

ENCICLOPEDIA PRACTICA DE LA

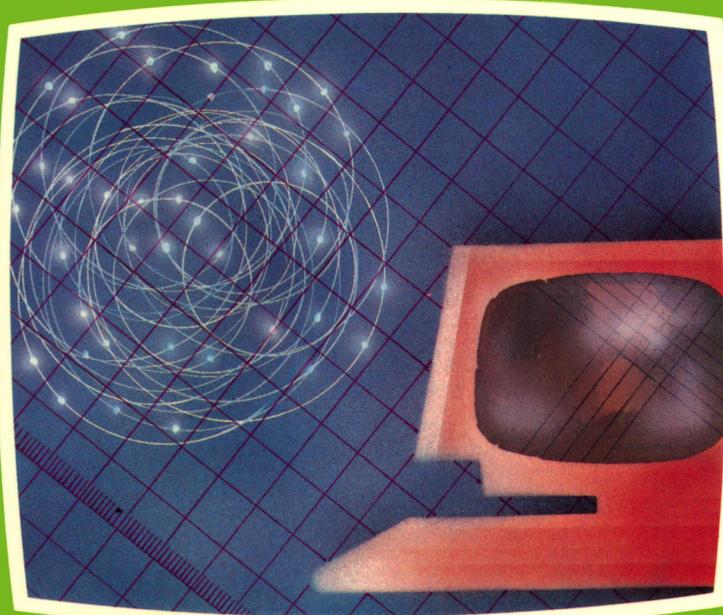
INFORMATICA

APLICADA

19

El ordenador y la Astronomía

Joan Genebriera Climente



EDICIONES SIGLO CULTURAL

ENCICLOPEDIA PRACTICA DE LA

INFORMATICA

APLICADA

19

El ordenador
y la
Astronomía

EDICIONES SIGLO CULTURAL

Una publicación de

EDICIONES SIGLO CULTURAL, S.A.

Director-editor:

RICARDO ESPAÑOL CRESPO.

Gerente:

ANTONIO G. CUERPO.

Directora de producción:

MARIA LUISA SUAREZ PEREZ.

Directores de la colección:

MANUEL ALFONSECA, Doctor Ingeniero de Telecomunicación
y Licenciado en Informática
JOSE ARTECHE, Ingeniero de Telecomunicación

Diseño y maquetación:

BRAVO-LOFISH.

Dibujos:

JOSE OCHOA Y ANTONIO PERERA.

JOAN GENE Briera CLIMENTE, Vicepresidente del Institut d'Estudis As-
trofísics, profesor del Museu de la Ciència de Barcelona.

Ediciones Siglo Cultural, S.A.

Dirección, redacción y administración:

Sor Angela de la Cruz, 24-7.º G. Teléf. 279 40 36. 28020 Madrid.

Publicidad:

Gofar Publicidad, S.A. Benito de Castro, 12 bis. 28028 Madrid.

Distribución en España:

COEDIS, S.A. Valencia, 245. Teléf. 215 70 97. 08007 Barcelona.
Delegación en Madrid: Serrano, 165. Teléf. 411 11 48.

Distribución en Ecuador: Muñoz Hnos.

Distribución en Perú: **DISELPESA.**

Distribución en Chile: Alfa Ltda.

Importador exclusivo Cono Sur:

CADE, S.R.L. Pasaje Sud América. 1532. Teléf.: 21 24 64.
Buenos Aires - 1.290. Argentina.

Todos los derechos reservados. Este libro no puede ser, en parte o
totalmente, reproducido, memorizado en sistemas de archivo, o
transmitido en cualquier forma o medio, electrónico, mecánico, fotocopia
o cualquier otro, sin la previa autorización del editor.

ISBN del tomo: 84-7688-062-6

ISBN de la obra: 84-7688-018-9.

Fotocomposición:

ARTECOMP, S.A. Albarracín, 50. 28037 Madrid.

Imprime:

MATEU CROMO. Pinto (Madrid).

© Ediciones Siglo Cultural, S. A., 1986

Depósito legal: M. 4.947-1987

Printed in Spain - Impreso en España.

Suscripciones y números atrasados:

Ediciones Siglo Cultural, S.A.

Sor Angela de la Cruz, 24-7.º G. Teléf. 279 40 36. 28020 Madrid

Marzo, 1987

P.V.P. Canarias: 365,-

I N D I C E

1	Propósito del libro	5
2	Resumen histórico	7
3	Días julianos	11
4	¿Qué altura tienen las montañas y cráteres lunares?	15
5	La hora de las estrellas	25
6	Posición de los astros en la esfera celeste	29
7	Cúmulos de estrellas	37
8	Telescopios	45
9	Bits en el espacio	55
10	Las sondas espaciales	67
11	Posición de las lunas de Júpiter	95
12	Control de telescopios	99
	Apéndice A	107
	Apéndice B	111

Los programas que aparecen en este libro funcionan en los ordenadores:

IBM-PC, XT, AT y compatibles.

AMSTRAD-464, 664, 6128, 1512.

SINCLAIR-SPECTRUM 48 K, 128 K, PLUS, PLUS 2.

MSX-Todos los modelos.

COMMODORE-CBM 64 y CBM 128.

PROPOSITO DEL LIBRO



E

L tratamiento formal de este tema es complejo y presupone unos conocimientos y una base que escapan, en principio, al objetivo de esta obra. La idea general del libro es la introducción al lector en algunos de los campos donde se aplica la informática en la moderna Astronomía, intentando conseguir que el aficionado al manejo del ordenador se interese al mismo tiempo por la ciencia.

Esta visión computerizada del tema está tomada teniendo en cuenta la participación amateur. Las diferencias actuales entre amateurs y profesionales de la Astronomía son en muchos campos sólo cuantitativos, los dos emplean fotómetros fotoeléctricos, telescopios controlados por ordenadores, programas reductores de datos, etcétera, pero el diámetro de sus telescopios se mide en centímetros en un caso y en metros en el otro. Nos hallamos ante una ciencia donde los amateurs no son solamente reconocidos, sino que poseen parcelas de investigación prácticamente reservadas para ellos, en función del instrumental utilizado y en donde es posible contribuir positivamente a su avance.

La primera intención del libro es, sin duda, dar a conocer una serie de programas sobre temas astronómicos, aunque la doble finalidad es promover a la observación y a la experimentación con los medios que actualmente nos ofrecen los microordenadores personales. La evolución de estos últimos es espectacular, la potencia de cálculo y las posibilidades actuales de los «micros» supera a la de los ordenadores comerciales de los años sesenta.

En lugar de acudir a la fácil solución de los programas astronómicos muy simplificados, se ha preferido exponer con rigor científico, pero al mismo tiempo divulgativo, algunas de las leyes físicas que intervienen en la Astronomía y la Astronáutica, sin el conocimiento de las cuales, la resolución de los problemas no pasa de ser algo meramente testimonial.

Estas dos ciencias avanzan tan unidas, que el progreso técnico en la se-

gunda provoca avances gigantescos en la primera y el vínculo que las une es precisamente la Informática. Los millones de datos recogidos por las máquinas desde la Tierra o desde el espacio tardarían siglos en poder analizarse de no contar con la velocidad de los ordenadores, que manejan infinidad de datos en un tiempo mínimo y son capaces de traducir sus cálculos a simulaciones visuales, fácilmente interpretables.

Se ha intentado en todo momento conservar el tono ameno, aunque la parte de la Astronomía que se ocupa del cálculo es, quizá, la más árida para muchas personas no excesivamente familiarizadas con el tema, pero, en cualquier caso, posee el interés que siempre despierta la contemplación de la Naturaleza.

El lector podrá encontrar en el libro los siguientes temas:

Dos programas para la determinación del cálculo horario (días julianos, hora sideral).

Dos programas en áreas donde es posible la participación observacional (alturas lunares, satélites de Júpiter).

Un programa gráfico de simulación de un cúmulo globular (cúmulos de estrellas).

Un programa clásico de Astronomía de posición (conservación de coordenadas).

Un programa de interés para el posible constructor de telescopios (telescopios).

Se incluye también una monografía sobre la Astronáutica no tripulada (bits en el espacio), automatización de telescopios y apéndices sobre fotografía astronómica y bibliografía recomendada.

Quisiera agradecer a todos los amigos que, directa o indirectamente, me han ayudado a estrenarme en la confección de una obra mucho más larga de lo que yo tenía por costumbre, proporcionándome información y ánimo.

Mi reconocimiento también a la dirección de INTA/NASA en Madrid y al personal de la estación espacial de Robledo, que mostraron en todo momento su comprensión y apoyo, facilitándome el acceso a sus instalaciones durante todo un día, inolvidable para un amateur.



ABLAR de ordenadores en la Astronomía es casi lo mismo, hoy en día, que relacionar la llave inglesa con la mecánica. Tan grande es el vínculo que une a ambos, que resulta difícil su separación.

A lo largo de la Historia, el hombre ha intentado conocer el mundo que le rodea gracias a dos hechos fundamentales: primero, dispone de un cerebro que le permite enlazar ideas complejas dentro de unas pautas de conducta que permiten un intercambio de información y experiencia; segundo, nuestras extremidades superiores poseen unos mecanismos prensores (manos) con una configuración muy especial (dedo pulgar) que nos permite crear tecnología. Con esta tecnología, que sustituye nuestros limitados sentidos, exploramos lo que nos envuelve e intentamos comprender las leyes que rigen el Universo.

Desde muy antiguo se ha intentado representar el movimiento de los astros con instrumentos que permitieran su orientación. Así, los primeros vestigios arqueológicos de naturaleza científica están relacionados con la Astronomía. La aplicación más importante de esta ciencia era, en aquellos días, la determinación del tiempo. Primero se emplearon como referencias el propio Sol y la Luna, y después, a medida que crecía la demanda de una mayor exactitud, los relojes mecánicos, eléctricos y electrónicos.

Los precursores del cálculo mecánico fueron Pascal y Babbage. Este último, en 1883, realizó los primeros proyectos de máquinas calculadoras funcionalmente semejantes a los actuales ordenadores. Uno de sus proyectos era una calculadora para análisis que, en teoría, podía realizar diferentes secuencias de cálculo, es decir, programas. Para este menester, debía estar dotada de una memoria, dispositivos de entrada y salida y una unidad aritmética y lógica. Sin embargo, no pasó de ser un proyecto y esta máquina no llegó a funcionar.

Los complejos y extremadamente extensos problemas que plantea la As-

tronomía de posición, la Astrofísica y la Astronáutica, precisan métodos de cálculo que liberen a los científicos de tediosas horas invertidas para resolver largas cadenas de logaritmos. Así pues, no podemos hablar de verdaderos ordenadores hasta el ENIAC; esta máquina fue completada en 1946 para el desarrollo de la U. S. Army, en la Universidad de Pennsylvania por Eckert y Mauchly. ENIAC era mil veces más rápido que todos sus predecesores. Empleaba circuitos electrónicos con tubos de vacío (popularmente lámparas), que eliminaban la necesidad de partes móviles, al mismo tiempo se adaptaba perfectamente a esta nueva tecnología la lógica binaria (Si/No = 1/0).

Durante 1948, para resolver un problema de Física nuclear de nueve millones de pasos, la máquina empleó ciento cincuenta horas; el mismo problema resuelto por un matemático provisto de lápiz y papel hubiera requerido mil quinientos años.

El descubrimiento en la Bell Telephone del primer elemento amplificador de estado sólido, el transistor, basado en las propiedades de los semiconductores (germanio, silicio), creó una verdadera revolución en la tecnología electrónica. Los sistemas electrónicos podían ser más pequeños, más sólidos y de robustez envidiable. El consumo de energía necesario para activar y mantener un circuito basado en semiconductores es muchísimo menor que el indispensable para los tubos de vacío.

La física del estado sólido ha dado un paso de gigante desde entonces; los actuales circuitos integrados (agrupación de componentes para un fin específico), están compuestos de decenas de circuitos dentro de un espacio mínimo a unos precios muy bajos. Puede decirse que las posibilidades del diseñador electrónico son casi infinitas, limitadas sólo por su capacidad de imaginación. En los actuales ordenadores es difícil encontrar transistores y otros componentes discretos, si es que no forman parte de las complejas fuentes de potencia, que alimentan con voltajes continuos y estrechamente precisos los circuitos lógicos de la máquina. La densidad en la integración de circuitos es tan elevada, que se precisan dispositivos especiales para refrigerar y expulsar el calor creado en el silicio (TCM).

