Telecomunicación por satélites
(I)

por **José Delgado Penín**
Profesor Agregado de la ETS
Ingenieros de Telecomunicación de la
UPB

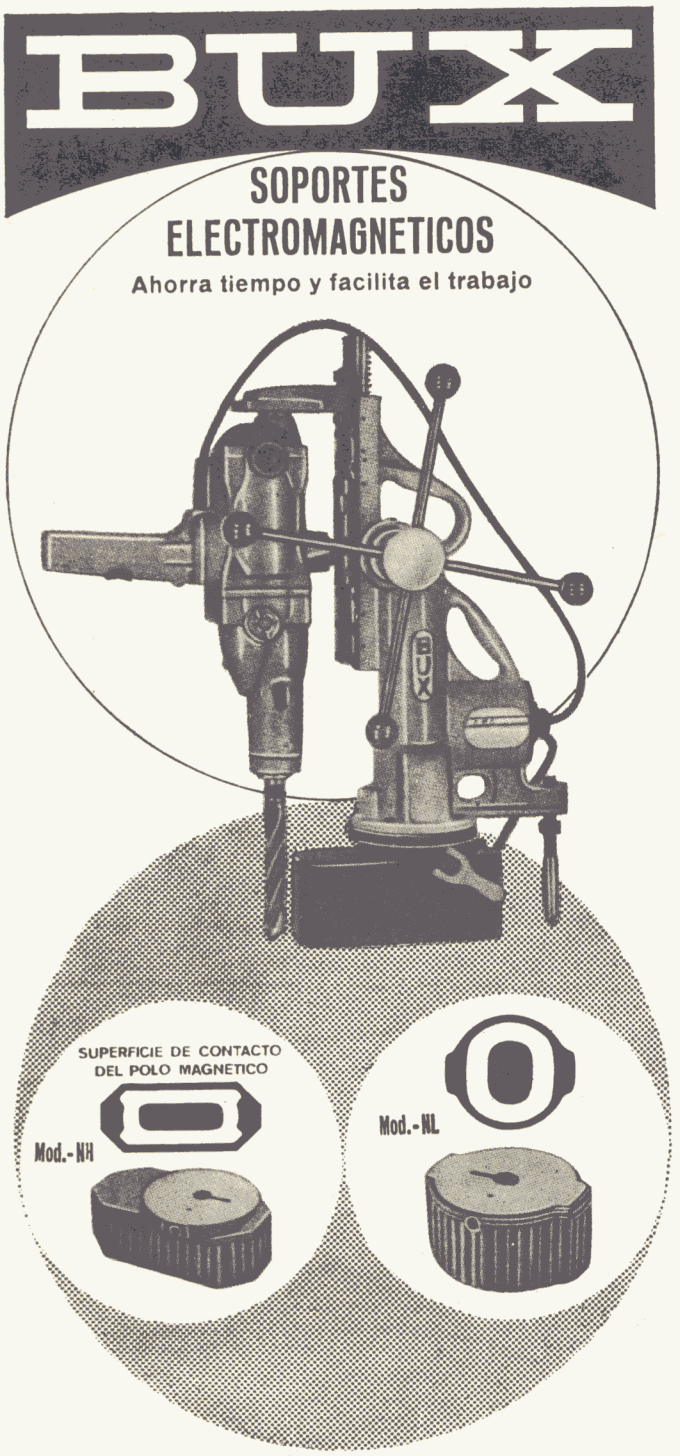
1. INTRODUCCION

Aun cuando el 4 de octubre de 1957 comenzase la que se dio en llamar «era espacial», tenía ya muchos años de vigencia la idea de comunicar con el espacio extraterrestre. Del primer hombre que se tiene noticia haya tratado este tema fue del matemático Karl Friedrich Gauss (1777-1855), que creyó en la existencia de seres inteligentes en otros planetas de nuestro sistema solar y además, que el único medio posible de comunicar con ellos era el lenguaje de los símbolos matemáticos y, llegó a proponer incluso un sistema de símbolos que se dibujarían en la tundra siberiana para que pudieran ser comprendidos por una civilización inteligente. Posteriormente otro astrónomo vienés, Littrow Sittroco, propuso un sistema análogo al de Gauss pero donde aumentaba la información que se podía transmitir a la civilización extraterrestre: los símbolos dibujados en el Sahara se cambiarían durante tres noches seguidas, repitiendo el proceso cada tres días. Esta serie sucesiva de simbolos matemáticos debía ser suficiente para convencer a los habitantes de otros planetas sobre nuestra inteligencia.

