

transcontinental, al que fueron incorporadas observaciones terrestres hechas por los grupos de Buenos Aires y Santiago y mediciones submarinas realizadas por Vening Meinesz (1941) y Wuenschel (1956). También fueron incluidos algunos datos gravimétricos obtenidos en las islas de Juan Fernández en 1960, por E. Kausel, de este Instituto.

Si esta sección de los Andes carece de equilibrio isotático, aquí no encontraremos evidencias dramáticas de ello. Los perfiles de la anomalía de aire libre han sido tomados de Wuenschel; ellos reflejan la topografía existente. Nuestro perfil de Bouguer fue suavizado para eliminar los importantes efectos topográficos debidos a la presencia de masas montañosas y profundos valles.

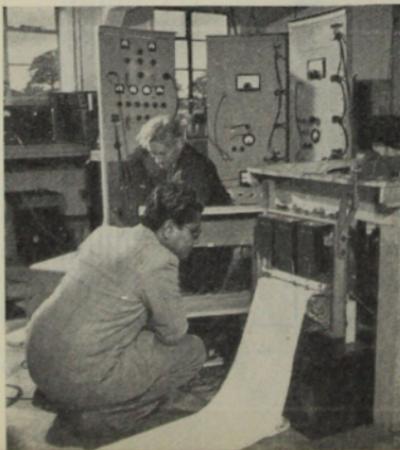
La presente solución debe considerarse, principalmente, como una referencia para trabajos futuros. La estructura detallada debería ser investigada mediante métodos sísmicos. Por último, podríamos agregar que las mediciones en las islas de Juan Fernández son algo inciertas. Los resultados actuales tienden a indicar la carencia de estructura de raíz debajo de estas islas. Un nuevo enlace gravimétrico con el Continente será pronto establecido.

(NOTA: Este trabajo fue subvencionado parcialmente con fondos del Proyecto G-13.901, de la Fundación Nacional de Ciencias de los EE. UU.).

COMO OPERA EL GRAN RADIOTELESCOPIO DE JODRELL BANK EN EL CONTROL Y RASTREO DE LOS SATELITES ARTIFICIALES

por REGINALD G. LASCELLES

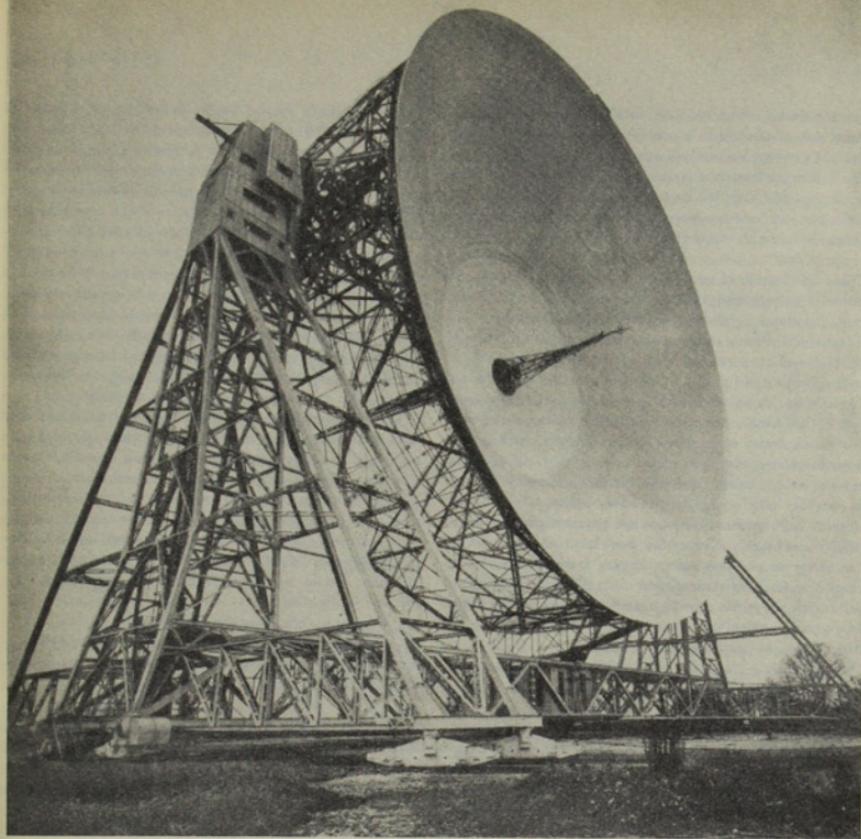
Postgraduados indúes y británicos estudian los registros hechos de resultados que llegan de las observaciones solares



