

De la Tierra a la Luna: contribución de científicos colombianos al logro. 40 Años después

René Van Hissenhoven, S. J.*

Fecha de envío: 21 de marzo de 2009
Fecha de aceptación: 20 de julio de 2009

RESUMEN

Con motivo de los primeros 40 años de la llegada del hombre a la Luna, este artículo hace un recuento de aportes de científicos colombianos al éxito de la misión. Esto, en primer lugar, mediante estudios de la ionosfera, en la ciudad de Bogotá, en el Instituto Geofísico de los Andes Colombianos; en segunda instancia, con estudios de calibración de los sismógrafos lunares y, en tercer lugar, con base en estudios del magnetismo terrestre, estos dos últimos desarrollados en el Observatorio de Geofísica del Weston College en Boston.

Palabras clave: Luna, lunamotos, sismógrafo, ionosfera, aurora boreal.

FROM THE EARTH TO THE MOON - CONTRIBUTION OF COLOMBIAN SCIENTISTS TO THE ACHIEVEMENT – 40 YEARS AFTER

ABSTRACT

In order to remember the trip to the Moon, this paper summarizes some Colombian scientists contribution to the Mission success. That was done by mean of Ionosphere Studies in Bogotá city, at the Instituto Geofísico de los Andes Colombianos; by means calibration of lunar seismographs and in third place studying the terrestrial magnetism, the last two activities were developed at the Geophysical Observatory in Weston College-Boston.

Keywords: Moon, moonquakes, seismograph, ionosphere, Northern Aurora.

* Filósofo y Teólogo de la Pontificia Universidad Javeriana. Matemático, físico, geofísico. Especialista en Sismología del *International Institute of Seismology and Earthquake Engineering* en Tsukuba, Japón. M. Sc. en Geofísica Weston College Boston. Ph. D. en Geofísica Universidad de Wisconsin. Consultor en Geofísica. Afiliación: Compañía de Jesús.

INTRODUCCIÓN

La hazaña tecnológica más audaz del siglo XX fue sin duda el viaje a la Luna; lograr trasladar con seguridad hombres a la Luna y hacerlos regresar sanos y salvos a la Tierra. Para esto se necesitaba de una técnica superior preparando con tiempo los equipos tanto en tierra, como explorando a distancia todas las posibilidades de fracaso y de seguridad para salvaguardar la vida de los astronautas. Desde 1952 se trató de coordinar una serie de observaciones globales geofísicas con los últimos adelantos de la ciencia y de la técnica, que culminó con el Año Geofísico Internacional (IGY, julio de 1957-diciembre de 1958). Por lo menos doce áreas principales se escogieron como observación y estudio, entre otras: las auroras boreales, el geomagnetismo y la ionosfera. El último proyecto debería terminar colocando un satélite artificial en órbita alrededor de la Tierra. Sesenta y siete países tomaron parte en las observaciones. Estos estudios animaron en gran medida el proyecto de viaje a la Luna.

Como preparación remota, en el Perú, a muy poca distancia de Lima se instaló un poderoso transmisor-radar capaz de sondear la Luna para poder determinar su estructura hasta unos diez metros bajo la superficie.

ESTUDIOS DE LA IONOSFERA

En el Instituto Geofísico de los Andes Colombianos, Universidad Javeriana, en Bogotá, se instaló en 1957 una ionosonda de 10 kilovatios, que exploró, durante diez años, sin interrupción, cada cuarto de hora, la ionosfera, mediante un barrido de frecuencias de todas las gamas, desde 0 a 50 MHz a fin de determinar las características de las capas reflectoras de la ionosfera para la propagación de las comunicaciones en ondas cortas en el globo y ultracortas que atravie-

san todas las capas para la comunicación espacial extra terrestre. El nombre de la estación era IONBT.