Es inútil decir que ninguno de estos proyectos se llevó a la práctica, y que las primeras ideas para utilizar satélites como relevadores radioeléctricos —enlaces radio— nacieron en la mente de Arthur C. Clarke, quien en «Wireless World» en octubre de 1945, comentaba que si los satélites artificiales llegaban a ser realidad, sólo había una órbita posible a 42.000 km. del centro de la Tierra «y si su plano coincide con el del Ecuador terrestre, el satélite girará con la Tierra y permanecerá, por tanto, estacionado sobre el mismo punto del planeta. Deberá estar fijo en el cielo de un hemisferio y, por el contrario de lo que ocurre con otros cuerpos celestes, no tendrá nunca ocaso... Supongamos que en esta órbita se construyera tal estación. Podría proveérsela de un equipo transmisor y receptor y actuar como repetidora de transmisiones entre dos puntos del hemisferio subyacente, utilizando cualquier frecuencia que penetrara la ionosfera... Una estación no podría cubrir más que la mitad del globo, y para asegurar un servicio mundial se necesitarían tres». Esta órbita sugerida por Clarke es la que ahora se conoce con el nombre de "órbita sincrónica".

Las telecomunicaciones usaron durante mucho tiempo servidumbres de transmisión constituidas por conductores que forman los cables submarinos. Cuando aumentó la necesidad de más servicio y en particular la difusión de señales de televisión entre continentes terrestres diferentes se planteó la necesidad de otro medio de transmisión. Esto condujo a la consideración de los relevadores radioeléctricos —enlaces radio— como punto de partida para las telecomunicaciones intercontinentales. La primera dificultad era lo utópico que resultaba erigir torres para el equipo transmisor-receptor visibles desde los respectivos continentes. Sin embargo, un relevador en el espacio ofrece las mismas posibilidades en cuanto a realización que la utópica idea anterior.

El primer estudio sistemático y riguroso sobre la utilización de satélites artificales como relevadores radioeléctricos espaciales nace el año 1955. El principio de la Telecomunicación espacial queda sentado definitivamente: un satélite artificial de la Tierra recibe de una estación terrena una señal radioeléctrica que él a su vez retransmite hacia otra estación terrena



Base electromagnética: redonda o rectangular. La forma especial de los polos magnéticos de ambos tipos garantiza una alta potencia magnética de tracción, incluso taladrando en perfiles estrechos.

MODELO	Broca adaptable ∅(mm)	Capacidad de terrajar ∅	Altura (mm)	Diámetro de la base (mm)	Max. fuerza mag. (Kg)	Max. pres. en la broca(Kg)	Recorrido max. (mm)	Despl. radial	Despl. lateral (mm)
NL2-RP	32	W 7/8"	617	164x182	1250	875	275	330°	30
NH2-RP	32	W 7/8"	617	275x110	1550	1085	275	330°	30

S.I.T. Representante exclusivo para España y Portugal
SUMINISTROS INDUSTRIALES DE TREFILERIA
AVDA. JOSE ANTONIO, 636 - TELF. 231 57 34 - Dtzac. teleg. SITRE - BARCELONA-7

Servicio lectores: Publicidad n.º 32

situada en el otro continente. Este trabajo fue debido al Dr. J. R. Pierce de "Bell Telephone Laboratories" (ver fig. 1).

2 SISTEMAS ESPACIALES

El sistema espacial está formado por los subsistemas satélites de telecomunicación (repetidor) y estaciones terrenas.

Antes de llegar al uso de los satélites artificiales, los ingenieros intentaron resolver los problemas de «reflexión» de las señales radioeléctricas intercontinentales mediante nuestro satélite natural —la Luna— y creando medios artificiales actuantes como capa reflectora. Esta última experiencia en la que dicha capa estaba formada por agujas de cobre lanzadas previamente al espacio, no dio resultado por las dificultades que presentaba para otro tipo de comunicaciones diferentes a las conocidas con el nombre de telecomunicaciones comerciales: telefonía, televisión, transmisión de imágenes fijas y transmisión de datos.