BIBLIOGRAFIA SOBRE ESTRUCTURA ANDINA

- ALDRICH, L. T. H/ E/ TATEL, M. A. TUVE, and G. W. WETHERILL. The Earth's crust. *Carnegie Inst. of Wash. Year Book* 57, 104-111 (1958).
- BENIOFF, H. Seismic Evidence for the fault origin of ocean deeps. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 60, 1837-1856 (1949).
- BROGGEN, J. *Fundamentos de la Geología de Chile* (Inst. Geogr. Militar, Santiago, 1950).
- DINGMAN, R. J. and C. GALLI, U. S. Geol. Survey Bull. (in publication, 1961).
- GAJARDO, E. and C. LOMNITZ. Seismic provinces of Chile. *Proc. 2nd World Conf. Earthq. Eng.* 3, 1529-1540 (1960).
- KLHÖN, C. Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central. *Inst. Invest. Geol. Chile. Bull.* 8 (1960).
- LOMNITZ, C. Gravity measurements in the Central Valley of Chile. *Fifth World Petroleum Congr., Proc.* 1, 801-814 (1959).
- RUIZ, C., K. SEGERSTROM, L. AGUIRRE, J. CORVALAN, H. J. ROSE, Jr., and T/W. Stern. Edades plomo alfa y marco estratigráfico de granitos chilenos. *Inst. Inv. Geol. Chile. Bull.* 7 (1960).
- TSUBOI, C. Earthquake measure — domain of sympathetic seismic activities. *Jour. Phys. Earth* 6, 35 (1958).
- VENING MEINESZ, F. A. *Gravity Expeditions at Sea, 1923-1932*. V. III 206-209 (Publ. Netherl. Geod. Comm., Delft, 1941).
- WUENSCHEL, P. C. Gravity measurements and their interpretation in South America between latitudes 15° and 33° South (doctoral dissertation, Publ. 12,485, Columbia University, New York, 1955).

Orientado con frente al horizonte suroeste, el gigantesco plato del radiotelescopio de Jodrell Bank se yergue sobre su propio borde como un inmenso faro de automóvil, con la filigrana gris oscura de las nervaduras metálicas que abrazan la parte posterior de su taza de acero. En un pequeño laboratorio, donde miran a través de paneles de vidrio al interior de la cámara de control, varios hombres de ciencia están preparados, con grabadores magnetofónicos y otros implementos de registro. Desde un laboratorio móvil del gobierno de los Estados Unidos, a menos de 200 metros de distancia, llegan por el intercomunicador los últimos mensajes de Cabo Cañaveral: "tres minutos para el lanzamiento", "70 segundos para el lanzamiento..." Han de transcurrir por lo menos 10 minutos antes de que la sonda espacial asome sobre el horizonte. Nuevos mensajes se reciben: "primera etapa encendida correctamente; segunda encendida; segunda etapa consumida; tercera etapa encendida...", y demás. Los científicos



Construido para la Universidad de Manchester, dirigible en todo sentido, este gran radiotelescopio inglés es el mayor del mundo. Con su semiesfera cóncava de 76 metros de diámetro de reflexión, explora el universo captando ondas de radio de remotísimas fuentes en el espacio

prestan ya menos atención al intercomunicador, puesto que empiezan a escucharse débilmente por el altoparlante las señales emitidas por el último satélite artificial norteamericano. Aplican un ligero ajuste al telescopio —unos pocos minutos de arco en elevación— y una corriente constante de informaciones recibidas desde el satélite empieza a perforar la banda en el laboratorio móvil de tecnología espacial estacionado cerca del telescopio.

Envío y recepción de impulsos. A partir del momento descrito, el radiotelescopio desempeña tres funciones principales: 1) establecer exactamente la posición angular de la sonda; sobre todo en las primeras horas.

2) Enviar hasta ésta impulsos de mando. 3) Recibir los datos enviados por la sonda. Al aumentar constantemente la distancia, otro tanto ocurre con la importancia que asume el radiotelescopio, que mide 76,20 metros. La eficacia del radiotelescopio le permite recibir informaciones a una distancia superior a los 37 millones de kilómetros; y si la potencia del transmisor del satélite es aumentada hasta 150 Watt, la distancia sobre la cual es posible establecer comunicación se acercará a los 170 millones de kilómetros.