La investigación astronáutica ha sido una causa determinante para desarrollar más y mejor software y hardware (programación, análisis y tecnología del ordenador). La resolución de los cálculos astrodinámicos necesarios para la exploración espacial, la corrección de órbitas, la miniaturización de los componentes, necesitaban el soporte de nuevas generaciones de ordenadores. Actualmente son parte importantísima en el funcionamiento diario de un moderno observatorio astronómico. Los telescopios se dirigen automáticamente hacia un punto determinado del firmamento gracias al control y gobierno de motores y decodificadores, que informan al ordenador mientras éste va compensando el movimiento de rotación de la Tierra, al mismo tiempo que tiene en cuenta una docena más de factores que afectan a la posición de un astro.

En el foco de estos instrumentos no se encuentran, como antaño, ojos humanos, sino tubos de imagen o dispositivos muy sensibles (como el CCD) que «ven» el mensaje enviado por las estrellas. La señal, en su forma analógica (variaciones simples de voltaje), es convertida en una información digital, por medio de sistemas modulares de adquisición de datos (CAMAC).

Cuando la luz debe ser analizada en más de una longitud de onda, sistemas de filtraje óptico se alternan en la fotometría fotoeléctrica, en donde un solo fotón (corpúsculo de luz) puede producir una avalancha de electrones medibles en un instrumento. Finalmente, todos los datos son procesados, conformados y analizados, una y otra vez hasta hacer inteligible el mensaje que envió una lejana galaxia hace millones de años.

La introducción en nuestro país del llamado ordenador personal fue lenta al principio. Las personas que, a mediados de los setenta poseían un «micro» de Radio Shack (TSR-80) o un Apple, eran más bien escasas. Los primeros ordenadores PET hicieron que más de uno de nosotros nos interesáramos por el lenguaje de programación más popular y extendido: el Basic. La posterior llegada, sobre un terreno ya abonado para el interés informático del Z-80 Sinclair, propició una expansión sin precedentes.

Esta euforia no puede considerarse siempre positiva, puesto que son bastantes los jóvenes que sólo ven en el ordenador un compañero de juegos. El ordenador es un excelente remedio para melancólicos y solitarios *adultos*, aunque es preferible emplearlo como lo que en realidad es: una herramienta, la herramienta más poderosa que ha creado la mente humana.



El concepto de tiempo y su medición tiene una importancia capital en Astronomía, no en vano las primeras mediciones derivan de la observación directa de fenómenos astronómicos, como la rotación del planeta (días y noches), la sucesión de las fases lunares (meses), la inclinación de eje de rotación de la Tierra (estaciones).

La Astronomía en sus principios fue una ciencia desarrollada enteramente como ayuda a la determinación exacta del tiempo y a la navegación marítima. El éxito de los descubrimientos geográficos se debe en parte a una mayor precisión en las medidas de posición y tiempo.

La Astronomía y la Física son ciencias basadas en leyes observadas directamente de la naturaleza de las cosas y que precisan el apoyo cuantitativo de la medición. Para un científico sólo existe un fenómeno cuando puede medir el voltaje e intensidad de un circuito, focalizar una galaxia sobre un fotómetro o comparar las señales de radio que recibe del espacio con un reloj atómico patrón.

En nuestra civilización no es sino a partir de mediados del siglo I antes de Jesucristo, que ante el caos que reinaba en Roma, Julio César estableció un sistema regular de cómputo de tiempo: el calendario juliano. Hizo venir de Alejandría al astrónomo griego Sosígenes, quien, en primer lugar, decidió prescindir totalmente de la Luna y ajustarse lo más posible al año trópico (basado en las estaciones), con la hipótesis de una duración de 365,25 días. Esto originó que nuestro calendario fuera genuinamente solar. Como el año civil, por comodidad tenía que contener un número entero de días, se adoptó la cantidad de trescientos sesenta y cinco días, con la adición de un día cada cuatro años para así evitar un futuro gran desfase. Sosígenes, pese a ser reacio el pueblo a esta adición cuatrienal, logró convencer a César, porque dos siglos antes este sistema fue decretado en Egipto.

Como quiera que el año trópico real tiene 365,242199 días, se acumulaba un error de once minutos y catorce segundos, o un día y medio cada doscientos años, y las estaciones quedaban progresivamente desajustadas respecto al calendario. Esto, además, tenía una incidencia muy negativa en la determinación de la principal fiesta de la cristiandad, la Pascua, que establecía la posición de todas las otras fiestas móviles. En el año 325 d. C. el Concilio de Nicea fijó la fecha de la Pascua en el domingo que sigue a la primera luna llena de primavera. En aquel año la primavera empezaba el 21 de marzo. En los años siguientes, debido a la excesiva duración que se tomaba para el año, la Pascua, ante la preocupación de la Iglesia, se iba desplazando.

A finales del siglo XVI el Papa Gregorio XIII se dirigió a una comisión de sabios para reajustar el calendario y restablecer las estaciones tal como en el año del Concilio, cuando se habían establecido las normas mencionadas. La Pascua se había desplazado ya diez días. Se aceptó la propuesta del astrónomo jesuita Cristóbal Clavius, quien siguió sugerencias del astrónomo y médico Luigi Lilio. Para corregir el desfase, al jueves 4 de octubre de 1582 seguiría el viernes 15 de octubre. Para prevenir desajustes futuros, los años cuya cifra terminara en dos ceros dejarían de ser bisiestos, exceptuando aquellos cuyo número de siglo fuera divisible por cuatro. Así, en el nuevo calendario son sólo bisiestos 1600 y 2000, porque 16 y 20 son divisibles por 4, pero no 1700, 1800, 1900 ni 2100, como hubieran sido en el calendario juliano. El año gregoriano contiene de este modo 365,2425 días, un valor muchísimo más próximo al año real.

Sin embargo, pronto se hizo evidente que para una medición precisa del tiempo no debería dependerse sólo de la observación de los astros, pues éstos son variables por naturaleza.

Nuestro calendario no es el más apropiado para el registro y observación de los fenómenos astronómicos. Así pues, por convención internacional, se adoptó el llamado día juliano (que no debe confundirse con el calendario juliano). El día juliano empieza a partir del mediodía y termina al mediodía siguiente. En Astronomía posee la ventaja evidente de que todo lo que acontece en el curso de una noche se produce en un solo día y no está dividido entre dos días como el calendario civil.

Por convenio, y con el fin de cubrir un lapso de tiempo suficientemente amplio que comprenda todos los registros existentes, se empezó a contar el día juliano al mediodía del 1 de enero del año 4713 a. C. Para otros años la equivalencia es la siguiente:

Mediodía 1 marzo 1900 d. C. = DJ 2415080,0

Mediodía 1 enero 1987 d. C. = DJ 2446796,0

Medianoche 1 marzo 1990 d. C. = DJ 2447952,5

Mediodía 1 marzo 2000 d. C. = DJ 2451605,0

El programa 1 es válido desde la reforma gregoriana (15 de octubre de 1582) hasta la actualidad.

```
10 CLS:REM <-- EN EL CGMMODORE SUSTITUIR POR: PRINT CHR$(147)
20 PRINT "* FECHA GREGORIANA A DIA JULIANO *"
30 PRINT
40 INPUT "TECLEA EL AÑO AAAA";YR
50 INPUT "TECLEA EL MES MM ";MN
60 INPUT "TECLEA EL DIA DD.DD (CON FRACCION DECIMAL) ";DY
70 PRINT
80 GOSUB 120
90 PRINT YR;"AÑO ";MN;" MES ";DY;" DIA=DIA JULIANO ";JD
100 PRINT
110 INPUT "PULSA ENTER PARA OTRA OPERACION ";A$:GOTO 10
120 IF MN=2 OR MN=1 THEN LET YR=YR-1:LET MN=MN+12
130 IF YR+MN/100+DY/10000>=1582.1015 THEN LET GR=2-INT(YR/100)
+INT(INT(YR/100)/4):GOTO 150
140 LET GR=0
150 LET JD=INT(365.25*YR)+INT(30.6001*(MN+1))+DY+1720994.5+GR
160 RETURN
```


¿QUE ALTURA TIENEN LAS MONTAÑAS Y CRATERES LUNARES?

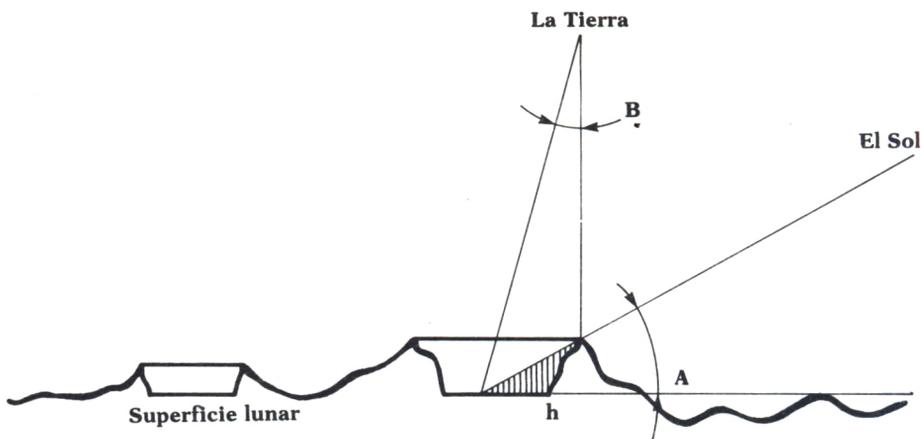
4

P

ARA un astrónomo amateur el astro más familiar y más conocido es la Luna. La orografía de nuestro satélite, los detalles de sus montañas, circos y valle están al alcance de un pequeño telescopio. La observación lunar es interesante y placentera, sobre todo durante las fases de cuarto creciente y cuarto menguante. En estos períodos el satélite está dividido en dos partes: un lado iluminado por el Sol y otro en sombras, separados por una línea imaginaria llamada terminador, la frontera entre el día y la noche lunares, en donde los detalles adquieren un relieve máximo. En esta zona la luz del Sol es rasante, lo que provoca un bello juego de sombras y luces.

El origen mayoritario de los llamados circos lunares (grandes formaciones circulares parecidas a cráteres volcánicos) se cree debido a impactos de pequeños asteroides que abundaban en las primeras fases de formación del satélite. La simulación por ordenador de la caída a gran velocidad de un cuerpo sólido nos muestra que éste transforma toda la energía de movimiento que posee en excavar un circo idéntico a los que observamos en la Luna.

El observador lunar puede preguntarse, sin embargo, qué altura tienen los cráteres y montañas de nuestro vecino más próximo. Para responder a esta pregunta, y con ayuda del programa que acompaña a esta actividad, precisamos lo siguiente: una fotografía de nuestro satélite, un plano aproximado de longitud y latitud de la zona fotografiada, una regla graduada, los datos de longitud y latitud selenográfica de la Tierra (el lugar donde se ve la Tierra directamente en el cenit = ángulo B) y la colongitud y latitud solar (ángulo A). Estos últimos datos se encuentran en el anuario astronómico de San Fernando u otros similares, los cuales pueden hallarse en bibliotecas públicas o solicitarse al Observatorio de la Marina de San Fernando (San Fernando-Cádiz-España), a un precio económico (500 pesetas, aproximadamente).



Geometría del experimento (ángulos muy exagerados). Para determinar la altura (h) a que se elevan las paredes interiores de un circo lunar, debemos resolver el triángulo sombreado del dibujo.

en base a una fotografía lunar en la que registramos el día y la hora de su realización, debemos medir con una regla graduada la longitud de sombra de un cráter o montaña. Necesitamos conocer también la escala de la fotografía; para ello trazaremos una cuerda que una dos puntos extremos del borde lunar. Mediremos cuidadosamente la mitad de ésta (C1), así como la longitud de segmento central (C2). Los demás datos esenciales se encuentran en el anuario astronómico.

Debemos tener en cuenta que en la Luna no existe un nivel del mar como en la Tierra para determinar las alturas; dado que no existe un nivel de referencia, nuestro cálculo hallará la altura con respecto al terreno circundante y éste es a menudo muy accidentado. En las medidas, si es posible, emplear una lupa de aumento y una buena iluminación.

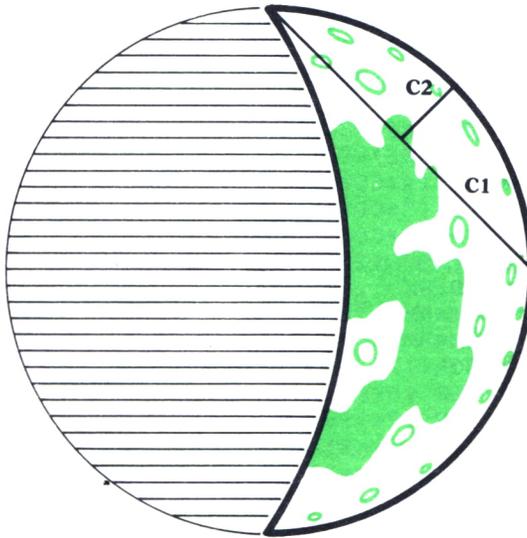
Es deseable interpolar los valores de las tablas para obtener una mayor precisión. Las alturas lunares pueden alcanzar valores muy elevados; por ejemplo, la altura máxima de la Luna se encuentra en los montes Leibnitz, con 10.060 m., por lo que los valores que obtengamos en nuestras calculaciones deberán estar entre 10.000 m. y unos pocos metros para los detalles menos prominentes. Los diámetros de algunos de los cráteres mostrados en la fotografía son los siguientes: Flamsteed, 14 km., Bullialdus, 50 km., Lepaute 14 km.