2.1 Satélites artificiales

En diciembre de 1958 los Estados Unidos de América situaban en órbita un satélite que puede considerarse el primero en el campo de las telecomunicaciones. Su nombre fue Score y su vida útil fueron trece

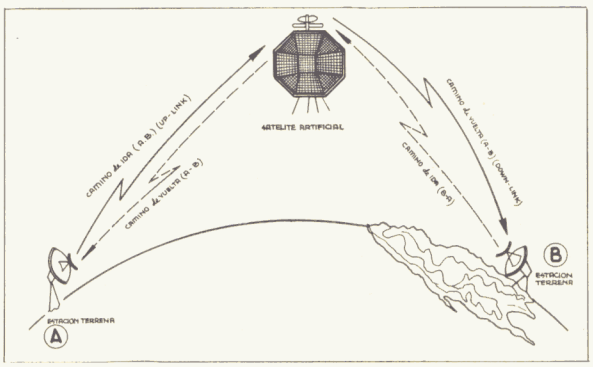


Fig. 1.

meses. Pudo transmitir mensajes grabados en cinta magnetofónica, por lo que no se puede considerar como un relevador propiamente dicho.

Es a partir del año 1960 cuando comienzan a construirse los que serán conocidos técnicamente como «satélites pasivos y activos».

Satélites pasivos

Los satélites pasivos se limitan a reflejar las señales dirigidas a ellos y actúan sólo a modo de ionosfera artificial. Los reflectores pasivos como elevadores fueron interesantes debido a su sencillez. Un reflector pasivo puede usarse por muchas estaciones terrenas simultáneamente. Esta ventaja queda muy rebajada cuando se consideraban estaciones muy alejadas y el número de conversaciones telefónicas era grande. El primer satélite fue el Echo-1 puesto en órbita por la N.A.S.A. el 12 de agosto de 1960. Era un cuerpo esférico de 30 metros de diámetro que giraba en torno a la Tierra en una altura aproximada de 1.440 km. Esta altura y el diámetro de la esfera —constituida por tres capas, de aluminio, mylar y aluminio— que dejó de ser constante, produjeron una gran dispersión en la señal que reflejaba, lo que dejó el satélite inservible. El último de este proyecto Echo-2 tenía un diámero de 41 metros. A diferencia del anterior, conservó su forma regular esférica incluso cuando perdió presión, por lo que sus características reflectoras de radiofrecuencia permanecieron

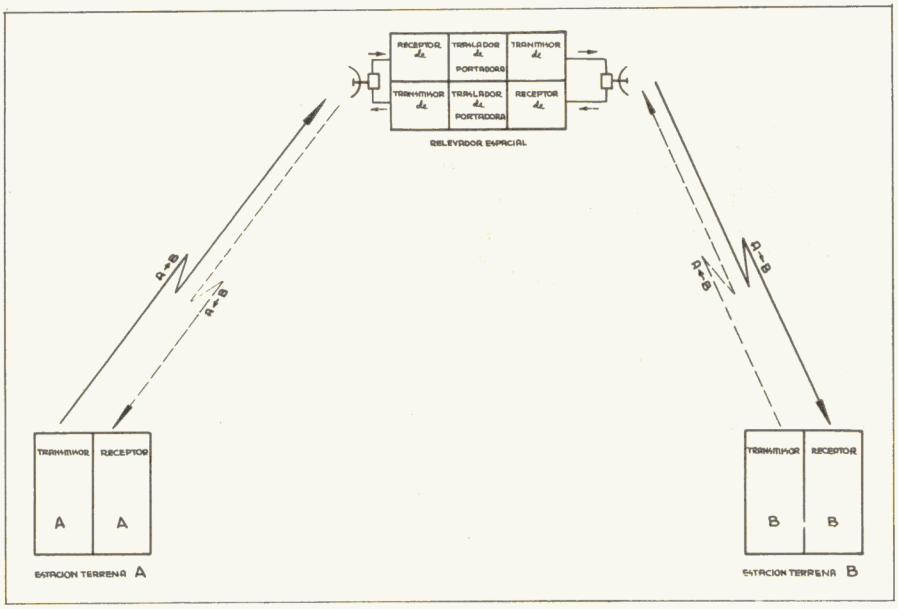


Fig. 2. — Diagrama de principio del sistema espacial.

estables durante mucho tiempo. Este tipo de satélites fueron abandonados definitivamente cuando la tecnología de las telecomunicaciones —optimización de potencia que se transmite, frecuencias que se usan y potecia que se recibe— pudo producir satélites activos y la tecnología balística construyó cohetes de mayor empuje.

Satélites activos para un destino único

Estos satélites son relevadores que reciben señales radioeléctricas procedentes de una estación terrena, cambian la frecuencia de las señales recibidas y las retransmiten a otra estación terrena diferente. Pueden funcionar en ambos sentidos de transmisión. transmitir desde A hacia B y viceversa.

Un satélite que forma el repetidor del enlace radio espacial con estas características recibe el nombre de "satélite con destino o acceso únicos" (fig. 2).

