida sea mínimo de 16 años. Finalmente, este estudio queda como referencia de que la fibra óptica está siendo utilizada en el entorno aeroespacial, el cual se podrá incluir a futuros diseños creados en Centro de Investigación y Desarrollo Espacial (CIDE).

## VII. REFERENCIAS

- [1] «Fibra Óptica: Sacando El Cobre,» *ADVANCE • TECH*, p. 1, 2014.
- [2] M. N. Ott, «Space Flight Applications of Optical Fiber; 30 Years,» de *Aviónica Fibra-Óptica y Fotónica Technology Conference*, Denver, CO, 2010.
- [3] M. N. Ott, «Validation of Commercial Fiber Optic Components for Aerospace Environments,» SPIE, San Diego, CA, 2005.
- [4] M. N. Ott, «Applications of Optical Fiber Assemblies in Harsh Environments: The Journey Past, Present, and Future,» SPIE Digital Library, San Diego, California, EE.UU, 2008.
- [5] ONEMAGAZINE, «Seleccionado el Giróscopo de Fibra Optica de Astrium para una Misión de la NASA/NOAA,» Grupo Atenea, 2014.
- [6] ESA, «Agencia Espacial Europea,» 28 04 2010. [En línea]. Available: <http://www.esa.int>. [Último acceso: 27 08 2014].
- [7] E. UNIVERSAL, «NASA Incorpora Giroscopio Europeo a una Misión Espacial,» CARACAS, 2011.
- [8] A. Aeroespacial, «Astrium suministrará su Giroscopio de Fibra Optica para una Misión de la Nasa,» Madrid, 2011.
- [9] Granite Island Group, «Granite Island Group,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.tscm.com/1553-bus.pdf>. [Último acceso: 15 08 2014].
- [10] S. P. d. Águila, «Fortuna Imperatrix Mundi,» 2012. [En línea]. Available: <http://pablo.delaguila.eu/apuntes/buses-para-avionica/mil-std-1553>. [Último acceso: 15 08 2014].
- [11] P. d. Á. S., «Fortuna Imperatrix Mundi,» 2012. [En línea]. Available: <http://pablo.delaguila.eu/apuntes/buses-para-avionica/mil-std-1773>. [Último acceso: 15 08 2014].
- [12] «Interoperability Requirements for AS1773,» de *AIR-4957 Draft 2.1*, 1996.
- [13] C. Seidleck, «MPTB AS-1773 Fiber Optics Data Bus (FODB) Lessons Learned,» 1992.
- [14] Diamond, «Fiber Optic Components AVIO/AVIM,» 2014.
- [15] Diamond EE.UU. Inc, «Diamond,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.diausa.com/avim>. [Último acceso: 1 09 2014].
- [16] M. N. Ott, «Small form factor optical fiber connector evaluation for harsh environments,» SPIE, 2011.
- [17] R. F. C. William J. Thomes, «Fiber Optic Cable Thermal Preparation to Ensure Stable Operation,» NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, 2008.
- [18] P. F. Melanie N. Ott, «Technology Validation of Optical Fiber Cables for Space Flight Environments,» NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, 2010.
- [19] G. Jacobs/UNISYS CORP, «Cable, Fibra Optica, Fibra Optica Simple, Multi-Modo, Especificación Detalle Flexible para,» Otras Normas, NASA, 1988.
- [20] M. Bettencourt, «Fiber Optic Epoxy Outgassing Study for Space Flight Applications,» NASA Goddard Space Flight Center, 2001.
- [21] T.-C. Inc, «Matweb Material Property Data,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.matweb.com/>. [Último acceso: 19 8 2014].
- [22] M. Bettencourt, «Fiber Optic Epoxy Outgassing Study,» NASA Goddard Space Flight Center, 2001.
- [23] G. C. Marshall, «Outgassing Test for Nonmetallic Materials Associated with Sensitive Optcal Surfaces in a Space Environment (MSFC-SPEC-1443),» Marshall Space Flight Center, Alabama, 2007.