El atractivo del experimento consiste en que podemos repetirlo con material propio, siguiendo las indicaciones de fotografía astronómica contenida en el apéndice A.

LUNA

1986 Efemérides para observaciones físicas, a 0^h de Tiempo Universal

Fecha	Edad	Coordenadas selenográficas de la Tierra		Liberación física	Coordenadas selenográficas del Sol		Angulo de posición	
		Longitud	Latitud	Lg. Lt. A.P.	Co-long.	Lat.	Eje	Limbo iluminado
	d	°	°	(0°,01)	°	°	°	°
Nov. 16	13,7	+3,54	-3,14	+1 4 0	80,77	-0,91	344,85	276,1
17	14,7	2,45	4,32	1 0 0	92,91	0,94	348,57	46,4
18	15,7	1,27	5,30	1 4 0	105,05	0,96	352,96	68,6
19	16,7	0,02	6,05	1 4 0	117,19	0,98	357,82	78,3
20	17,7	-1,27	6,53	1 4 +1	129,33	1,00	2,86	86,2
21	18,7	-2,56	-6,73	1 4 1	141,48	-1,02	7,74	93,2
21	19,7	3,82	6,64	+1 -4 +1	153,63	1,03	12,15	99,5
22	20,7	4,98	6,27	0 4 1	165,79	1,04	15,86	104,8
23	21,7	5,98	5,61	0 4 1	177,95	1,05	18,74	109,0
24	22,7	6,75	4,68	0 4 1	190,11	1,06	20,73	112,1
25	23,7	-7,22	-3,50	0 4 1	202,29	-1,07	21,81	113,9
26	24,7	7,31	2,10	0 -4 +1	214,46	1,08	21,98	114,3
27	25,7	6,96	0,55	0 4 1	226,65	1,09	21,17	113,0
28	26,7	6,13	+1,09	0 4 1	238,84	1,11	19,29	109,7
29	27,7	4,84	2,70	0 4 1	251,03	1,12	16,20	102,9
30				0 4 1				



Mapa lunar que corresponde a un sector de la fotografía empleada en el ejemplo para medir la altura.

```

010 PRINT "ALTURAS LUNARES IBM PC "
012 PRINT
014 INPUT "CUERDA (MM)";C1 *
016 INPUT "SEGMENTO MEDIO (MM)";C2
018 PRINT
020 PRINT "EMPLEA GRADOS DE ARCO"
022 PRINT
024 INPUT "LONG. SELEN. TIERRA ";LE
026 INPUT "LAT. SELEN. TIERRA ";BE
028 INPUT "COLONG. SELEN. SOL ";CS
030 INPUT "LAT. SELEN. SOL ";BS
032 REM CONVERSION DE GRADOS A RADIANES
034 DR = 3.14159/180
036 LS = 90-CS
038 IF LS<0 THEN LS =450-CS
040 BE = BE*DR: LE =LE*DR
042 BS = BS*DR: LS =LS*DR
044 CS = CS*DR
046 RM = 1080
048 EM = 239000
050 SM = '93000000
052 PRINT
054 PRINT " POSICION DE LA MONTAÑA O CRATER "
056 INPUT " COORDENADAS DE LONGITUD ? ";LO
058 INPUT " COORDENADAS DE LATITUD ? ";BO
060 INPUT " LONGITUD DE SOMBRA (MM) ? ";MQ
062 BO = BO*DR: LO =LO*DR
064 I1 = SIN(BE)*SIN(BO)
066 I2 = SIN(BE)*SIN(BS)
068 I3 = SIN(BS)*SIN(BO)
070 I4 = COS(BE)*COS(BO)
072 I5 = COS(BE)*COS(BS)
074 I6 = COS(BS)*COS(BO)
076 EI = I1+I4*COS(LO-LE)
078 ER = I2+I5*COS(LE-LS)
080 SI = I3+I6*COS(LO-LS)
082 RX = C1/SIN(2*ATN(C1-C2))
084 MR = MQ/RX
086 I7 = RM*RM: I8 =EM*EM
088 I9 = SM*SM
090 XE = SQR(I7+I8-2*RM*EM*EI)
092 ES = SQR(I8+I9-2*EM*SM*ER)
094 XS = SQR(I7+I9-2*RM*SM*SI)
096 S = (XE+ES+XS)/2
098 P = S*(S-ES)*(S-XE)*(S-XS)
100 P = (2/(XE*XS))*SQR(P)
102 SH = I3+I6*SIN(CS+LO)
104 M1 = (MR*SH/P)-1

```

```

106 M2 = (MR/P)*((MR/P)-2*SH)
108 H = (M1+SQR(M1*M1-M2))*RM
110 H = H*1609: H= INT(H)
112 PRINT " ALTURA =" ;H;" METROS "
114 PRINT: PRINT " OTRA ALTURA ";
116 PRINT " DE LA MISMA FOTO ? ";
118 INPUT " S/N ";SN$
120 IF SN$= "S" THEN GOTO 52
122 END

```

En el SPECTRUM sustituir las líneas 118 y 119 por:

```

118 INPUT "S/N";A$
119 IF A$="S" THEN GOTO 52

```

También hace falta poner la palabra LET delante de todas las asignaciones. Por ejemplo, en la línea 40 pone:

```

40 BE=BE*DR:LE=LE*DR

```

los usuarios del SPECTRUM tendrán que poner:

```

40 LET BE=BE*DR:LET LE=LE*DR

```

Ejemplo práctico

Con una fotografía tomada el 24 de noviembre de 1986 a las 4 h. deseamos conocer la altura del cráter lunar Bullialdus.

Medidas directas sobre el clisé (mm.)

Longitud de la sombra	= 5,5
Longitud de la cuerda (C1)	= 75
Longitud del segmento medio (C2)	= 15,5

Datos del Anuario Astronómico

Debemos pasar primero la hora civil a tiempo universal. En España durante el mes de noviembre la hora civil está avanzada una hora con respecto al tiempo universal; por tanto, a las 4 h. TC le corresponde las 3 h. TU (se supone en este experimento que el observador se encuentra sobre el meridiano de Greenwich; para la mayoría de la España peninsular el error derivado de esta diferencia es pequeño).

Coordenadas selenográficas de la Tierra.

Interpolando valores de la tabla para las 3 h. TU tenemos:

$$- \text{Longitud} = 5,98 + 3 \left(\frac{6,75 - 5,98}{24} \right) = 6,07$$

$$- \text{Latitud} = 5,61 - 3 \left(\frac{5,61 - 4,68}{24} \right) = 5,49$$

Coordenadas selenográficas del Sol.

Interpolando valores de la tabla para las 3 h. TU tenemos:

$$- \text{Co-longitud} = 177,95 - \left(\frac{190,11 - 177,95}{24} \right) = 179^{\circ} 48'$$

$$- \text{Latitud} = 5,61 - 3 \left(\frac{1,06 - 1,05}{24} \right) = 1,0512$$

Datos del mapa lunar

Las coordenadas del cráter Bullialdus tomadas directamente del plano son, aproximadamente:

$$\text{Long.} = -22^{\circ}$$

$$\text{Lat.} = -20^{\circ}$$

Altura determinada del programa M 1.572 m.

La precisión final depende del cuidado que se tome en las medidas y en los valores del Anuario. Dedicar una atención especial a los signos (no cambiarlos). En el caso de que la altura sea un valor negativo o superior a 10.000 m., verificar todos los cálculos.



Fotografía tomada por el autor a través de un telescopio reflector de 200 mm. de diámetro el 24-11-1986, a las 4 h. Tiempo civil.

RUN
ALTURAS LUNARES IBM PC

CUERDA (MM)? 75
SEGMENTO MEDIO (MM)? 15.5

EMPLEA GRADOS DE ARCO

LONG. SELEN. TIERRA ? -6.07
LAT. SELEN. TIERRA ? -5.49
COLONG. SELEN. SOL ? 179.48
LAT. SELEN. SOL ? 1.05

POSICION DE LA MONTANA O CRATER
COORDENADAS DE LONGITUD ? ? -22
COORDENADAS DE LATITUD ? ? -20
LONGITUD DE SOMBRA (MM) ? ? 5.5
ALTURA = 1518 METROS

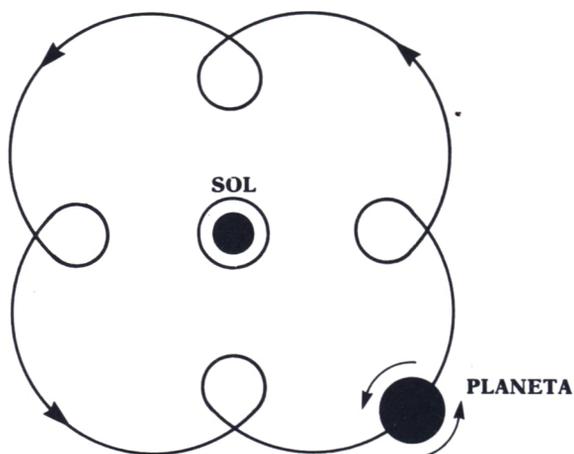
OTRA ALTURA DE LA MISMA FOTO ? S/N ? N
OK

1LIST 2RUN 3LOAD" 4SAVE" 5CONT 6,"LPT1 7TRON 8TROFF9KEY 0SCREEN

D

EBIDO al movimiento de rotación de la Tierra, cuando observamos durante un tiempo el cielo estrellado, percibimos que gira aparentemente en sentido contrario. Puesto que la Tierra se traslada alrededor del Sol, también parece moverse sobre el fondo de las estrellas más lejanas. Por esta causa, es posible medir o definir la duración del día de dos formas distintas: el día sideral, como el tiempo que transcurre entre dos pasos sucesivos de una misma estrella por un mismo punto del cielo (referido a la Tierra), y el día solar, como el mismo concepto anterior, pero referido al Sol en lugar de a las estrellas. Ya que la Tierra gira sobre su eje en el mismo sentido en que se traslada alrededor del Sol, el día solar resulta ser un poco más largo que el día sideral, aproximadamente tres minutos y cincuenta y seis segundos cada día. Estas diferencias diarias provocan que en un año la discrepancia sea de un día exactamente; para probarlo podemos realizar un sencillo experimento. Supongamos que somos un planeta y describamos la órbita del dibujo. Durante el recorrido debemos contar cuidadosamente el número de veces que podemos ver un objeto cualquiera colocado en el centro (Sol) y el número de veces que observamos un objeto como la pared, un cuadro, etc. (estrellas). Seguro que en esta órbita aproximada tendremos cuatro días solares y cinco días siderales.

La diferencia entre el día solar y el sideral es de $1/365,24$ días siderales, aproximadamente cuatro minutos. Esto causa también que el cielo que podemos ver cada noche sea distinto al de la noche anterior, en precisamente, estos minutos; en un mes, por ejemplo, el desplazamiento es de dos horas, es decir, algunas constelaciones o grupos de estrellas habrán desaparecido (las más próximas al horizonte Oeste), mientras que otras distintas aparecerán por el Este. Estos movimientos, difíciles de percibir en un tiempo corto, constituyen ahora, gracias a la magia de los planetarios, un



espectáculo habitual en algunas ciudades españolas que disponen de estas instalaciones.