El primer satélite activo de telecomunicaciones fue denominado Telstar-1 y colocado en órbita el 10 de julio de 1962. A las pocas horas del lanzamiento se transmitieron conversaciones telefónicas, imágenes de televisión y telefotografía usando un relevador de banda ancha con una portadora de microondas. Pocos días después se iniciaron las transmisiones desde U.S.A. a estaciones terrenas situadas en Europa, con-

SCHMERSAL

FINAL DE CARRERA DE PRECISION
Serie 330 (Din 43.694)

SCHMERSAL, además de los famosos programadores de malla, suministra la más extensa gama de interruptores final de carrera, desde el microrruptor miniatura (con contactos autolimpiantes y 30 millones de maniobras), hasta el final de carrera tripolar, para cargas directas trifásicas de 60 A permanentes, a 500 V C.A. (previsto para corrientes de punta de hasta 360 A a la conexión).
Centenares de tipos distintos, muchos de ellos con particularidades únicas, contactos programables, de impulso, resistentes a —40 ...+200 °C, antiexplosivos, magnéticos, etc., etc., y muchos de ellos en entrega inmediata.
Para aquellos casos en que es imperativa una fiabilidad profesional a toda prueba, y también en aquellos casos en que el elevado número de maniobras exige un material de absoluta primera calidad, y donde el precio "por millón de maniobras" lo hacen mucho más económico que los demás
Para aquellos casos en que un paro de producción significa más que una pequeña diferencia de precio. Y también cuando una producción industrial merece materiales de primera calidad a precio justo.

SCHMERSAL MATERIAL CIEN POR CIEN PROFESIONAL

Representante:
FORN-VALLS
C./ Milanesado, 2, Tda. - Teléfonos 203 41 33 - 204 05 44
Dirección telegráfica: FORNTEKNIK Telex: 52491 - Forn - E BARCELONA-17

cretamente a Plemeur-Bodou en Francia y Goonhilly en Gran Bretaña. Fue el comienzo de las telecomunicaciones por satélite La vida útil del primer satélite del proyecto Telstar fue de siete meses, girando en torno a la Tierra en un apogeo de 6.140 km. y un perigeo de 960 km.

Poco tiempo después, el 7 de mayo de 1963, era lanzado el Telstar-2 que usaba una órbita más excéntrica que el anterior de la serie. Las frecuencias portadoras en las transmisiones Tierra-satélite y satélite-Tierra eran 6.390 y 4.170 HHz, respectivamente. La potencia de salida de los transmisores que se usaron en todo el proyecto fue del orden de 2 vatios en ambos. Estos dos satélites no sólo permitieron ganar gran experiencia en el campo de las microondas —equipo de comunicaciones— sino que realizaron asimismo experimentos sobre radiaciones y daños causados al equipo electrónico. El diagrama funcional —de bloques— de este tipo de relevadores espaciales para la transmisión telefónica o de televisión se muestra en la figura 3.

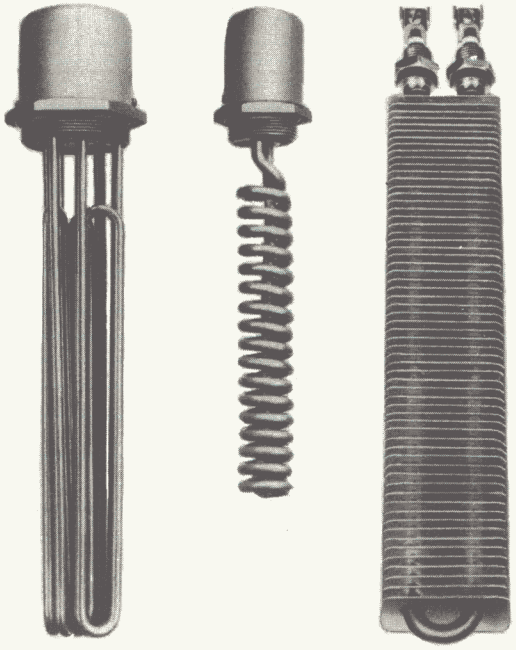
La señal que se formaba con las conversaciones de los diferentes abonados (banda de base) en la estación terrena A se transmitía hacia el satélite modulando en frecuencia una portadora situada en la región espectral de las microondas .Esta señal modulada era tratada por el receptor para la señal procedente de A y convertida en otra señal cuya frecuencia portadora era más baja —4.170 MHz—. El proceso inverso de transmitir desde B hasta A consistió en un tratamiento de la señal, análogo. La diferencia radicaba en las frecuencias portadoras de entrada y salida; Tierra-satélite en la banda 5.930 a 6.155 MHz y para el trayecto satélite-Tierra en la banda 3.970 a 4.195 MHz.