Las especificaciones del equipo para los sondeos ionosféricos eran las siguientes:

- Alcance de frecuencias desde 1 hasta 25 megaciclos por segundo
- Salida máxima de 10 kilovatios
- Duración de cada pulso de 50 microsegundos
- Número de pulsos por segundo de 50
- Dos osciloscopios de 5 pulgadas
- Cámaras de 35 y de 16 mm
- Tiempo de barrido de 30 segundos
- Marcas de altura cada 100 kilómetros
- Exactitud de las marcas de altura de 0,01%
- Sondeos de 1.000 a 500 metros de altura
- Selección de programas posible: cada minuto del día o de la noche, de cada día de la semana
- Selección de programa utilizado: seis barridos por hora a los minutos 00, 15, 30 y 45 con volumen normal del receptor, y hasta una altura de 1.000 kilómetros, al minuto 01 con volumen alto y hasta una altura de 500 kilómetros

De acuerdo con Escobar (1958), algunos de los hallazgos fueron los siguientes: en Bogotá, a diferencia de otros lugares, las bajas alturas de la capa esporádica –que en otras latitudes no suele ser inferior a

100 kilómetros— estaba en Bogotá a 81 km. Es notable la separación entre trazas ordinarias y extraordinarias; esta diferencia es llamada girofrecuencia y se debe a una doble refracción de la onda enviada por el equipo debido al campo magnético terrestre. esta diferencia debería ser para Bogotá normalmente de 5 décimas de megaciclo, y se ha encontrado desde 3 hasta 8 décimas; en Bogotá son muy altas las frecuencias críticas, debido a mayor concentración de iones sobre la ionosfera de la ciudad.

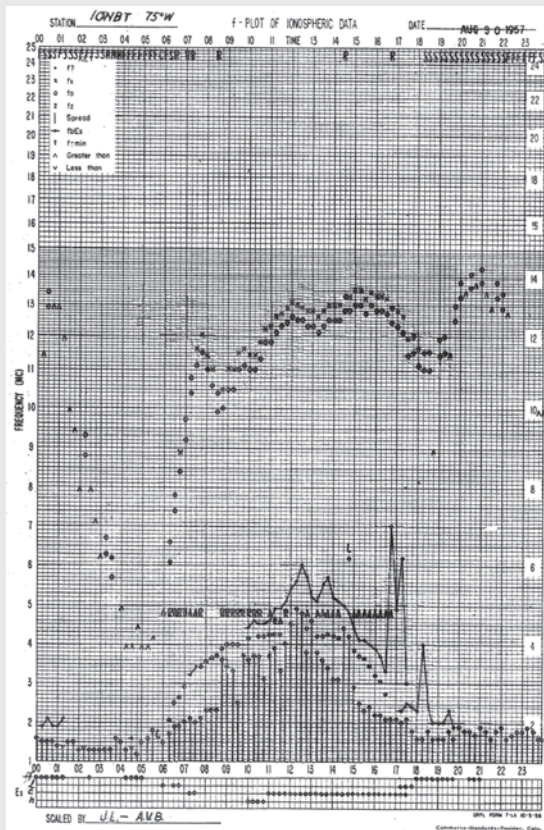
ESTUDIOS SISMOLÓGICOS

Un proyecto muy importante previo al viaje lunar fue el Proyecto Ranger que consistió en nueve misio-

nes no tripuladas divididas en tres bloques, de 1959 a 1965. Cada uno de los nueve cohetes Atlas-Agena B debería impulsar un vehículo espacial con seis cámaras fotográficas a bordo, calibradas con distintas aperturas de lente, profundidad de campo y enfoque de distancias para comenzar a tomar fotografías de la superficie lunar, momentos antes del impacto, transmitir las a la Tierra y poder definir el sitio del alunizaje de los futuros astronautas.

Las tres primeras misiones se desviaron de su trayectoria y no dieron en la Luna. En la cuarta se perdió el contacto con la Tierra, se interrumpió la transmisión en momentos en que debía comenzar a enviar las imágenes, pero por lo menos se estrelló en la Luna.

Figura 1. Ejemplo de un f-plot registrado en la Estación del Instituto Geofísico de los Andes Colombianos (1970).



Fuente: Escobar (1958).

La quinta misión salió el 18 de octubre de 1962; tenía algo especial: llevaba a bordo un sismómetro para ser lanzado a la superficie lunar y detectar las señales del impacto y posiblemente otras señales ya que iba protegido contra el golpe; sin embargo, falló el contacto a Tierra, no se pudo corregir la trayectoria del vehículo espacial y pasó a 725 kilómetros de distancia de la Luna sin estrellarse y entrar en una órbita alrededor del sol.

En el Observatorio Sismológico de Weston, Massachusetts –perteneciente a Boston College University de la Red Sismológica de New England, Estados Unidos– en 1963-1964 había un sismógrafo diseñado para ser puesto sobre la superficie lunar. Allí lo encontré, siendo estudiante de geofísica.