La determinación de la hora sidérea, conociendo la hora civil para un momento determinado, es un problema astronómico típico. Puesto que tomamos como referencia el meridiano de Greenwich, debemos conocer la diferencia entre nuestra posición y dicho meridiano; por tanto, precisamos conocer nuestra longitud geográfica.

```

10 PRINT "HORA LOCAL A HORA SIDEREA"
20 PRINT
30 PRINT "CONVERSION DEL DIA/HORA A TIEMPO MEDIO DE GREENWICH"
40 PRINT "INTRODUCE LA HORA EN TU. EN ESPAÑA DURANTE TODO EL
AÑO"
50 PRINT "EXCEPTO EN VERANO TU=TC-1. EN ESTE ULTIMO TU=TC-2"
60 PRINT
70 PRINT "AHORA, INTRODUCE LOS DATOS AÑO/MES/DIA/HR/MIN"
80 INPUT "TECLEA EL AÑO AAAA ";YR
90 INPUT "TECLEA EL MES MM ";MN
100 INPUT "TECLEA DIA ";DA:INPUT "TECLEA HORA ";HR:INPUT "TECLEA
MIN ";MI
110 LET DD=DA+HR/24+MI/60/24
120 PRINT "TECLEA 2 PARA TIEMPO MEDIO GREENWICH EN ESPAÑA PENIN
SULAR"
130 PRINT
140 INPUT "TECLEA TU HUSO HORARIO ";TZ
150 PRINT
160 PRINT "LONGITUD GEOGRA. DE ALGUNAS CIUDADES."
170 PRINT "BARCELONA = -002.30"
180 PRINT "MADRID = +003.70"
190 PRINT "SEVILLA = +006.00"
200 PRINT "CORUÑA = +008.40"
210 PRINT

```

```

220 INPUT "TECLEA LONGITUD GEOGRA. ";LG
230 LET DY=INT(DD):GOSUB 430
240 LET T=(JD-2415020)/36525
250 LET SS=6.6460656+2400.051*T+.00002581*T*T
260 LET ST=(SS/24-INT(SS/24))*24
270 LET SA=ST+(DD-INT(SS))*24*1.002737908
280 ON TZ-1 GOTO 300,310,320,330,340,350,360,370
290 GOTO 380
300 LET SA=SA-(5+((LG-75)/15))*1.002737908:GOTO 380
310 LET SA=SA-(4+((LG-75)/15))*1.002737908:GOTO 380
320 LET SA=SA-(6+((LG-90)/15))*1.002737908:GOTO 380
330 LET SA=SA-(5+(LG-90)/15))*1.002737908:GOTO 380
340 LET SA=SA-(7+(LG-105)/15))*1.002737908:GOTO 380
350 LET SA=SA-(6+(LG-105)/15))*1.002737908:GOTO 380
360 LET SA=SA-(8+(LG-120)/15))*1.002737908:GOTO 380
370 LET SA=SA-(7+(LG-120)/15))*1.002737908
380 IF SA<0 THEN LET SA=SA+24
390 IF SA>24 THEN LET SA=SA-24
400 REM
410 PRINT YR;" ";MN;" ";INT(DD);" " " ";INT((DD-INT(DD))*24);HR
GMST=" ";INT(SA);"HR ";INT((SA-INT(SA))*60);"MIN"
420 END
430 IF MN=2 OR MN=1 THEN LET YR=YR-1:LET MN=MN+12
440 IF YR+MN/100+DY/10000>=1582.1015 THEN LET GR=2-
INT(YR/100)+INT(INT(YR/100)/4):GOTO 460
450 LET GR=0
460 LET JD=INT(365.25*YR)+INT(30.6001*(MN+1))+DY+1720994.5+GR
470 RETURN
MODIFICACIONES:

```

Para que este programa funcione en el SPECTRUM hay que variar las siguientes lineas:

```

280 GOTO 290+10*(TZ-1)
420 STOP

```

La hora sideral local (HSL) puede calcularse así: $HSL = GMST \pm (Longitud\ Geo/15)$, en donde GMST es la hora sideral de Greenwich, Este=+, Oeste=-.

En Astronomía, a menos que se indique lo contrario, todas las horas siempre hacen referencia al tiempo universal (hora solar). En la Península la relación entre el tiempo civil (TC) y el tiempo universal (TU) es la siguiente:

Durante todo el año, excepto en verano TU = TC - 1 hora
Durante el verano : TU = TC - 2 horas

El programa está escrito para el Basic del IBM PC, pero puede ser adaptado fácilmente a todos los Basics compatibles.



Ejemplo práctico

```
OK
RUN
      HORA LOCAL A HORA SIDEREA      IBM PC

CONVERSION DE DIA/HORA A TIEMPO MEDIO DE GREENWICH(GMST):
INTRODUCE LA HORA EN TU. EN ESPAÑA DURANTE TODO EL AÑO
EXCEPTO EL VERANO TU=TC-1, EN ESTE ULTIMO TU=TC-2

AHORA, INTRODUCE LOS DATOS          AÑO/MES/DIA/HR/MIN
TECLEA EL AÑO AAAA? 1987
TECLEA EL MES MM? 08
TECLEA DIA? 03
TECLEA HR ? 03
TECLEA MIN? 00
TECLEA 2 PARA TIEMPO MEDIO GREENWICH(GMST) EN ESPAÑA PENINSULAR

TECLEA TU HUSO HORARIO? 2

LONGITUD GEOGRA. DE ALGUNAS CIUDADES. BARCELONA= -002.30
MADRID=+003.70, SEVILLA=+006.00, LA CORUÑA=+008.40
TECLEA LONGITUD GEOGR? -002.30
1987 / 8 / 3    3 HR GMST= 23 HR 53 MIN HORA SIDEREA
OK

1LIST  2RUN  3LOAD" 4SAVE" 5CONT 6,"LPT1 7TRON 8TROFF?KEY  0SCREEN
```

E

L astrónomo profesional o amateur precisa conocer la posición exacta de un astro determinado sobre la bóveda celeste, con el fin de dirigir correctamente hacia él el instrumental necesario. Para conseguir este objetivo podemos relacionar este astro con unas líneas de referencia que pueden ser distintas en un caso u otro.

Para un profano puede que la afirmación anterior le parezca exagerada, puesto que en una noche tranquila y sin nubes se distinguen multitud de estrellas; sin embargo, el número de objetos observables depende de la potencia instrumental puesta en juego, ya que con un telescopio es posible observar muchos más que a simple vista. De todo lo anterior podemos deducir que, en la mayoría de los casos, deberemos dirigir nuestro telescopio hacia una zona que parece vacía a nuestros ojos, pero que observada a través de un instrumento nos muestra una pequeña maravilla.



LONGITUD Y LATITUD GEOGRAFICAS

Los sistemas de referencia, también llamados coordenadas, son parecidos de alguna forma a la latitud y longitud geográficas, que determinan las posiciones terrestres sobre un mapa. En este caso las líneas de referencia son dos: un círculo máximo, llamado Ecuador, equidistante de los polos, y los meridianos, semicírculos máximos que, pasando por los dos polos, cortan el Ecuador (el más importante es el de Greenwich).

A partir de estas referencias puede construirse una red, constituida por dos conjuntos independientes, capaces de especificar cualquier punto sobre la superficie terrestre. El primer conjunto se obtiene trazando círculos paralelos al Ecuador (sus radios aumentan a medida que se acercan a

él), que llamamos paralelos (círculos de latitud), se numeran desde 0° (grados de arco) en el Ecuador, hasta 90° N. en el Polo Norte, y desde 0° hasta 90° S. en el Polo Sur. El segundo conjunto se obtiene a partir de un meridiano (círculo de longitud), designado arbitrariamente, asignándole un valor de 0°. Las longitudes se numeran hasta 180° E. (Este) y 180° O. (Oeste).

Por ejemplo, la posición geográfica de la ciudad de Barcelona es longitud 2° 17' Este y latitud 41° 23' Norte.

Las cantidades se acompañarán de un signo, más o menos, de acuerdo con las siguientes reglas:

Longitud Oeste = +

Longitud Este = -

Latitud Norte = +

Latitud Sur = -

Por lo que, finalmente, tendríamos para la posición de Barcelona:

Longitud 2° 17' Este = -2,28°

Latitud 41° 23' Norte = +41,38°



COORDENADAS ECUATORIALES

No obstante, para la posición de los astros se emplean normalmente las llamadas coordenadas ecuatoriales, las cuales tienen como referencia el Ecuador celeste, o proyección del Ecuador terrestre sobre la bóveda del cielo, y el punto donde se encuentra el Sol en el equinoccio de primavera.

El Sol describe un camino aparente sobre el cielo que no es estrictamente el del simple movimiento horario; este desplazamiento barre distintas posiciones sobre una franja que corta las constelaciones del zodiaco (Aries, Tauro, Géminis, etc.). En el equinoccio de primavera (el 21 de marzo, con pequeñas diferencias), el camino ascendente del Sol corta al Ecuador celeste en el punto tomado como origen de las coordenadas ecuatoriales.

Las coordenadas ecuatoriales de un astro constan de dos partes: la declinación (DEC) y la ascensión recta (AR). Una característica importante es que son las mismas en cualquier punto del planeta, es decir, no dependen de la posición del observador. Otro factor importante derivado del anterior es que podemos hallar las coordenadas ecuatoriales de cualquier objeto interesante en atlas y catálogos astronómicos (ver ejemplos).

Los telescopios con montura ecuatorial tienen además incorporados a sus mecanismos discos graduados en donde se indica la declinación y la ascensión recta hacia donde están dirigidos.

El propósito de esta experiencia asistida por ordenador es el de fami-

POSICION DE ALGUNOS OBJETOS EN COORDENADAS ECUATORIALES

Constelación	Nombre	Asc. Recta	Declinación	Culminación		Características
				21 h.	24 h.	
Peces	NGC 488	1 h. 19 m.	+ 5° 00'	25-XI	10-X	Espiral Sa. Estrella de 6. ^a a 10'
Ballena	h. 2043	1 h. 20 m.	- 19° 20'	26-XI	11-X	Doble
Peces	NGC 514	1 h. 21 m.	+ 12° 39'	26-XI	11-X	Espiral. Estrella de 8. ^a a 2'
Peces	NGC 524	1 h. 22 m.	+ 9° 16'	26-XI	11-X	Nebulosa elíptica
Peces	NGC 520	1 h. 22 m.	+ 3° 22'	26-XI	11-X	Nebulosa irregular
Casiopea	ψ	1 h. 24 m.	+ 67° 52'	27-XI	12-X	Triple. La B es doble
Escultor	R	1 h. 25 m.	- 32° 48'	27-XI	12-X	Variable. Periodo 376 días
Casiopea	NGC 559	1 h. 26 m.	+ 63° 2'	27-XI	13-X	Cúmulo estelar elíptico
Peces	R	1 h. 28 m.	+ 2° 37'	28-XI	14-X	Variable. Periodo 344 días
Ballena	NGC 578	1 h. 28 m.	- 22° 56'	28-XI	14-X	Neb. espiral.
Ballena	NGC 584	1 h. 29 m.	- 7° 7'	28-XI	14-X	Neb. elíptica E.
Casiopea	M. 103	1 h. 30 m.	+ 60° 27'	28-XI	14-X	Cúmulo estelar
Ballena	NGC 596	1 h. 30 m.	- 7° 17'	28-XI	14-X	Neb. elíptica
Triángulo	M. 33	1 h. 31 m.	+ 30° 24'	28-XI	14-X	Espiral tipo Sc, próxima

liarizar al lector con un sistema de coordenadas muy simple, que le permitirá localizar un astro con seguridad.



COORDENADAS CARTESIANAS

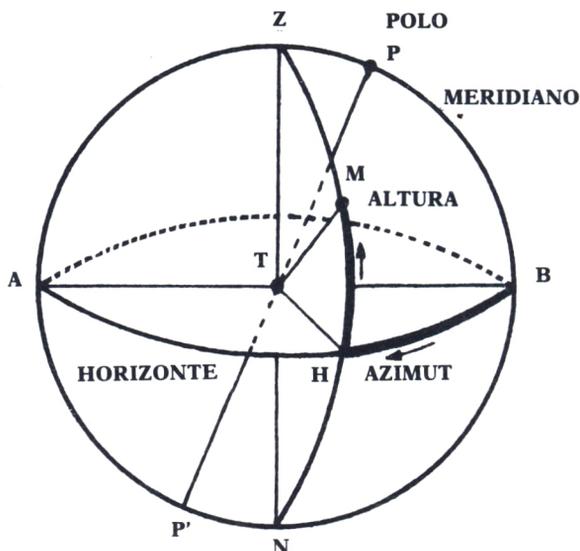
Para precisar con exactitud la posición de un punto en la esfera celeste, refiriéndolo al horizonte del lugar de observación, pueden emplearse dos coordenadas llamadas altura y azimut, equivalentes, respectivamente, a la latitud y longitud geográficas.

Supongamos que, conforme a las apariencias, la esfera celeste gira alrededor de la Tierra y que, dada su enorme extensión respecto a ésta, queda reducida a un punto situado en su centro, en el cual se encuentra también el ojo del observador (T).

En este caso, el horizonte será el plano que corta a la esfera celeste según el círculo AB, y la vertical TZ, que pasa por el zénit, Z, será perpendicular a él. Por la vertical TZ y su prolongación hasta el punto opuesto N, o nadir, y por la línea de los polos PP', alrededor de la cual parece efectuarse todo el movimiento del cielo, pasa un solo plano, que es el meridiano del lugar.