Al proyecto "Telstar" le siguió el conocido con el nombre de "Relay". Este proyecto llegó a realizarse el año 1963. Las características eléctricas de este sistema espacial mejoraron, a la par que la tecnología usada esto se tradujo en una mejora pronunciada de la potencia de salida de los dos satélites de que constó el proyecto: 10 vatios. Las órbitas que usaban estos satélites seguían siendo bajas —apogeo de 7.420 km.—y por consiguiente con problemas de interrupción de la señal después de un cierto tiempo de comunicación.

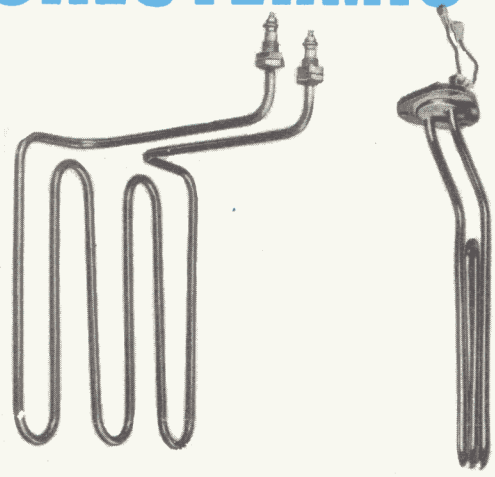
La tecnología balística permitió que el 14 de febrero de 1963 la N.A.S.A. lanzase el primer satélite que iba a tener una órbita prevista por Clarke: la órbita sincrónica. La fortuna quiso que el pionero de los satélites más rentables económicamente quedase fuera de servicio al cabo de 20 segundos. El 26 de julio de 1963 le siguió el Symcon II que fue el primer satélite sincrónico de explotación mundial. Este satélite permitió un tráfico de los más diversos tipos —telefonía en ambos sentidos, telegrafía y telecopia entre U.S.A. y Africa, y U.S.A. y Europa. El 19 de agosto de 1964 concluía el proyecto Symcon con el lanzamiento del tercer modelo, que permitió la retransmisión de los juegos olímpicos de Tokio. Se concluia así la demostración de la viabilidad de las órbitas sincrónicas y la posibilidad de un aumento de vida —seis años— en los satélites que llevaban los relevadores.

Los tres proyectos que se realizaron para acceso único hasta 1964 desembocaron en una toma de conciencia del problema de la explotación de las telecomunicaciones a gran distancia. Esta razón motivó la creación de dos corporaciones internacionales dedicadas a las telecomunicaciones por satélite: la una capitaneada por U.S.A. y la otra por la U.R.S.S. Cada una de ellas creó un proyecto: "Intelsat" por parte del

RESISTENCIAS ELECTRICAS BLINDADAS



CALOTERMIC®



Para toda clase de usos industriales

facsa

Porvenir, 10
Tels. 228 97 30
227 49 01

Fábrica en AIGUAFREDA (Barcelona)

Servicio lectores: Publicidad n.º 35

TABLA 1

	N.º de canales	24	60	96	132	192	252	432	612	792	972	1876	T.V.
Haz	Anchura de banda (MHz)	2,6	5	7,5	10		15	25			36		30
Global	Potencia (Watts) transmda.	30	60	90	115		190	320			1050		630
Haz	Anchura de banda (MHz)		2,5		5	7,5	10	15	20	25		36	
Spot	Potencia (Watts) transmda.		164		246	296	347	690	1060	1430		7200	

grupo cuya cabeza era U.S.A. y «Orbita» por parte de la U.R.S.S.

El resultado del proyecto Intelsat-1 será el satélite conocido con el nombre de «Pájaro del Alba», puesto en órbita casi sincrónicamente el 6 de abril de 1965. Desde el punto de vista comercial, puede considerarse el primer satélite de telecomunicaciones. Las frecuencias de trabajo estaban situadas alrededor de los 6 gigahertzios para la transmisión y 4 gigahertzios para la recepción. Podía transmitir 240 circuitos telefónicos o dos canales video de calidad media. Las estaciones terrenas conectadas al satélite en este sistema espacial fueron cinco —Andover (U.S.A.), Goonhilly Downs (G.B.), Plemeur-Bodou (Fr.), Raisting (Al.) y Fucino (It.) como estación de reserva.