La Fuerza Aérea de Estados Unidos, que tenía contratos con la NASA, había encomendado al Observatorio de Weston la supervisión de uno de los prototipos de sismómetros lunares. También debieron hacer lo mismo otros observatorios. Frank Press, en el California Institute of Technology, Pasadena, California, diseñó el primer sismómetro lunar para ser enviado en el Proyecto Ranger. Maurice Ewing, en compañía de George Sutton, del Lamont-Doherty Laboratory (Columbia University), Palisades, Nueva York, diseñó otro sismómetro lunar para el Surveyor, una de las misiones a Marte. Finalmente, para el Proyecto Apolo se diseñaron otros sismómetros, pues era muy importante conocer la estructura de la Luna y saber si los astronautas podrían moverse sin peligro sobre ésta.

Por eso los sismómetros constituirían parte muy importante de los proyectos preliminares experimentales de la superficie lunar. Posteriormente, habría otros: de radiaciones, magnetismo, temperaturas, polvo lunar, gravimetría, etc. El sismómetro que se estaba estudiando en 1963-1964 tenía tres masas pendulares pequeñas. Por lo general, los terrestres registran las componentes de movimientos verticales

y horizontales, orientadas así: norte-sur y este-oeste. Sus masas suelen ser péndulos de periodo corto o largo. Además se debe registrar el tiempo de llegada de las ondas para poder determinar el tiempo de origen del movimiento y el epicentro del evento. Sobre la Tierra, las masas pendulares tienen una posición ortogonal, es decir, las tres componentes forman ángulos de 90 grados. Lo más curioso de este sismómetro lunar era que las componentes no estaban en ángulo recto sino agudo, con la idea que al caer el sismómetro sobre la Luna, protegido especialmente contra el golpe, en cualquier posición que cayera, pudiera transmitir a la Tierra las vibraciones y los sismos de la Luna.

En este sismómetro lunar del Observatorio de Weston se debieron estudiar los parámetros de sensibilidad a fin de determinar la magnitud de sismos o microsismos, y la estabilidad del instrumento. Cualquier sismógrafo debe funcionar continuamente las 24 horas del día. Éste produce los registros, llamados sismogramas (hoy día grabados en forma digital en los computadores). Algunos de los estudiantes de sismología, en ese entonces, debían leer los sismogramas para poder determinar las constantes del instrumento: ganancia o magnificación de las señales, amortiguamiento de las masas, atenuación, sensibilidad, etc., y luego poder tener una referencia de los sismos lunares. Eso asimismo se constituyó en una rutina. Es muy posible que algunos de estos instrumentos no llegaran a su destino, pero de alguna manera sirvieron para impulsar el conocimiento de técnicas dirigidas al estudio de los cuerpos celestes y al diseño más meticuloso de instrumentos de misiones futuras.

El primer sismómetro que efectivamente se pudo instalar en la Luna, fue llevado por los astronautas de la misión del Apolo 11. El 20 de julio de 1969, el primer instrumento salido de la Araña, fue un sismómetro diseñado y construido por Robert J. Swain de

Kinematics-Teledyne, el cual fue transportado por Buzz Aldrin. Todo el mundo pudo observar esta tarea por televisión con gran expectativa pues Aldrin tenía pocos minutos disponibles para su instalación. Una vez desplegados los paneles solares y orientado el sismógrafo, comenzó a enviar señales a la Tierra. Éste sería el primer éxito científico de la misión (figura 1).

A finales de 1969 en Bogotá se celebró el Primer Congreso Colombiano de Geología. Uno de los trabajos presentados fue la primicia dada por Maurice Ewing sobre los sismos lunares. En éste se pudo apreciar el registro de la estrellada de muchos meteoritos que

con frecuencia dan directamente contra la Luna, carente de atmósfera (figura 2). En la Tierra se calcula que cada tres cuartos de hora caen cerca de un millón de éstos, que se convierten en ceniza al entrar en la atmósfera, o se hunden en las aguas del océano, si alcanzan a llegar a la superficie. Asimismo, fue posible observar sismos verdaderamente tectónicos de la Luna –algunos mucho más profundos que los de la Tierra– de hasta 1.000 kilómetros, debido a que la Luna es sólida y sometida a grandes tensiones por la atracción de la Tierra y los grandes cambios de temperatura generados a través del día lunar.