Trazando un rayo visual que vaya desde el ojo del observador a un objeto cualquiera, éste forma con el horizonte un cierto ángulo, llamado altura angular, o simplemente altura del objeto, cuya medida es el arco HM. En lugar de la altura o distancia angular del astro al horizonte, puede considerarse su distancia angular al zénit, o sea, la distancia zenital.

Volviendo al plano vertical que contiene un objeto, éste forma con el meridiano del lugar cierto ángulo variable para cada uno, que se denomina azimut, como puede verse en la figura. Por consiguiente, conociendo



en un lugar determinado la altura y el azimut de una estrella, puede fijarse su posición exacta en la esfera celeste, pues la altura indica sobre qué paralelo debe encontrarse y el azimut sobre qué círculo máximo, perpendicular al horizonte, estará situada.

Por medio del programa de cambio de coordenadas es posible reducir los valores, a veces difíciles de interpretar, de la ascensión recta y la declinación, a unas magnitudes fáciles de visualizar con medios simples. El azimut puede ser determinado sobre el terreno con una brújula de bolsillo, mientras que la altura con un poco de práctica y sin instrumentos, se puede apreciar fácilmente con un margen de 15° de arco. En el caso de que la altura obtenida por el ordenador contenga un signo menos, es indicativo de que el objeto se halla bajo el horizonte; deberemos esperar un mejor momento para su observación. Este programa es muy interesante, sobre todo para pequeños telescopios provistos de montura azimutal.

Todas las sentencias INPUT del programa hacen referencia a magnitudes obtenidas por programas anteriores o a datos que podemos obtener de algún libro de Astronomía y/o anuario astronómico. El programa está escrito para el Basic del IBM PC o compatibles. Se acompaña, además, el programa para los usuarios de Sinclair.

Por ejemplo: deseamos saber la posición cartesiana del planeta Júpiter el día 3 de agosto de 1987 a las 5 h. de tiempo civil desde la ciudad de Barcelona y la posición del Sol a la misma hora.

Del Anuario astronómico tenemos:

Día 3-8-1987 Júpiter.... AR = 1 h. 50,8 m.
DEC = +9° 56'
Día 3-8-1987 Sol AR = 8 h. 50,4 m.
DEC = +17° 42'

El primer paso es obtener la hora sidérea referida a Greenwich para el día en cuestión, utilizando el programa «Hora local a Hora sidérea». Tal como se indica en el ejemplo, el 3 de agosto de 1987 a 3 horas TU (5 h. TC) le corresponde una hora sidérea GMST = 23 h. 53 m. Con el dato anterior, el valor de la latitud longitud geográfica y las coordenadas ecuatoriales de ambos astros en el programa de conversión, obtenemos un valor de altura para Júpiter de casi 48°, con un azimut de 129°, equivalentes a una posición aproximada S.E. El Sol vemos que aún se encuentra situado bajo el horizonte, aunque con sus -18° nos hallamos justamente al principio del crepúsculo astronómico.

```
OK
RUN
CONVERSION DE COORDENADAS
ECUATORIALES A CARTESIANAS IBM PC
TECLEA A R (H,M,S) ? 1, 50.8, 0
TECLEA DEC (G,M,S) ? +9, 56, 0
TECLEA POSICION LAT, LONG ? +41.38, -2.28
TECLEA HORA GMST (H,M,S)? 23, 53, 0
ALTURA: 47.97359
AZIMUT: 129.325
OK

RUN
CONVERSION DE COORDENADAS
ECUATORIALES A CARTESIANAS IBM PC
TECLEA A R (H,M,S) ? 8, 50.4, 0
TECLEA DEC (G,M,S) ? +17, 42, 0
TECLEA POSICION LAT, LONG ? +41.38, -002.28
TECLEA HORA GMST (H,M,S)? 23, 53, 0
ALTURA: -18.62957
AZIMUT: 43.64404
OK

1LIST 2RUN 3LOAD" 4SAVE" 5CONT 6,"LPT1 7TRON 8TROFF9KEY 0SCREEN

010 PRINT"CONVERSION DE COORDENADAS"
012 PRINT"ECUATORIALES A CARTESIANAS IBM PC"
014 P=3.14159265: R1=P/180
016 INPUT "TECLEA A R (H,M,S) ";A$,A2,A3
```

```

018 GOSUB 82: R=A*15*R1
020 INPUT "TECLEA DEC (G,M,S) ";A$,A2,A3
022 GOSUB 82: D=A*R1
024 INPUT "TECLEA POSICION LAT, LONG ";B,L
026 B=B*R1: L=L*R1
028 INPUT "TECLEA HORA GMST (H,M,S)";A$,A2,A3
030 GOSUB 82: T=A*15*R1
032 T5=T-R+L: REM LHA
034 S1=SIN(B)*SIN(D)
036 S1=S1+COS(B)*COS(D)*COS(T5)
038 C1=1-S1*S1
040 IF C1>0 THEN C1=SQR(C1)
042 IF C1<=0 THEN 46
044 H=ATN(S1/C1): GOTO 48
046 H=SGN(S1)*P/2
048 C2=COS(B)*SIN(D)
050 C2=C2-SIN(B)*COS(D)*COS(T5)
052 S2=-COS(D)*SIN(T5)
054 IF C2=0 THEN A=SGN(S2)*P/2
056 IF C2=0 THEN 62
058 A=ATN(S2/C2)
060 IF C2<0 THEN A=A+P
062 IF A<0 THEN A=A+2*P
064 REM CORRECCION POR REFRACCION
066 REM
068 H5=H/R1
070 V5=(H5+10.3/(H5+5.11))*R1
072 R5=1.02*COS(V5)/SIN(V5)
074 H=H+R5*R1/60
076 PRINT "ALTURA: ";H/R1
078 PRINT "AZIMUT: ";A/R1
080 END
082 REM CONVER. SEXAG. A DECIMAL
084 REM
086 S=1: A1=ABS(VAL(A$))
088 IF LEFT$(A$,1)="-" THEN S=-1
090 A=S*(A1+A2/60+A3/3600)
092 RETURN

```

SPECTRUM

```

10 PRINT "*****"
20 PRINT "* CONVERSION DE COORDENADAS *"
40 PRINT "* ECUATORIALES A ALTAZIMUTALES *"
50 PRINT "*****"
60 LET R1=PI/180
70 PRINT AT 20,0;"ASCENSION RECTA?": INPUT "Horas",A$
75 INPUT "Minutos",A2
76 INPUT "Segundos",A3

```

```

80 GO SUB 390: LET R=A*15*R1
90 PRINT AT 20,0;"DECLINACION?": INPUT "Grados",A$
100 INPUT "Minutos",A2
110 INPUT "Segundos",A3
115 GO SUB 390: LET D=A*R1
120 PRINT AT 20,0;"SITUACION GEOGRAFICA?": INPUT "Latitud",B
130 INPUT "Longitud",L
140 LET B=B*R1: LET L=L*R1
150 PRINT AT 20,0;"TIEMPO SIDERAL, GST?": INPUT "Horas",A$
160 INPUT "Minutos",A2
170 INPUT "Segundos",A3
180 GO SUB 420: LET T=A*15*R1
190 LET T5=T-R+L
200 LET S1=SIN (B)*SIN (D)
210 LET S1=S1+COS (B)*COS (D)*COS (T5)
220 LET C1=1-S1*S1
230 IF C1>0 THEN LET C1=SQR (C1)
240 IF C1<=0 THEN GO TO 260
250 LET H=ATN (S1/C1): GO TO 270
260 LET H=SGN (S1)*PI/2
270 LET C2=COS (B)*SIN (D)
280 LET C2=C2-SIN (B)*COS (D)*COS (T5)
290 LET S2=-COS (D)*SIN (T5)
300 IF C2=0 THEN LET A=SGN (S2)*PI/2
310 IF C2<0 THEN GO TO 340
320 LET A=ATN (S2/C2)
330 IF C2<0 THEN LET A=A+PI
340 IF A<0 THEN LET A=A+2*PI
350 PRINT AT 20,0;"
355 GO SUB 470
360 PRINT AT 15,3;"ALTITUD= ";H/R1
370 PRINT AT 17,4;"AZIMUT= ";A/R1
374 PAUSE 50: PRINT AT 10,1; FLASH 1;"PULSA UNA TECLA PARA CONTINUAR"
375 PAUSE 0: RUN
380 REM
390 REM RUTINA DE CONVERSION
410 REM
420 LET A1=ABS (VAL (A$))
430 LET S=SGN (VAL (A$))
450 LET A=S*(A1+A2/60+A3/3600)
460 RETURN
470 REM CONVERSION ALTITUD APARENTE
480 LET H5=H/R1
485 LET V5=(H5+10.3/(H5+5.11))*R1
490 LET R5=1.02*COS (V5)/SIN (V5)
500 LET H=H+R5*R1/60
510 RETURN

```




P

OR medio de un telescopio mediano nos es posible observar gran variedad de objetos distintos en el firmamento: la Luna, planetas, satélites, estrellas, nebulosas, galaxias, etcétera. Pero quizá los más impresionantes son los cúmulos estelares. Estos cúmulos son agrupamientos de estrellas que forman un compacto conjunto gravitacional.

Principalmente se dividen en dos clases: los cúmulos abiertos y los globulares.

Los abiertos, como su nombre indica, constan de alrededor de un centenar de estrellas dentro de un espacio que puede ser de unos cinco años luz (distancia que recorre la luz en un año), de diámetro. Uno de los cúmulos abiertos más representativos es el de las pléyades (M45), que puede observarse en la constelación de Taurus durante las noches de invierno.

Los cúmulos globulares son conjuntos de hasta un millón de estrellas, compactadas en un espacio esférico. La visión telescópica de un cúmulo globular es impresionante, la densidad estelar en el centro es tan elevada, que no es posible distinguir las estrellas individualmente y sólo se percibe un fondo blanco continuo, hacia los bordes el gradiente de densidad decrece rápidamente y podemos distinguir los componentes individuales que, con el leve parpadeo producido por la atmósfera terrestre, nos produce una vívida sensación de relieve.

El cúmulo globular más conocido y el más brillante observable desde nuestras latitudes es el de Hércules (M13). El número de estrellas que contiene se estima en un millón, siendo el diámetro total de unos ciento sesenta años luz, aunque la gran mayoría se encuentra en una región más pequeña alrededor del núcleo.

El aspecto del firmamento desde un punto situado dentro del cúmulo de Hércules debe ser un espectáculo de esplendor incomparable. El cielo estaría saturado de incontables estrellas, entre ellas la más brillante de

nuestro cielo, Sirio, parecería una enana. Algunos cientos de estrellas, con un brillo comparable al de la Luna llena, evitarían que existiera la noche para un hipotético habitante de un planeta situado en el interior del cúmulo.

El programa que indicamos es una representación gráfica de un modelo matemático que tiene en cuenta los factores siguientes: número total de estrellas, radio del núcleo, efectos de gravedad, etc. La generación de números aleatorios se utiliza para situar los puntos estelares al azar, de acuerdo con un algoritmo. El programa resulta ser un poco lento, sobre todo si deseamos un número elevado de estrellas. En la constante RO determinamos el radio del núcleo y en las XM e YM los valores máximos de las coordenadas de pantalla, que pueden variar de un ordenador a otro.

Se acompañan dos programas: uno para IBM PC y otro para Sinclair.

El programa para IBM PC precisa de una máquina con tarjeta adaptadora de gráficos y pantalla de color. Existe la posibilidad de guardar la imagen como si de tratara de un vídeo cualquiera, gracias a una subrutina de carga.

También podemos visualizar el cúmulo como si nos halláramos en su vecindad inmediata, con la rutina que arranca en 500.

El dibujo final tiene un gran parecido con un cúmulo real, aunque en la representación gráfica todos los puntos (estrellas) tienen el mismo brillo, cosa que no sucede en la realidad.