El sistema Orbita nace como realización del proyecto Molniya-1. El primer satélite fue lanzado el 23 de abril de 1965 y colocado en una órbita elíptica muy excéntrica. En principio realizaba la unión de dos puntos situados a 7.000 km. de distancia en territorio soviético. Por primera vez se batía el primado de potencia de salida de un satélite de telecomunicación: 40 vatios. Podía retransmitir televisión, telefonía multicanal, telegrafía y telecopia usando portadoras de 800 y 1.000 MHz, respectivamente.

La diferencia de ambos sistemas se refleja en sus características eléctricas que no son más que una primera conclusión del diferente cubrimiento radioeléctrico de la superficie terrestre.

El sistema Intelsat con la órbita sincrónica sólo necesita tres satélites activos. Figura 4.

Cada satélite está colocado sobre el Ecuador, a 35.680 km. de altura. Se mueven en dirección Este, a la misma velocidad aparente que la Tierra, por lo que parecen hallarse fijos en el cielo. Sólo quedan sin cubrir por este sistema pequeñas zonas en el Polo Norte y en el Polo Sur. El sistema Orbita con sus satélites de 40.000 km de apogeo y 500 km. de perigeo está diseñado para poder conectar del orden de 40 estaciones terrenas de características diferentes a las del sistema Intelsat.

Satélites activos para destinos múltiples

La primera organización que puso en órbita un satélite de este tipo fue «Intelsat». No llegó a funcionar. En el año 1967 se inició la serie **Intelsat II**. Las mejoras que ofrecían estos satélites en cuanto a los relevadores que llevaban embarcados eran sustanciales: el cubrimiento radioeléctrico para el satélite colocado sobre el Atlántico se extendía no sólo al hemisferio Norte sino también al Sur y además permitían el acceso simultáneo de todas las estaciones terrenas visibles desde el satélite siempre que los relevadores fuesen diseñados para el número máximo de posibles estaciones que los podían usar.

La capacidad de circuitos (240) permaneció inmutable. Durante el año 1967 se pusieron en órbita sincrónica ecuatorial los modelos que recibieron el nombre de: F-2, F-3 y F-4. Con ellos se cubrió las áreas de los océanos Pacífico y Atlántico respecivamente.

La tercera generación de satélites del proyecto **Intelsat-III** comenzó en 1968 y concluyó en 1971. Esta serie estuvo formada por los modelos F-1 al F-6. Desde el punto de vista del tráfico telefónico se aumentó la capacidad de circuitos desde 240 a 1200. Este aumento de tráfico llevó aparejada la creación de más terminales del segmento espacial en Tierra, es decir,

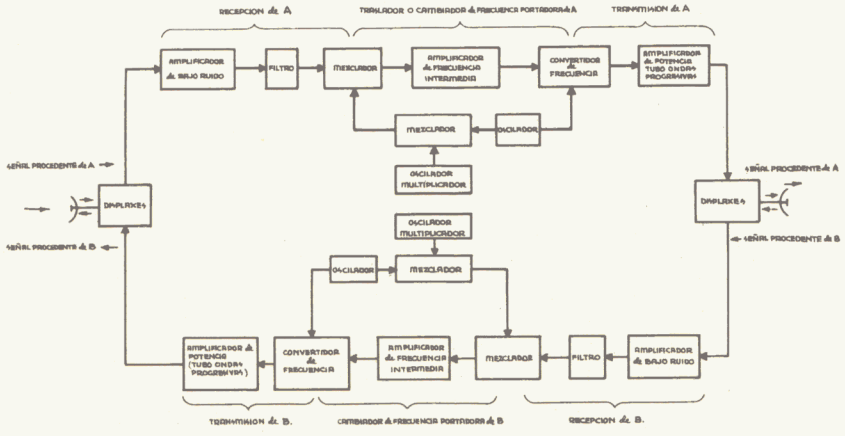


Fig. 3. — Relevador espacial para destino único.

nuevas estaciones terrenas. El crecimiento en capacidad por un factor cinco (240 × 5 = 1200 circuitos) tuvo su fundamento en dos causas:

1) La parte receptora del repetidor espacial tenía una anchura de banda que era diez veces la de los primeros satélites sincrónicos — 50 MHz. — experimentales ,es decir, 500 MHz.

2) El subsistema de antenas que llevaban estos satélites permitía dirigir hacia la Tierra prácticamente toda la potencia de la señal que se transmite desde el satélite. En los satélites de los proyectos anteriores sólo llegaba a Tierra una pequeña parte de esta potencia.

En 1971 nacieron los que pueden llamarse cuarta generación de satélites de telecomunicación. En efecto, en Enero de 1971 fue colocado en órbita sincrónica sobre el océano Atlántico el que sería conocido como **Intelsat-IV-F-1**, siendo operativo desde el mes de Marzo de 1971.