Figura 1. Edwin Aldrin cuando instala el sismógrafo sobre la superficie lunar.

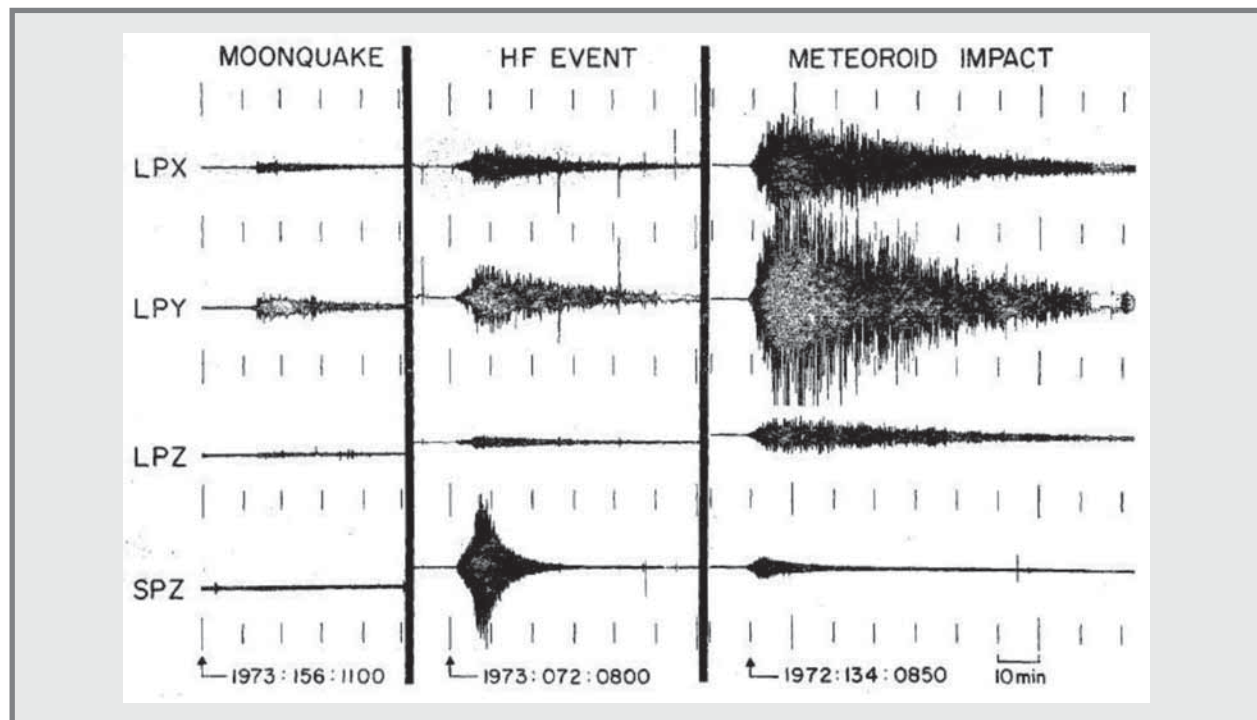


Fuente: NASA, 2009.

Algo admirable fue el registro sísmico del impacto de la Araña sobre la Luna, una vez descartada por los astronautas, al entrar en el módulo espacial que debía traerlos de regreso a la Tierra. La Araña fue el mecanismo especial diseñado para depositarse suavemente sobre la superficie lunar, mientras la Cápsula Espacial para el regreso seguía en órbita lunar, y esto hizo posible el éxito de las misiones Apolo. Llama la

atención la actitud de Ewing, a quien rodearon varias personas –tal vez profesores y alumnos– después de una presentación y al preguntarle si podrían utilizar algún material de su presentación sobre la sismología lunar, en clases y trabajos, con magnanimidad enorme y desprendimiento de sus investigaciones, no sólo les permitió utilizar todo su trabajo sino que prometió enviarles aun más datos.

Figura 2. Lunamotos: A la izquierda uno de categoría A1 detectado el 5 de junio de 1973; al centro un evento telesísmico de alta frecuencia (HFT) y a la derecha la caída de un meteorito el 13 de mayo de 1972.



Fuente: Latham *et ál.*, 1975; Neal *et ál.*, 2004.