IBM PC

```
1 RANDOMIZE TIMER
5 KEY OFF
6 CLS
10 SCREEN 1:COLOR 1,0
20 REM      CUMULO GLOBULAR
30 R0=20:R2=R0*R0:R3=R2*R0
40 PI=3.14159265#
50 C0=PI*PI*R3/4
60 R1=R0/SQR(2)
70 XM=319:YM=199 'COORDENADAS MAX. DE LA PANTALLA
80 X2=XM/2:Y2=YM/2
90 S=5 'ESCALA DEL DIBUJO
100 INPUT "NUMERO DE ESTRELLAS ?";T
110 REM
120 CLS
130 FOR I=1 TO T
140 C=C0*RND:R=R1
150 REM
160 REM BUSQUEDA DE R
170 FOR K=1 TO 5
180 GOSUB 350
```

```

190 R=R+(C-C1)/D
200 NEXT K
210 REM
220 REM RELIEVE 3D
230 X=RND-.5
240 Y=RND-.5
250 Z=RND-.5
260 S1=SQR(X*X+Y*Y+Z*Z)
270 IF S1>.5 THEN 230
280 REM SITUAR EL PUNTO EN LA ESPERA
290 R=R*S1;X=X*R;Y=Y*R;Z=Z*R
300 GOSUB 500
310 NEXT I
320 INPUT "QUIERES GUARDAR LA IMAGEN(S/N) ?",SN$
325 IF SN$="S" OR SN$="s" THEN 1000 ELSE END
330 REM
340 REM
350 REM INTERACCION GRAVITATORIA
360 A=R/R0
370 C1=ATN(A)*.5*R3
380 A=1+A*A
390 C1=C1+R*.5*R2/A
395 C1=PI*(C1-R*R2/(A*A))
400 D=4*PI*R*R/(A*A*A)
410 RETURN
420 REM
500 REM DIBUJO EN 2D
510 X=X*S+X2;Y=Y*S+Y2
520 IF X<0 OR Y<0 THEN 550
530 IF X>=XM OR Y>=YM THEN 550
540 PSET (X,Y),1
550 RETURN
1000 REM SUBROUTINA DE CARGA
1010 INPUT "ENTRA EL NOMBRE DEL FICHERO",A$
1020 DEF SEG=&HB800
1030 BSAVE A$,0,&H4000
1040 DEF SEG

```

SINCLAIR

```

10 REM CUMULO GLOBULAR
20 PAPER 0: BORDER 0: INK 7: BRIGHT 1: CLS
30 LET R0=20: LET R2=R0*R0: LET R3=R2*R0
40 LET C0=PI*PI*R3/4
50 LET R1=R0/SQR(2)
60 LET XM=255: LET YM=175

```

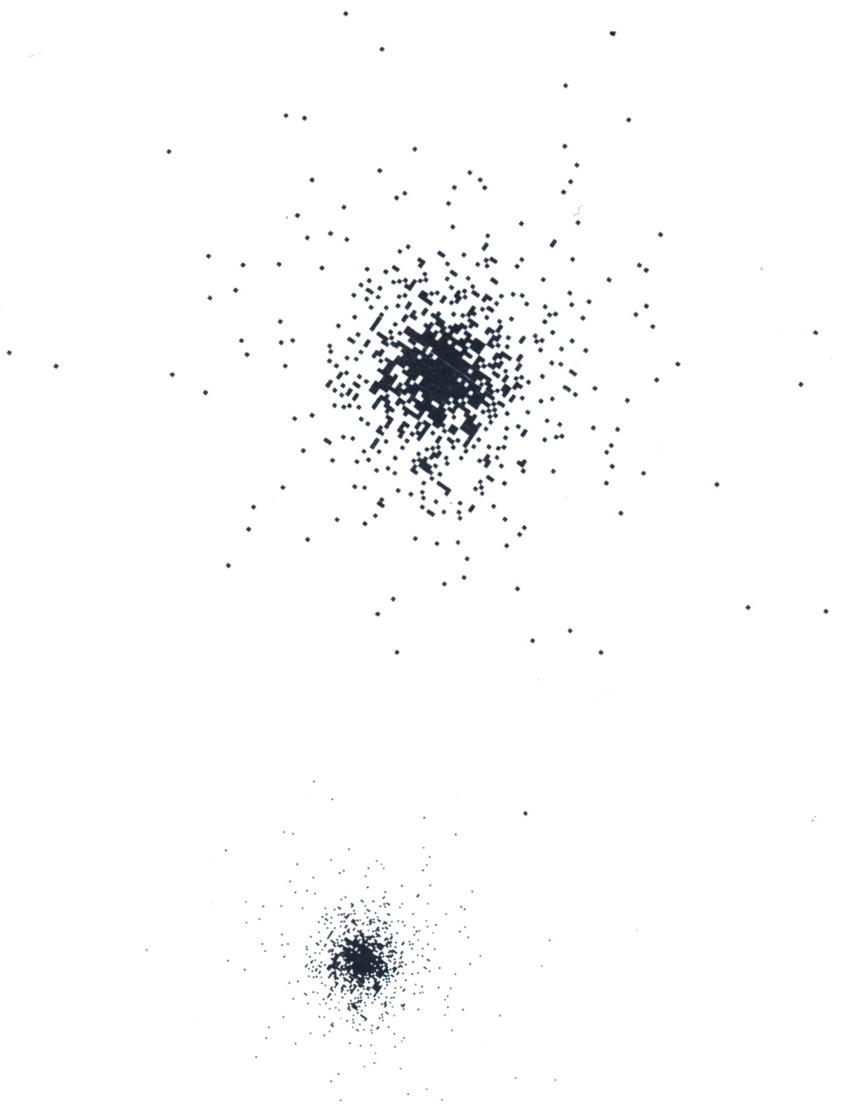
```

70 LET X2=XM/2: LET Y2=YM/2: LET S=5
80 INPUT "CUANTAS ESTRELLAS?";T
90 CLS : FOR I=1 TO T
100 LET C=CO*RND: LET R=R1
110 FOR K=1 TO 5
120 GO SUB 230
130 LET R=R+(C-C1)/D
140 NEXT K
150 LET X=RND-0.5
160 LET Y=RND-0.5
170 LET Z=RND-0.5
180 LET S1=SQR (X*X+Y*Y+Z*Z)
190 IF S1>0.5 THEN GO TO 150
200 LET R=R*S1: LET X=X*R: LET Y=Y*R: LET Z=Z*R
210 GO SUB 300
220 NEXT I
230 LET A=R/RO
240 LET C1=ATN (A)*0.5*R3
250 LET A=1+A*A
260 LET C1=C1+R*0.5*R2/A
270 LET C1=PI*(C1-R*R2/(A*A))
280 LET D=4*PI*R*R/(A*A*A)
290 RETURN
300 LET X=X*S+X2: LET Y=Y*S+Y2
310 IF X<0 OR Y<0 THEN GO TO 340
320 IF X>=XM OR Y>=YM THEN GO TO 340
330 PLOT X,Y
340 RETURN

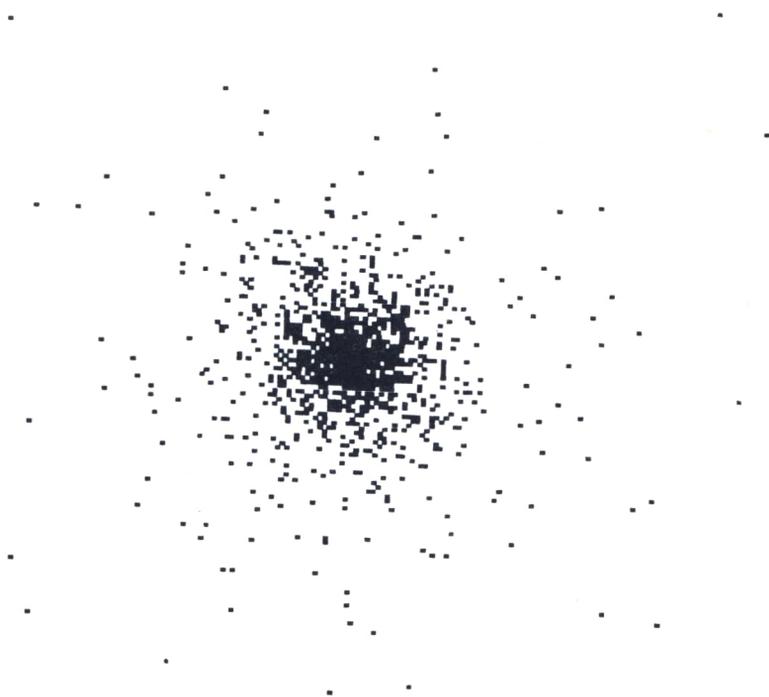
```



Fotografía tomada por el autor a través de un telescopio de 360 mm. de diámetro del cúmulo globular M13 en la constelación de Hércules, el 17-7-1985, a 1 h. 30 m. TC.



Ejemplos del gráfico cúmulos.



Ejemplos del gráfico cúmulos.



LOS telescopios constan básicamente de elementos ópticos como lentes y espejos cóncavos, de un diámetro (y, por tanto, superficie colectora de luz), muchísimo más grande que el del ojo humano, lo que les permite la observación de objetos débiles y situados a gran distancia.

Estos elementos ópticos están dispuestos dentro de una estructura mecánica de soporte y protección. Esta estructura descansa sobre la montura, cuya misión es poder dirigir el telescopio hacia cualquier punto del cielo.

Una vez dirigido el telescopio sobre la zona que nos interesa, un mecanismo compuesto de un motor eléctrico con reducción, controlado electrónicamente, nos mantiene de una manera automática el telescopio centrado sobre el objeto escogido, compensando la rotación de la Tierra.

Para comprender mejor las características de los telescopios, es necesario conocer las siguientes características que los definen:



Abertura y distancia focal

Se llama apertura al diámetro de un objetivo, sea una lente o un espejo. Lo rayos luminosos que inciden sobre un objetivo, procedentes de una fuente muy lejana, convergen en un punto llamado foco; la distancia entre este punto y el objetivo es la llamada longitud focal.



Poder colector

Se llama así la capacidad total de «recoger luz». Esta se relaciona directamente con la superficie del espejo: es directamente proporcional al cuadrado de su diámetro.

Resumiendo, el poder colector nos fija cuál será la magnitud más débil alcanzable por el objetivo.



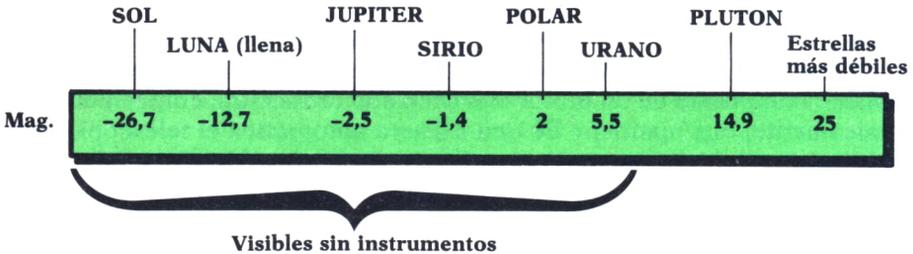
Magnitudes astronómicas

A fin de poder clasificar y estudiar las estrellas y demás objetos astronómicos, se utiliza el término de magnitud, que es un número relacionado con su brillo *aparente*.

Según la antigua clasificación de Ptolomeo, que se conserva en la actualidad, a las más brillantes se las denomina de primera magnitud, mientras que a las más débiles que puede percibir el ojo humano se les atribuye sexta magnitud.

La diferencia entre una magnitud cualquiera y la que le sigue es de 2,5, es decir, que una estrella de segunda magnitud es dos veces y media menos brillante que una de primera, y así sucesivamente.

En el gráfico siguiente puede observarse una distribución cualquiera de objetos astronómicos por magnitudes, del más brillante (el Sol) hasta el más débil perceptible fotográficamente con los medios actuales.



Poder separador

Es la capacidad de un objetivo para separar dos puntos muy próximos entre sí. Será, pues, la medida en que un instrumento pueda resolver las dos componentes de una estrella binaria visual o un difícil detalle planetario.

El poder separador es directamente proporcional al diámetro o abertura del objetivo. Su valor se mide en segundos de arco, abreviadamente ($''$). Con un poder separador teórico de $0,2''$, o menos, las condiciones atmosféricas de turbulencia son decisivas para un buen aprovechamiento del telescopio.



Campo útil

A cada telescopio u objetivo le es posible «ver» una porción ángulo determinado del cielo libre de defectos y aberraciones.

El tamaño angular de este campo es inversamente proporcional a la longitud focal del objetivo.

Tipo objetivo	Longitud focal (mm.)	Campo fotográfico en formato 24 × 36 (grados)
Gran angular	20	95
Objetivo corriente	50	45
Teleobjetivo	135	18
Teleobjetivo	500	5
Cámara de Schmidt	> 500	5-20
Telescopio refractor	> 500	1
Telescopio reflector	> 500	1/2



Aberraciones

Cuando vemos el típico trazado de rayos luminosos de un aparato óptico explicando el camino que siguen en su interior, hay que pensar que se trata de un esquema muy simplificado de la realidad en el que se han supuestos dos condiciones:

1. Los rayos luminosos que llegan al objetivo forman ángulos pequeños con el eje óptico.
2. La luz incidente es un solo color (monocromática).

En consecuencia, cualquier diferencia entre la imagen teórica, basada en las dos condiciones anteriores, y la real se llama aberración.