Las características eléctricas más interesantes están relacionadas con su gran capacidad de tráfico —9000 circuitos telefónicos— y su vida útil calculada en siete años como mínimo .El subsistema de antenas de haz ancho y haz estrecho permiten dirigir a a las estaciones terrenas prácticamente toda la potencia de la señal procedente de doce repetidores de los cuales once tratan portadoras moduladas en frecuencia con capacidades de tráfico diferentes según la estación terrena. En la tabla 1 se refleja el número de circuitos telefónicos que puede manejar cada repetidor junto con la potencia transmitida —variable según el tipo de antena de que se trate— por el satélite a Tierra.

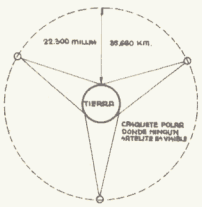


Fig. 4

Las doce portadoras —once de telefonía y una para televisión— se sitúan en el aspecto de microondas en el margen comprendido entre 5930 MHz y 6420 MHz.

La mayor parte del equipo electrónico va montado en un disco en la parte superior del satélite al igual que el subsistema de antenas de transmisión, recepción y telemetría/telemando. Todo lo anterior puede girar con relación al cuerpo del satélite para así mantener las seis antenas de comunicaciones constantemente apuntadas hacia la Tierra. El cuerpo giratorio incluye las células solares, el motor de apogeo —que deja de funcionar cuando se logra la órbita sincrónica—, el combustible, los cohetes de corrección de órbita y orientación, y las baterías que aseguran el servicio mientras el satélite se encuentra en una zona en la que no recibe luz solar. En la fig. 5 puede verse el modelo **Intelsat IV**.

2.2 **Estaciones terrenas**

Las estaciones terrenas son los terminales del sistema espacial. Sus características técnicas son mejores que las de aquellas que poseen las estaciones terrestres —estaciones finales de los reveladores radioeléctricos o enlaces radio— de microondas. En particular requieren antenas de gran ganancia y, por tanto, de grandes dimensiones, potencias de transmisión, receptores de bajo nivel de ruido —amplificadores paramétricos— y demoduladores de extensión de umbral.

Además, la antena —tipo Cassegrain— exige como consecuencia de su ganancia y de la necesidad de seguir al satélite relevador, facilidades de movimiento y precisión en el apuntamiento de la cosmo-

A. ESTIARTE

FABRICACION DE INSTRUMENTOS DE PRECISION PARA MEDIDA Y CONTROL DE FLUIDOS

OFICINAS: Teodora Lamadrid, 33 - Tels. 247 7468 - 211 71 00
BARCELONA-6 (ESPAÑA)

- El obtener un aparato de la más alta calidad, ha sido nuestro objetivo.
- Nuestros termómetros son a dilatación de mercurio, lo que garantiza la máxima exactitud en su lectura.
- Las normas de fabricación de nuestros instrumentos corresponden a las internacionales DIN.
- Se ofrecen las mayores garantías de perfección, exactitud y seguridad en nuestros instrumentos.
- Nuestra gama de fabricados se amplía con Hidrómetros, Vacuómetros, Mano-Vacuómetros, Ventómetros, Deprimómetros, así como Manómetros tipo PATRON.
- También somos fabricantes de Manómetros para amoníaco (NH_3). con baño de glicerina, perfilados, con contactos eléctricos y de MEMBRANA.

Para mayor información solicite nuestro catálogo general.