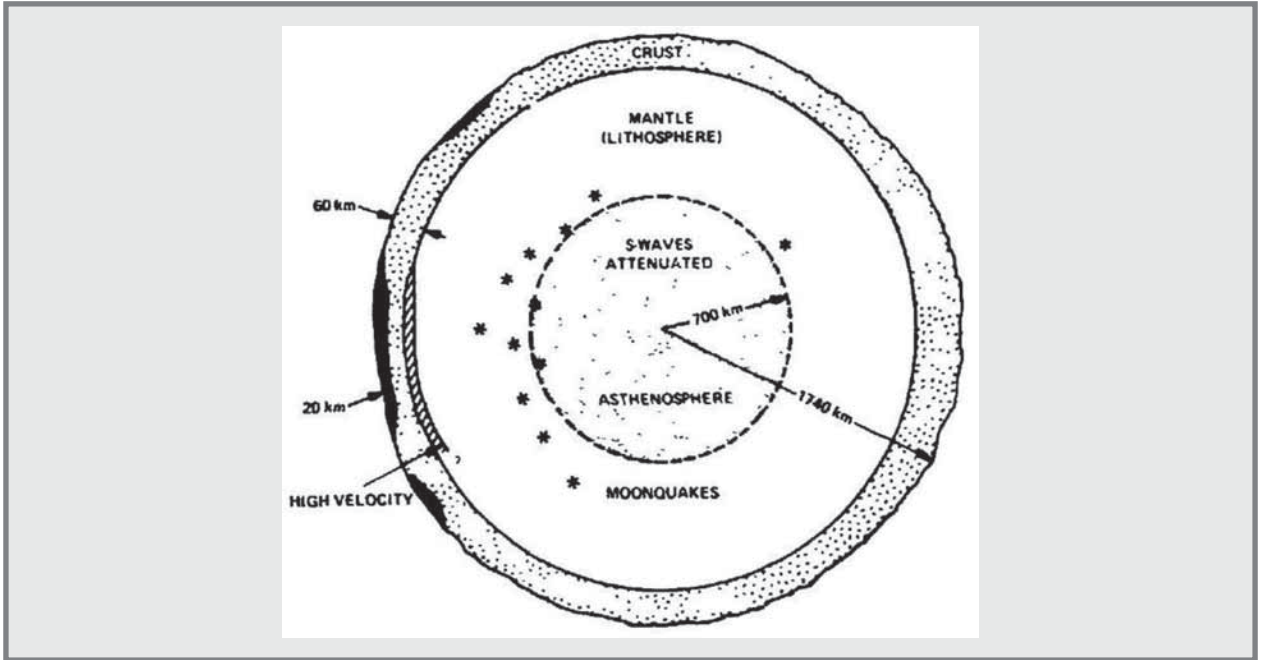
El sismómetro depositado sobre la superficie lunar debía funcionar indefinidamente. Sin embargo, dejó de transmitir señales después de tres semanas de funcionamiento perfecto. Aunque se había cubierto con una membrana protectora, el polvo lunar negro muy pegajoso –debido a la electricidad estática producida por el plasma solar lanzado al espacio y atrapado por la Luna– fue cubriendo la superficie del sismómetro. El mismo despegue de la Araña al arrancar y propul-

sarse hacia la cápsula espacial, produjo una nube de polvo que volvió a caer. La absorción de calor por la capa negra de partículas, hizo subir la temperatura a más de 50 grados centígrados, recalentando y derritiendo los circuitos eléctricos del transmisor de señales, que fallaron afectando el funcionamiento normal del sismómetro. No obstante, los datos sísmicos lunares obtenidos durante este breve tiempo y la experiencia aprendida de las condiciones lunares

tan distintas de las de la Tierra permitieron mejorar muchísimo los equipos para las nuevas misiones. La tabla 1 resume la localización de las estaciones sis-

mológicas emplazadas en la Luna y los puntos de impacto de las diferentes misiones (Press *et ál.*, 1972).

Figura 3. Representación esquemática de la estructura interna de la Luna (sin escala), deducida a partir de la información de los sismómetros. A la izquierda es la cara a la Tierra. El basalto Maria es la zona negra, y se enfatiza en la posible zona de alta velocidad.



Fuente: Toksoz, 1974 y Parkin, 1975.