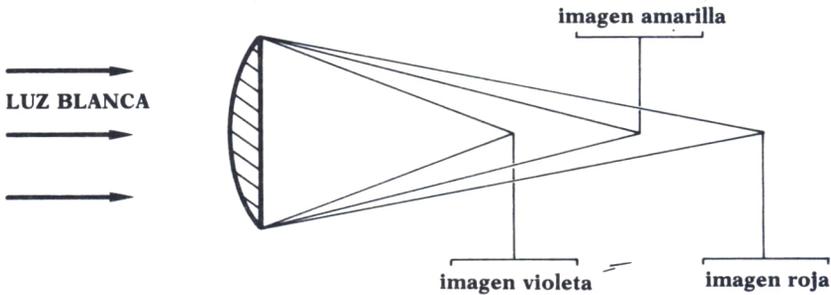
En Astronomía las dos aberraciones más importantes, que afectan a la calidad de un objetivo, son la aberración cromática y la de coma.



Aberración cromática

La distancia focal de una lente depende de su forma y del material de que esté compuesta; este material desviará la luz en mayor o menor grado, dependiendo de su longitud de onda (color).

En consecuencia, una lente única no forma una sola imagen de un objeto, sino una serie de ellas, que se encuentran a distintas distancias dependiendo del color de la luz, según el dibujo siguiente:



Formación de los colores en una lente sencilla.

Aberración de coma

Es la incapacidad de un objetivo de concentrar en el foco los rayos de luz que inciden sobre su zona periférica, en este caso debido a una forma defectuosa de la lente o espejo.

Las imágenes producidas en estos puntos son alargadas, parecidas a cometas, de ahí el nombre de coma. Este defecto limita severamente el campo útil en los telescopios reflectores.

PRINCIPALES TIPOS DE TELESCOPIOS

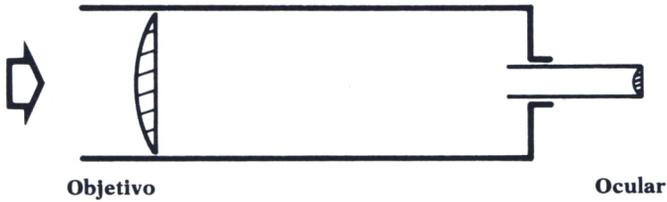
Los telescopios se dividen en tres clases:

1. Refractores, si la imagen se forma por refracción a través de una o más lentes.
2. Reflectores, si la imagen se forma por reflexión sobre una superficie curva.
3. Catadióptricos, cuando son combinación de los dos sistemas anteriores.

Refractor simple

En su aspecto general está constituido por dos lentes de vidrio: una de gran diámetro y larga distancia focal, situada en el extremo del telescopio

dirigido hacia el objeto, es el objetivo, que concentra en su foco los rayos luminosos y forma una imagen invertida del astro a observar; y otra lente, de pequeño tamaño y corta distancia focal, que se halla en el otro extremo del tubo y es donde se aplica el ojo del observador; se trata del ocular, el cual permite examinar la imagen dada por el objetivo, de la que forma una imagen ampliada.

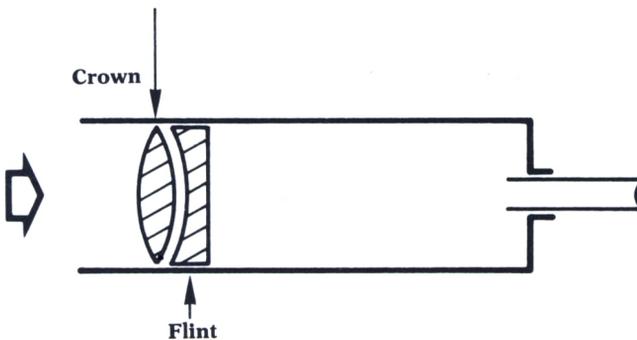


Refractor acromático

Se llama así por estar corregido de la aberración cromática. Está formado por dos lentes en contacto. Una de ellas, la convergente, está fabricada con un vidrio llamado *crown* y la otra, divergente, de vidrio *flint*.

El conjunto está calculado de forma tal que no se producen las aberraciones que son habituales en las lentes simples. Los focos del amarillo y del verde (los colores a que es más sensible el ojo humano) coinciden en un solo punto, sin las molestas coloraciones de las lentes sencillas. La mayoría de los objetivos refractores astronómicos están compuestos de dos o más lentes.

La calidad del cristal óptico, que debe ser totalmente puro y exento de defectos, así como la propia resistencia mecánica del cristal, limitan actualmente el diámetro de las mayores lentes a un metro, aproximadamente.



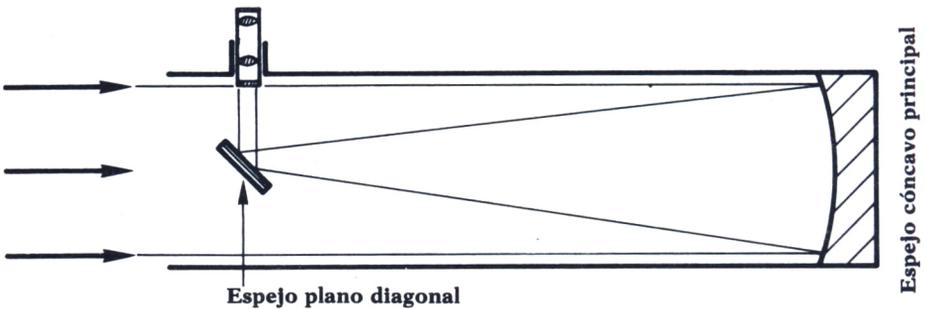
Refractor acromático.

Reflector Newton

Este tipo de telescopio emplea un espejo parabólico que recoge la luz y la concentra en un punto situado en el eje óptico, donde se dispone el instrumental necesario para la observación.

Esta configuración es la más empleada en los grandes telescopios profesionales y también los amateurs. En los telescopios de mediana o pequeña apertura se suele situar un pequeño espejo plano antes del punto donde converge el haz del telescopio principal, inclinado 45° con respecto al eje óptico, a fin de desviar el haz 90° , hacia un punto más conveniente para la observación.

En ambos casos, telescopios grandes o pequeños, la parte de luz que intercepta la caja conteniendo el instrumental o el espejo plano, es una fracción muy pequeña de la superficie total del espejo principal y no representa, por tanto, ningún problema.



Reflector Newton.

El espejo principal es un disco de gran espesor, a fin de reducir las flexiones producidas por su propio peso. La precisión con que se talla y pule un espejo parabólico es superior a la de una lente de un tamaño equivalente.

Un buen espejo parabólico de tamaño medio (300 mm.) puede alcanzar una precisión de 0,00003 mm. Esto da una idea de la dedicación y esfuerzo necesario (se tallan manualmente) para construir estos elementos.

Una vez terminados los procesos de tallado y pulido, debe cubrirse el espejo de una fina (unas pocas milésimas de mm.) capa de aluminio purísimo.

Un espejo pulido, pero sin su capa de aluminio, refleja sólo el 5 % de la luz incidente, por simple reflexión vítrea. Con una capa reflectante de aluminio refleja hasta un 88 %

El material constituyente de los espejos astronómicos es vidrio o cerá-

mica de un coeficiente de dilatación muy pequeño, generalmente pirex, cuarzo, etc.

Los espejos astronómicos pueden construirse en tamaños considerablemente mayores que las lentes. El mayor existente hasta la fecha es el de Zelenchukskaya, en la URSS, de 6 m. de diámetro y 46 Tm. de peso.



Aumento angular del telescopio

Se llama así a la razón que existe entre el ángulo de visión de un objeto, observado a través de un telescopio y observado a simple vista.

Se demuestra que el aumento angular es igual al cociente de la longitud focal del objetivo y la longitud focal del ocular.

$$\text{Aumento} = \frac{\text{LF (objetivo)}}{\text{lf (ocular)}}$$

Se deduce de lo anterior que para poder variar el aumento en un telescopio, puesto que la longitud focal del objetivo es fija, deben emplearse oculares de distinta longitud focal.

Todos los parámetros y características citados anteriormente pueden ser calculados con el programa que presentamos a continuación, esperando sea de utilidad para el constructor amateur de telescopios o simplemente para cualquier persona interesada en el tema instrumental.

El programa está escrito para IBM PC o compatibles.

```
10 CLS:PRINT
12 PRINT " ***** TELESCOPIOS *****"
14 PRINT "1 RESOLUCION Y PODER COLECTOR DE UN TELESCOPIO"
16 PRINT "2 COMA"
18 PRINT "3 TAMAÑO DEL SECUNDARIO"
20 PRINT "4 AUMENTO Y CAMPO DE UN OCULAR"
22 PRINT "5 AUMENTOS MAX/MIN"
24 PRINT "6 MATERIALES OPTICOS"
26 PRINT
28 PRINT
30 LOCATE 14,1:INPUT "TECLEA TU OPCION ";P$
32 IF VAL(P$)<1 OR VAL(P$)>6 THEN GOTO 30
34 ON VAL(P$) GOTO 36,92,114,140,162,184
36 CLS:PRINT "* RESOLUCION/POKER COLECTOR *"
38 PRINT
40 PRINT "TECLEA UNO DE LOS CAMPOS SIGUIENTES:"
42 PRINT
44 PRINT "OBJETIVO (ESPEJO O LENTES) DIAMETRO   ###I(PULGAD) 0
###C(CM)"
```

```

46 PRINT "RESOLUCION DESEADA      ###A(SEG. DE ARCO)"
48 PRINT "MAGNITUD LIMITE        ###M(MAGNITUD ESCALAR)"
50 PRINT
52 INPUT "TECLEA TU OPCION ";C$
54 IF ASC(RIGHT$(C$,1))=73 OR ASC(RIGHT$(C$,1))=105 THEN GOTO 64
56 IF ASC(RIGHT$(C$,1))=67 OR ASC(RIGHT$(C$,1))=99 THEN GOTO 66
58 IF ASC(RIGHT$(C$,1))=65 OR ASC(RIGHT$(C$,1))=97 THEN GOTO 68
60 IF ASC(RIGHT$(C$,1))=77 OR ASC(RIGHT$(C$,1))=109 THEN GOTO 70
62 GOTO 36
64 LET D=VAL(C$):LET R=4.56/D:LET M=9.100001+5*LOG(D)/2.302585
+1.5:GOTO 72
66 LET D=VAL(C$)/2.54:LET R=4.56/D:LET M=9.100001+5*LOG(D)
/2.302585+1.5:GOTO 72
68 LET R=VAL(C$):LET D=4.56/R:LET M=9.100001+5*LOG(D)/2.302585
+1.5:GOTO 72
70 LET M=VAL(C$):LET D=EXP(1/5*(M-9.100001-1.5)*2.302585):LET
R=4.56/D:GOTO 72
72 PRINT "DIAMETRO OBJETIVO = ";D;" PULG."
74 PRINT "DIAMETRO OBJETIVO = ";D*2.54;" Cm."
76 PRINT "MAGNITUD LIMITE     = ";M
78 PRINT "RESOLUCION TEORICA= ";R;" SEG. DE ARCO"
80 PRINT "DIAMETRO IMAGEN ESTELAR = ";20.131*.56/D;" SEG. DE
ARCO"
82 PRINT "TAMAÑO IMAGEN ESTELAR = ";.0024790*.56/D;" VECES LA
DISTANCIA FOCAL EN MILIMETROS"
84 PRINT:GOSUB 86:GOTO 88
86 INPUT "DESEAS SEGUIR S/N ";S$
88 IF S$="S" THEN GOTO 10
90 END
92 CLS:PRINT "***** COMA *****"
94 PRINT "ESTE PROGRAMA CALCULA LA ABERRACION CROMATICA PARA
UN T. NEWTON"
96 INPUT "TECLEA DIAMETRO OBJETIVO (CUALQUIER UNIDAD) ";D
98 INPUT "TECLEA DISTANCIA FOCAL (MISMAS UNIDADES) ";F
100 INPUT "TECLEA DISTANCIA DEL CENTRO EN GRADOS DEC. EJ: 1.25 ";A
102 PRINT:GOSUB 86:GOTO 88
104 LET CO=.1875*(D/F)^2*A*3600
106 PRINT "COMA = ";CO;" SEGUNDOS ARCO"
108 PRINT "ESTA ES LA MAXIMA DIMENSION ANGULAR DE UNA ESTRELLA ";
A;" GRADOS
110 PRINT "FUERA DEL EJE OPTICO"
112 PRINT:GOSUB 86:GOTO 88
114 CLS:PRINT "* TAMAÑO DEL ESPEJO SECUNDARIO PARA UN NEWTON *"
116 PRINT
118 PRINT "INTRODUCE LOS DATOS SIGUIENTES. EN LAS MISMAS UNIDADES"
120 PRINT
122 INPUT "DIAMETRO ESPEJO ";D
124 INPUT "DISTANCIA FOCAL ";F
126 INPUT "DIAMETRO DEL CAMPO ILUMINADO (EN EL OCULAR) ";DF
128 INPUT "DISTANCIA DEL SECUNDARIO AL PLANO FOCAL ";L
130 PRINT
132 LET DI=(D-DF)*L/F+DF
134 PRINT "EJE MENOR SECUNDARIO = ";DI;" UNIDADES"
136 PRINT "EJE MAYOR SECUNDARIO = ";DI*1.414;" UNIDADES"
138 PRINT:GOSUB 86:GOTO 88
140 CLS:PRINT "* AUMENTOS Y CAMPO DE UN OCULAR *"
142 PRINT
144 INPUT "TECLEA DISTANCIA FOCAL DEL TELESCOPIO EN MM";FF:CLS
146 PRINT "OCULAR                PARA OCULAR 40 GR. PA