Servicio lectores: Publicidad n.º 36

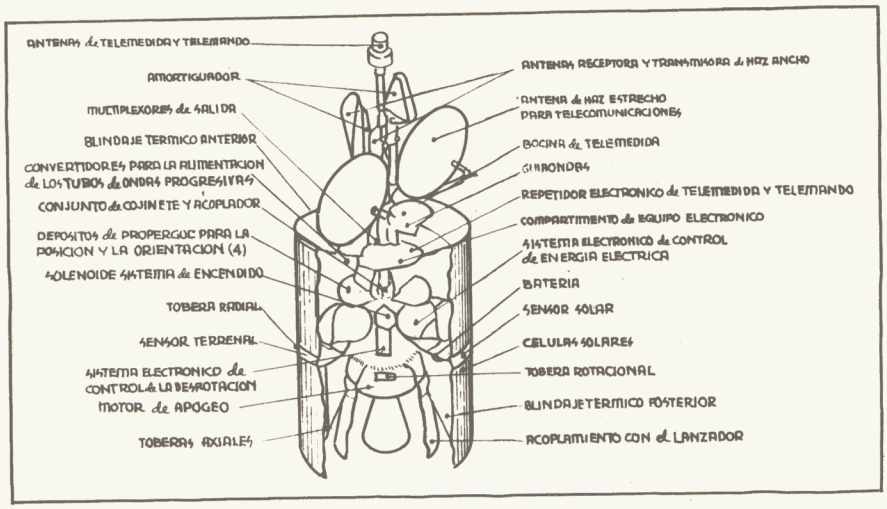


Fig. 5

nave a 41.000 km. de distancia. Esto requiere un receptor de rastreo que compare la dirección del satélite con la del eje de la antena y proporcione señales adecuadas a los servomecanismos que gobiernan la antena.

Una estación terrena estandar como la que se indica en el diagrama funcional representado en la figura 6, está formada por cuatro bloques principales: Edificio de antena, Pedestal de antena, Cono de alimentación y sala de control. Este modelo de estación lo poseen todas las administraciones que están incluidas en la actualidad en el consorcio Intelsat —ochenta aproximadamente— y que desean usar los satélites del tipo Intelsat-III o Intelsat-IV para comunicarse entre ellas. En el Edificio de antena del que forma parte el Pedestal se encuentra todo lo que afecta a la transmisión en tecnología de microondas: los diplexores, amplificadores de potencia (6 kilovatios de salida) y los excitadores de los amplificadores de potencia. El acceso de la información a transmitir, a este bloque, se realiza a través de un cable coaxial que une la Sala de control y el Edificio de antena. En la parte correspondiente al Pedestal de antena se encuentran los equipos de servosistemas y los motores de potencia de corriente contínua; un monitor situado en la Sala de control verifica los movimientos de la antena.

El Cono de alimentación comprende los receptores de comunicación y los de rastreo o seguimiento. El primero de los receptores se compone de un amplificador de bajo ruido, una etapa de heterodinación (conversión y oscilación local) que permite pasar a una primera frecuencia intermedia de 375 MHz. Un paso posterior de conversión reduce la frecuencia intermedia a 70 MHz —frecuencia convencional de uso en los relevadores terrestres de gran capacidad— para poder transmitirse por cable coaxial a la Sala de control. El receptor de rastreo procesa una señal de frecuencia fija procedente de un radiofaro que lleva incorporado el satélite y del que se obtiene la información para controlar los servosistemas de la antena, de 26 a 30 metros de diámetro —antena Cassegrain— En la Sala de control se encuentran además de los bastidores del receptor de rastreo y la consola de control, equipos análogos a los que se pueden ver en cualquier estación terminal de un relevador terrestre de gran capacidad: equipos de modulación, múltiplex y equipos de demodulación Figura 6. ■

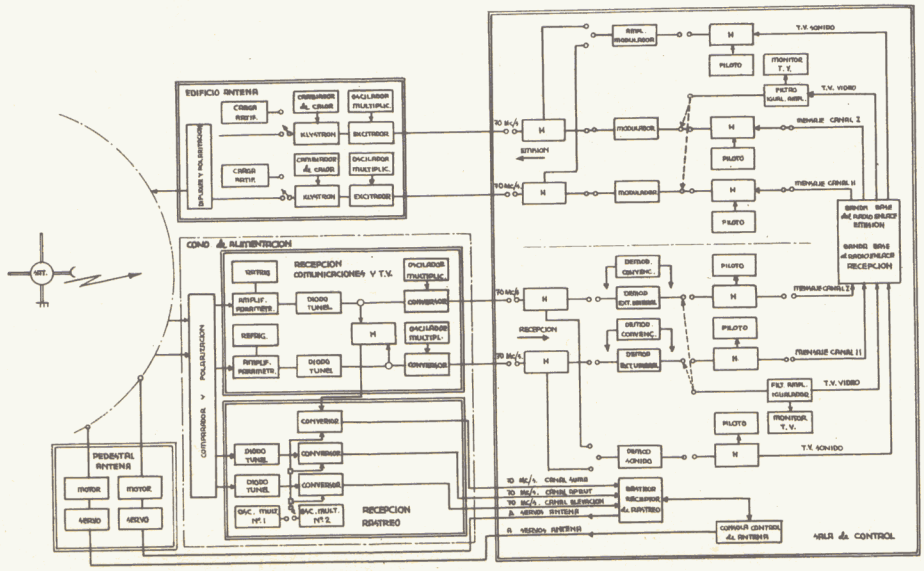


Fig. 6

Servicio lectores: Publicidad n.º 37 →