El rastreo de sondas espaciales norteamericanas constituye un trabajo en equipo, realizado por científicos de Estados Unidos y Gran Bretaña. Los miembros de los laboratorios de tecnología espacial de los EE. UU. ope-

ran el transmisor de mando, reciben las señales detectadas por el telescopio y son responsables de su despacho a Los Angeles por teletipo y por correo. El personal británico controla la operación del telescopio, mide la posición angular de la sonda en el cielo y es responsable del mantenimiento del rastreo, tal como lo determina una computadora en Los Angeles.

Cómo se efectúa el rastreo. Pocos días antes del lanzamiento, Jodrell Bank recibe información sobre la posición angular que deberá mantener el telescopio a intervalos de medio minuto después del disparo. Como el telescopio se encuentra sobre un montaje que permite graduar su posición respecto de la altura y el azimut, los datos deben incluir el número de grados que el telescopio debe moverse sobre la línea del azimut —es decir, el número de grados de movimiento horizontal con el norte como cero— y el número de grados en que debe moverse en elevación —es decir, en que la "taza" debe oscilar hacia arriba o abajo con el zenit a 90 grados. Después del lanzamiento, los pronósticos orbitales efectuados por la computadora de Los Angeles pueden sufrir ligeras correcciones, hasta el punto de incluir un ajuste de relatividad a grandes distancias, de modo que Jodrell Bank y otras estaciones de rastreo reciben diariamente datos de creciente exactitud sobre la posición de la sonda.

Más o menos después del primer día, el desplazamiento angular de una sonda espacial profunda en el cielo es análogo al de una estrella. Si la tarea de rastreo se efectúa, por ejemplo, sólo 2 o 3 veces por día, aproximadamente durante media hora cada vez, en los intervalos el telescopio puede seguir automáticamente la pista eliminando de su propia posición el efecto de la rotación terrestre. En el período que sigue inmediatamente al lanzamiento, el régimen de movimiento del telescopio es ajustado frecuentemente a mano, a medida que la sonda "trepa" por el cielo occidental. A distancias de unos 80 mil kilómetros, el movimiento de la sonda es ligero. El rastreo puede entonces ejecutarse fácilmente, mediante el empleo de las coordenadas astronómicas de Ascensión y Declinación Recta para controlar la posición del telescopio, pues ello permite compensar la rotación de la tierra, de modo que el instrumento siempre está apuntando al mismo lugar del cielo.

Algunas dificultades. El rastreo no siempre es tarea fácil. Por ejemplo, en el caso del lanzamiento de los soviéticos de una sonda espacial profunda sobre una órbita semi-elíptica que había de llevarla cerca del planeta Venus, muchos factores complicaron el problema. El transmisor de la estación interplanetaria es accionado por estaciones terrestres situadas en la Unión

Soviética y hasta ahora —a lo menos hasta principios de marzo de 1961— no se publicaron detalles sobre los períodos de interrogación. A la frecuencia que se emplea, el telescopio produce un haz de rastreo sumamente delgado, que tiene una anchura de un tercio de grado, lo cual aumenta las dificultades de la operación de rastreo. La estabilidad del receptor, el ancho de banda y el factor de ruido, son elementos que contribuyen a la complejidad del problema. Sin embargo, el 27 de febrero se llegó a la conclusión de que la sonda soviética no era mandada, luego de una búsqueda muy minuciosa que efectuó el telescopio durante 9 horas seguidas sobre la base de las coordenadas computadas por Moscú. Tal conclusión fue confirmada por un anuncio emitido por la agencia Tass el 2 de marzo.

El 17 de febrero se recibieron en Jodrell Bank señales desde una distancia de 1.609.340 kilómetros, pero el observatorio no emitió declaración alguna, pues los científicos no estaban en condiciones de establecer la posición de la sonda en el haz principal del telescopio debido a la corta duración de las señales. Sin embargo, pudo notarse que la potencia de las señales indicada por los lóbulos laterales, superaba con exceso lo que se esperaba, hecho que posteriormente quedó explicado por las fotografías de la estación interplanetaria, las que muestran una antena parabólica que, a 922.8 Mc/s debe tener una ganancia aproximada de 150. No obstante, desde el 17 de febrero hasta el 3 de marzo no se recibieron nuevas señales.

La investigación científica, función primordial. El radiotelescopio de Jodrell Bank fue creado para investigaciones astronómicas fundamentales. Desde que empezó a funcionar a fines de 1957, se han completado más de 13 mil horas de estudio, del cual sólo un 5% ha sido consagrado al rastreo de satélites y sondas espaciales, tanto soviéticos como norteamericanos. Las investigaciones han cubierto una amplia variedad de temas, entre ellos, la ionosfera terrestre, el sistema solar y el espacio interplanetario, la Vía Láctea, las galaxias locales y algunas catástrofes cósmicas producidas hace miles de años.