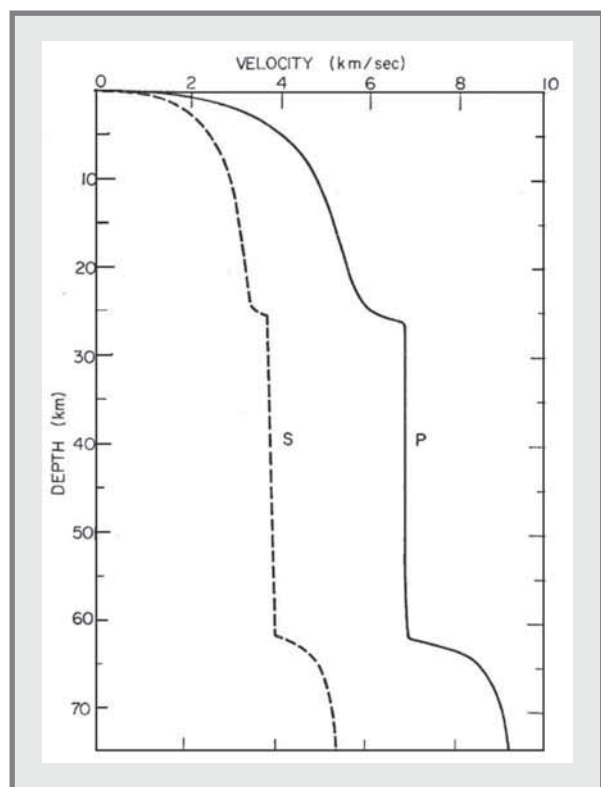
Tabla 1. Coordenadas de las estaciones sísmicas, de los puntos de impacto y de las distancias entre éstos.

Estación e impactos	Coordenadas en grados	Distancias en km desde		
		Sitio Apolo 12	Sitio Apolo 14	Sitio Apolo 15
Sitio Apolo 12	3.04 S, 23.42 W			
Sitio Apolo 14	3.65 S, 17.48 W	181		
Sitio Apolo 15	26.08 N, 3.66 E	1.188	1.095	
Impactos				
Impacto Apolo 12 LM	3.94 S, 21.20 W	73		
Impacto Apolo 13 S-IV B	2.75 S, 27.86 W	135		
Impacto Apolo 14 S-IV B	8.00 S, 26.06 W	170		
Impacto Apolo 14 LM	3.42 S, 19.67 W	114	67	
Impacto Apolo 15 S-IV B	1.36 S, 11.77 W	357	186	
Impacto Apolo 15 LM	26.36 N, 0.25 E	1.130	1.049	93

Fuente: Press *et ál.*, 1972.

La figura 4 muestra las velocidades de ondas de compresión y de corte para la Luna en las vecindades de Fra Mauro (Press *et ál.* 1972).

Figura 4. Velocidades de ondas de compresión y de corte para la Luna en las vecindades de Fra Mauro.



Fuente: Press *et ál.*, 1972.

ELECTROMAGNETISMO

En ese entonces se tenía alguna idea de las condiciones espaciales tan distintas a las de la Tierra. Van Allen ya había dado a conocer sus descubrimientos sobre los anillos o capas y formas del magnetismo terrestre que rodean al planeta y de los efectos de las partículas ionizadas que llegan desde el Sol.

Asimismo, la Fuerza Aérea encargó al Observatorio de Weston, del estudio y control del efecto de las condiciones electromagnéticas del espacio en los

circuitos electrónicos. Las fallas sistemáticas de los equipos de transmisión –que en el momento crucial se interrumpieron e impidieron el control y la corrección de la trayectoria en los cohetes de las misiones Ranger, además de no permitir la transmisión de fotos hacia la Tierra, y otras condiciones que llevaron al fracaso– hicieron sospechar que algunos componentes de los circuitos no estaban soportando estos estados. En efecto, había circuitos que empleaban diodos protegidos con cubierta de oro y plata, que al exponerlos a las condiciones extremas del espacio se convertían en escamas blancas las cuales se desprendían y dañaban los diodos y, por tanto, generaban fallas en los circuitos de control en el momento de ser activados desde Tierra. En consecuencia, se pensó en hacer un estudio más minucioso de éstos. En los terrenos boscosos del Observatorio de Weston se construyeron observatorios magnéticos en forma de torres, de unos 15 metros de altura, absolutamente carentes de todo metal, para albergar los magnetómetros y crear las condiciones más parecidas posibles a las del espacio. Allí también se llevaban los circuitos prototipo que formarían parte de alguna misión espacial. Para entrar en el Observatorio Magnético y recalibrar los magnetómetros, había que despojarse de todo objeto metálico, incluso el reloj, y usar sandalias, etc. para evitar cualquier influjo o inducción electromagnética. Las señales de los magnetómetros se conducían a control remoto hasta el laboratorio donde funcionaban continuamente los registradores.