Un radiotelescopio como el paraboloide de 76,20 metros de Jodrell Bank funciona, en muchos sentidos, en forma análoga a un telescopio reflector óptico. Ello no resulta sorprendente si tenemos en cuenta que las ondas radiales poseen una naturaleza física análoga a la de las ondas luminosas, pero por tener una longitud de onda mucho mayor necesitan un "espejo" mucho más grande en el radiotelescopio. Esencialmente, consiste en una antena altamente direccional y sensible, que capta sus señales desde un área muy reducida del cielo. En el caso del radiotelescopio, el ancho del haz por medios puntos de potencia es de aproximadamente

un grado por metro de longitud de onda, de modo que cuando el telescopio está operando a 2 metros (150 Mc/s) el ancho del haz será de aproximadamente 2 grados, en tanto que a 75 cms. (400 Mc/s) el ancho se reducirá a 0,75 grados. Cuando el Lunik II hizo impacto en la superficie lunar, el ancho del haz era superior a los 10 grados y la luna misma ocupaba sólo 0,5 grados en el cielo.

Una característica importante del radiotelescopio que otros no poseen, es su capacidad para usar el radar. Enviado un impulso de energía a intervalos regulares desde tierra y reflejado frente a un blanco, el eco de retorno puede ser presentado en un tubo de rayos catódicos o registrado en banda fonográfica. A veces, como en el caso del eco devuelto por el planeta Venus en septiembre de 1959, el eco estaba por debajo del nivel del sonido. En tal caso es necesario emplear una técnica de integración para encontrar la señal de retorno; este procedimiento es análogo a una larga exposición sobre una placa fotográfica con el telescopio óptico. El impulso de energía tarda 5 minutos en hacer el viaje Tierra-Venus-Tierra, aun cuando ese planeta se encuentre en su punto de mayor proximidad, a unos 41.842.900 kilómetros.

Una catástrofe cósmica. Dos experimentos de los muchos realizados en Jodrell Bank pueden ilustrar sobre su empleo como receptor pasivo de emisiones radiales, emanadas de las profundidades del espacio. Hasta ahora, la potencia del campo magnético de la Vía Láctea era un problema sujeto a especulaciones, que la calculaban en 10^{-2} a 10^{-6} gauss. Una medición de este campo por observación directa debía ser de inestimable valor para el astrónomo y eso es lo que precisamente se intentó hacer en Jodrell Bank. Desde tiempo atrás se sabía que una onda electromagnética sometida a la influencia de un campo magnético se divide en dos (o más) ondas componentes, una por encima y otra por debajo de la longitud de onda original. Este efecto, conocido como efecto Zeeman, puede mostrarse ópticamente en experimentos de laboratorio, pero se tornan necesarios circuitos electrónicos altamente complejos para detectarlo en longitudes de onda radiales. Hasta ahora las mediciones efectuadas en la línea de frecuencias del hidrógeno no han producido ningún resultado positivo, pero puede deducirse que el campo galáctico es menor de 5×10^{-6} gauss.

El segundo experimento se refiere directamente a la catástrofe cósmica mencionada antes. Desde hace casi 10 años, se sabe que una de las más potentes fuentes radiales que pueden recibirse en la tierra, se debe a un choque producido entre dos galaxias, a muy remota distancia —alrededor de 700 millones de años-luz— y

conocido ahora como Cisne A. Hace tres años, empleando el telescopio de Jodrell Bank, como uno de los brazos de un interferómetro, se iniciaron investigaciones para medir el diámetro angular de unas 300 fuentes radiales, de algunas de las cuales se considera que son similares a Cisne A. Usando una línea de base larga, se estableció que alrededor de 20 fuentes radiales estaban más lejos aún que la ubicada en Cisne A. Esta noción fue sorprendentemente apoyada a mediados de 1960, cuando Rudolf Minkowski, con el telescopio Hale de 5,08 metros, de Monte Palomar, llegó a la conclusión de que una de las tales fuentes, lacónicamente conocida por su número del catálogo de Cambridge como 3C295, o por su posición en el cielo como "1490" (ascensión recta), se encuentra casi a 6.000 millones de años-luz y se aleja de nosotros a casi la mitad de la velocidad de la luz. Estas investigaciones bien pueden proporcionar datos de los que resulte alguna indicación sobre el origen del universo. En la actualidad existen al respecto dos teorías principales: una, postulada por Gamow y Lemaitre, sugiere la primitiva existencia de un átomo que explotó; la otra, apoyada por Hoyle y Bondi, está centrada en torno a una continua creación de galaxias. La primera supone una distribución galáctica de creciente densidad a medida que nos remontamos hacia atrás en el tiempo; la segunda, una distribución de galaxias similar en cualquier período de la existencia del universo. Cuando examinamos esas fuentes remotas, estamos "mirando el tiempo pasado", pues las ondas luminosas y radiales partieron de 3C295 hace 6.000 millones de años, más de la mitad de la edad del universo según Gamow. Un examen detallado de esta época puede por tanto proporcionarnos cierta idea acerca de la distribución de las galaxias y, en consecuencia, cierto mayor vislumbre de una posible respuesta del gran interrogante cosmológico.

Un instrumento único. Son precisamente estas dos propiedades del telescopio, es decir, su capacidad para detectar una señal débil a gran distancia y su utilidad como antena transmisora de escaso ancho de banda, asociadas a su relativa facilidad de operación, lo que indujo a usarlo para el rastreo de sus sondas en el espacio profundo. Hasta que otro país construya un radiotelescopio de dimensiones comparables, el de Jodrell Bank seguirá siendo un instrumento único en este sentido. Cualquiera aventura hasta Venus o Marte, basada sobre la potencia de transmisión de los satélites actuales, exigirá una antena receptora de estas dimensiones si se quiere recibir información adecuada de la sonda. Si bien una antena menor —de, por ejemplo, 25,60 metros— podría recibir datos de una sonda que pasara

cerca de Venus en su conjunción inferior en caso de que tal sonda llevara un transmisor de 150 Watt, mediante este plato de 76,20 metros podría captarse diez veces el mismo volumen de información por segundo. Y cuando Venus pasara de esta posición a una de menor proximidad de la tierra, quedaría rápidamente fuera del alcance de la antena menor. Actualmente hay otros proyectos para la construcción de grandes radiotelescopios. El hemisferio sur contará con uno de 64 metros, cuya construcción será completada en Parkes, Nueva Gales del Sur, Australia, hacia fines de 1961. Estados Unidos ha iniciado en Sugar Grove la erección de un telescopio de 182,88 metros, pero éste no se hallará listo hasta 1964.

La siguiente tabla, sin intentar el catálogo de todos los satélites y sondas espaciales estudiados en Jodrell Bank, presenta las realizaciones más notables de este laboratorio:

Lanzados por Estados Unidos

Pioneer I (octubre 11, 1958)	Rastreado hasta 113.780 kms. (desde ahí volvió a Tierra).
Pioneer III (noviembre 8, 1958)	Rastreado hasta 102.322 kms. (desde ahí volvió a Tierra).
Pioneer IV (marzo 3, 1959)	Rastreado hasta 643.740 kms. (falla de las baterías, ahora gira en torno al sol).
Pioneer V (marzo 11, 1960)	Rastreado hasta 37.014.900 kms. Transmisor mandado diariamente.
Explorer VI (agosto 7, 1959)	En órbita elíptica alrededor de la Tierra. Transmisor mandado desde tierra a intervalos regulares.

Lanzados por la Unión Soviética

Sputnik I (octubre 4, 1957)	Seguida por radar la posición de cohete de transporte.
Sputnik II (noviembre 3, 1957)	Seguida por radar la posición de satélite después de fallar las baterías.
Lunik II (septiembre 12, 1959)	Confirmación del impacto en la Luna.
Lunik III (octubre 4, 1959)	Confirmación de posición orbital.
Estación Interplanetaria (febrero 12, 1961)	Recepción de señales durante corto tiempo.

Frecuentemente se efectúan estudios de rutina con otros satélites, casi siempre por pedido de la Administración Nacional de Aeronáutica y Espacio de los Estados Unidos, para establecer una órbita. Para ello no se emplea el telescopio de 76,20 metros, puesto que todo lo solicitado es la hora exacta de mayor aproximación de tal satélite a Jodrell Bank. Esto puede efectuarse fácilmente mediante un simple dipolo, y el cotejo se efectúa durante dos o tres pasadas. Análogas observaciones pueden hacerse con los satélites terrestres soviéticos, si bien, naturalmente, en el caso de sus sondas espaciales se empleó el "gran plato".

En síntesis, Jodrell Bank efectúa una contribución esencial a la exploración del espacio por el hombre y, toda vez que las características exclusivas de este telescopio son de utilidad, la estación tiene mucho placer en cooperar, sobre todo si tal cooperación puede ser asociada a un programa amplio de investigaciones.