Mi trabajo durante casi un año, en este campo del geomagnetismo, consistió en leer e interpretar todos los días, sin interrupción, los magnetogramas que –por las intensidades variables de las tormentas magnéticas, cambiaban de escala–, y anotar las características de las tormentas magnéticas producidas por las explosiones solares, las pulsaciones, las variaciones ordinarias del campo magnético terrestre y otros fenómenos. También se podían predecir las bellísimas auroras boreales. Cada cierto tiempo, técnicos

especializados recogían los circuitos electrónicos sometidos a condiciones espaciales para examinarlos y anotar los efectos en cada uno de sus componentes.

ANOTACIONES FINALES

Los estudios tendientes a un viaje seguro del hombre a la Luna, permitieron avances importantes, no sólo en cuanto al conocimiento de este satélite de la Tierra, sino en un mayor y mejor conocimiento del planeta. La creación del sismógrafo lunar permitió avances en cuanto a la instrumentación sismológica, mientras que el análisis de los lunamotos proporcionó información acerca del interior de la Luna. Los estudios de la ionosfera dieron un impulso fundamental al tema de las telecomunicaciones, y hoy sigue siendo un tema en permanente investigación. Los hallazgos relativos al magnetismo terrestre han permitido mejoras sustanciales en los componentes electrónicos de uso diario. La contribución de enti-

dades y científicos colombianos a las misiones espaciales fue beneficiosa para la llegada del hombre a la Luna y para un mayor y mejor conocimiento de la Tierra, su satélite natural, además de importantes aportes para la física aplicada: electrónica, geofísica, astrofísica, entre otras ciencias.

AGRADECIMIENTOS

Algunas de las personas que trabajaron o contribuyeron en la estación ionosférica IONBT fueron las siguientes: Carlos Ortiz Restrepo, S.J.; Jesús Emilio Ramírez, S.J., René Van Hissenhoven, S.J.; Wladimiro Escobar, S.J.; Luis Carlos Díaz, S.J.; John W. Wright; John J. Pitts; Alan H. Shapley; Enrique Sánchez; Luis Eduardo Moreno; Luz Uribe de Moreno; Alberto Villegas B., José A. Lozano I., José Manuel Martínez G., Lilia Zamudio G., Carlos Arturo Rojas, Arquímedes Montoya, Gilberto Jaimes, Gonzalo Montenegro, Henry Villa.

REFERENCIAS

Escobar, W. (1958) Características de la ionosfera registradas en la estación ionosférica emplazada en la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá. Instituto Geofísico de los Andes Colombianos.

Instituto Geofísico de los Andes Colombianos. (1970) Características de la ionosfera registradas en la estación ionosférica emplazada en la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá.

Lamont Geological Observatory (1963) Design and Construction of a Lunar Seismograph. Contract No. NASw-82. Progress Report # 15. Columbia University. Palisades, New York.

Latham, G.; Nakamura, Y.; Dorman, J.; Duennebie, F.; Ewing, M. y Lammlein, D. (1974) Results from

the Apollo Passive Seismic Experiment. The Proceedings of the Soviet-American Conference on the Cosmochemistry of the Moon and Planets. Moscow, USSR, June 4-8. J. Pomeroy, Technical Editor. Nasa Headquarters.

NASA (2009) http://www.nasa.gov/worldbook/moon_worldbook.html [fecha de recuperación: 28 de agosto de 2009].

Neal, C. R. *et ál.*, (2004) The Lunar Seismic Network: Mission Update. *Lunar and Planetary Science XXXV*. 2093. pdf

Parkin, C. W. (1975) Lunar Geophysics. In NASA. Ames Res. Center. A Primer in Lunar Geology pp. 381-388 (SEE N75-13730 04-91)

Press F; Toksoz, M. N. y Dainty, A. (1972) Participation in the Apollo Passive Seismic Experiment. Final Report. Department of Earth and Planetary Science. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, Massachusetts, pp. 67.

Toksoz, M. N. (1974) Geophysical Data and the Interior of the Moon. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, Vol. 2, pp. 151-177 (Volume publication date May 1974).