```

```

RA OCULAR 60 GR."
148 PRINT "DIST. FOCAL      AUMENTOS      CAMPO REAL:
      CAMPO REAL:"
150 FOR I=1 TO 20
152   LOCATE I+3,5:PRINT I*2
154   LOCATE I+3,20:PRINT INT(F(2*I))
156   LOCATE I+3,38:PRINT 40/F*2*I
158   LOCATE I+3,58:PRINT 60/F*2*I
160 NEXT I:GOSUB 86:GOTO 88
162 CLS:PRINT "DIAM.OBJ/PULG.   MAX AUMENT.  MIN AUMENT  D
IAM.OBJ/CM  MAX AUMENT  MIN AUMENT"
164 PRINT
166 FOR I=1 TO 20
168   LOCATE I+2,7:PRINT I
170   LOCATE I+2,22:PRINT I*60
172   LOCATE I+2,35:PRINT I*3
174   LOCATE I+2,48:PRINT I*2
176   LOCATE I+2,58:PRINT I*2*60/2.54
178   LOCATE I*2,69:PRINT I*2*3/2.54
180 NEXT I
182 PRINT:GOSUB 86:GOTO 88
184 CLS:PRINT "* MATERIALES OPTICOS *"
186 PRINT
188 PRINT "CRISTAL:"
190 PRINT "                INDICE      COEF. LINEAL"
192 PRINT "      DENSIDAD REFRAC.      DE EXPANSION"
194 PRINT
196 PRINT "CROWN    1.56   1.516      9.5 X 10-6"
198 PRINT "FLINT   3.60   1.618      8.0 X 10-6"
200 PRINT "PYREX    2.3    1.500      3.0 X 10-6"
202 PRINT "CUARZO   2.2    1.46       5.0 X 10-6"
204 PRINT
206 PRINT "REFLECTIVIDAD"
208 PRINT "PLATA NUEVA   = 93%"
210 PRINT "PLATA VIEJA   = 77%"
212 PRINT "ALUMINIO     = 88%"
214 PRINT "ACERO INOX.   = 59%"
216 PRINT
218 PRINT "POR REFLEXION VITREA SE PIERDE UN 4% DE LUZ"
220 PRINT "POR ABSORCION SE PIERDE UN 1.4% DE LUZ POR CM"
222 PRINT "LOS GRANDES REFRACTORES (LICK 95 CM), TIENEN UN
60% DE TRANSMISION"
224 PRINT "UN OCULAR TIPICO TRANSMITE UN 80% DE LUZ"
226 PRINT:GOSUB 86:GOTO 88

```

MODIFICACIONES AL PROGRAMA

=====

COMMODORE : Sustituir todas las sentencias CLS por PRINT
CHR\$(147)
Cada vez que aparezca en el listado el comando
LOCATE n1,n2, donde n1 y n2 pueden ser numeros o
expresiones, sustituyelo por: POKE 214,n1:POKE 211,n2.

MSX : Solo hay que intercambiar los argumentos de todas las sentencias LOCATE. Si en el listado aparece LOCATE n1,n2 nosotros tendremos que poner LOCATE n2,n1.

SPECTRUM : Sustituir todas las palabras ASC por CODE.
Sustituir todos los LOCATE por PRINT AT de la siguiente manera. Si vemos que aparece LOCATE n1,n2 nosotros tendremos que poner PRINT AT n1,n2.

A large, bold, black letter 'A' is positioned on the left side of the page. The letter is partially overlaid by a series of horizontal green lines that extend to the right, creating a decorative effect.

principios de los años sesenta dio comienzo una época de exploración sin precedentes desde hacía siglos. En esta ocasión, sin embargo, los navíos no eran carabelas al mando de capitanes intrépidos buscando el camino más corto hacia las Indias, ni sacerdotes deseosos de salvar nuevas almas. Nuestras naves son en la actualidad robots controlados desde la Tierra y nuestros capitanes decenas de ingenieros que «ven» a través de ojos electrónicos los impalpables campos magnéticos de Júpiter y «gustan» el sabor de las arenas de Marte.

Subsiste, sin embargo, la duda de si esta exploración debe realizarse con vehículos tripulados por seres humanos, o por el contrario, emplear sondas automáticas. Sabemos que la vida, por su propia naturaleza, tiene una gran capacidad de adaptación a medios hostiles, pero no se trata en este caso de una planta o de algún organismo unicelular, sino de un ser extremadamente complejo en el aspecto fisiológico y psíquico. En primer lugar, la ingravidez prolongada provoca la descalcificación de los huesos, mediante un proceso todavía no muy bien conocido. En los actuales vehículos espaciales no se ha conseguido aún la gravedad artificial, aunque algunos escritores de ciencia-ficción solucionan este problema por medio de una nave en rotación sobre sí misma, de modo que la fuerza centrífuga sea equivalente a la de gravedad sobre la Tierra.

En el aspecto psicológico los vuelos tripulados presentan peores perspectivas. Un viaje corto a un planeta cercano como Marte puede durar un año, mientras que hasta las lunas de Saturno nos ocuparía cuatro años. La sola idea de permanecer durante tanto tiempo en un ecosistema tan reducido como una nave espacial, rodeado además de un vacío inmenso y hostil, puede desanimar al espíritu más atrevido. Está por descubrir si la larga permanencia en estas condiciones puede afectar seriamente la integridad mental de los tripulantes.

Si además de los anteriores inconvenientes incluimos el conjunto de suministros vitales que necesariamente debería transportar un vehículo de estas características (oxígeno, agua, alimentos, etc.), que añadiría un peso considerable a su limitada capacidad, hay que rëndirse a la evidencia y aceptar el hecho de que los vuelos tripulados están aún en la infancia y no existe justificación lógica para su empleo.

No ocurre así con las llamadas sondas automáticas, verdaderos robots especializados que viajan llevando nuestra mejor tecnología para explorar nuevos mundos.

El día 4 de octubre de 1957 el mundo escuchó asombrado el «bip-bip» de la primera máquina fabricada por el hombre que había logrado romper la barrera, hasta entonces infranqueable, de la gravedad y situarse en el espacio. Desde el lanzamiento del Sputnik han pasado sólo treinta años, pero la tecnología ha avanzado siglos.

Los satélites artificiales han pasado a ser de sorprendentes a tan cotidianos, que ni siquiera se toman en cuenta a pesar de que están presentes en muchas de las actividades humanas.

La carrera espacial entre EE.UU. y la URSS se inició por motivos políticos y evidentemente militares, razón por la cual, y dado el interés de los gobiernos respectivos que asignaban generosos presupuestos a tal fin, los avances más significativos se produjeron en pocos años, dando lugar a toda una generación de máquinas, que además de los dudosos éxitos de puro prestigio, han resultado tan útiles en la investigación del espacio como en la de la propia Tierra.

Las ventajas que se han obtenido de ellas son innumerables. Orbitando la Tierra permanecen un gran número de satélites que observan atentamente nuestro planeta, realizando misiones especializadas como las que reseñamos a continuación:

- Comunicaciones que permiten el enlace directo entre los cinco continentes.
- Geodésicos y de investigación de recursos terrestres.
- Meteorológicos, dedicados a la observación de los fenómenos climáticos y cuyas imágenes ilustran cualquier predicción sobre el tiempo atmosférico.
- Navegación, utilizados por los buques y aviones para fijar su posición con una precisión inferior a un metro.
- Militares, cuya ocupación es obvia y que no merece comentarios.

Sin embargo, todos estos logros a nivel terrestre no son en absoluto superiores a los conseguidos en favor de la Astronomía. La ciencia ha dado un paso de gigante en la comprensión del Universo desde que se han roto las cadenas que la ataban a la Tierra.

La atmósfera de nuestro planeta es, por supuesto, indispensable para la vida y también un escudo protector contra las radiaciones letales que in-

ciden sobre ella. Pero también es una venda invisible colocada delante de nuestro instrumentos de detección, que impide que una parte importante de información llegue a nosotros.

La Astronomía es en su mayor parte una ciencia observacional. Salvo en los lugares a donde han llegado las sondas espaciales, de cuya labor nos ocuparemos más adelante con el debido rigor, los astrónomos no han tenido acceso directo a los objetos estudiados. A pesar de ello, poseen la facultad de interpretar el mensaje que continuamente se recibe del Universo entero: la radiación.

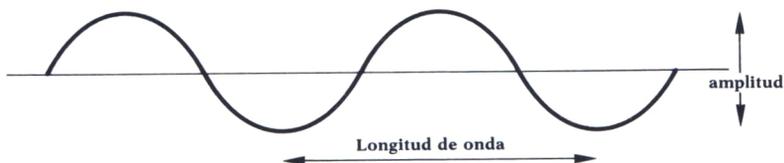
La radiación es energía que se transmite por medio de ondas.

Las características principales de una onda son: su amplitud y su longitud. El valor de la amplitud se mide en unidades de intensidad o voltaje (amperios, voltios) y la longitud en las unidades usuales (metros, centímetros, etc.) y otras menos conocidas que se utilizan para medir distancias extremadamente pequeñas (amströngs $1 \text{ \AA} = 0,0000000001 \text{ m.} = 10^{-10} \text{ m.}$, manómetros $1 \text{ nm.} = 10^{-9} \text{ m.}$).

$$\text{Luz roja} = 4,7 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 4700 \text{ \AA} = 470 \text{ nm}$$

$$\text{Luz verde} = 5,3 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 5300 \text{ \AA} = 530 \text{ nm}$$

$$\text{Luz azul} = 6,4 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 6400 \text{ \AA} = 640 \text{ nm}$$



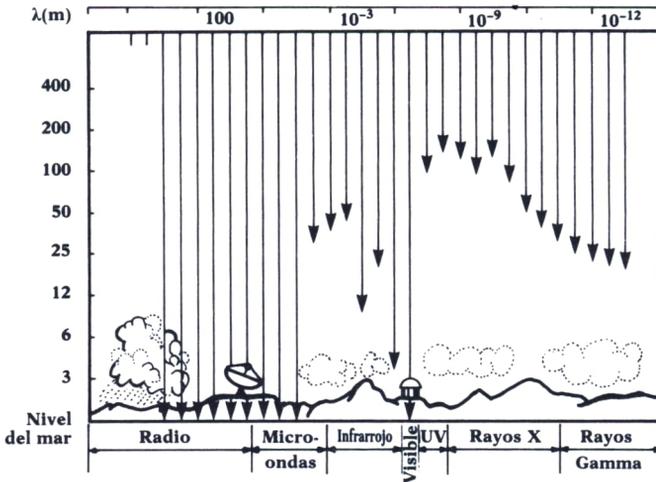
Los seres humanos hemos nacido en un planeta que orbita una estrella amarilla, el Sol; por tanto, nuestros sistemas orgánicos detectores de radiación están adaptados a ella. Nuestro ojo sólo «ve» las ondas comprendidas entre las longitudes de $4 \cdot 10^{-7}$ a $7 \cdot 10^{-7} \text{ m.}$, lo que denominamos espectro visible, pero a ambos lados de esta estrecha franja existen otras radiaciones indetectables para nosotros, pero de la misma naturaleza y que componen el llamado espectro electromagnético.

Si la luz, la radio, las emanaciones de una central nuclear, los rayos ultravioleta que broncean nuestra piel, el calor desprendido por una estufa, los rayos X utilizados en medicina, son radiación, ¿qué es lo que produce la diferencia?

La longitud de onda define un tipo u otro de radiación. La velocidad con que se transmite es la de la luz (lógico, puesto que la luz es radiación), por tanto, cuanto más estrecha es una onda, más ondas llegarán a un detector cualquiera cada segundo. Esto significa que cuanto menor es la longitud de onda más energía se transmite por unidad de tiempo.

Así pues, los rayos gamma, con una longitud de onda de menos de 1 \AA , son muchísimo más energéticos que los infrarrojos, cuya longitud es de

más de 10.000 Å. De ahí que sea mucho más peligroso acercarse a una central nuclear que a una estufa.



Ondas electromagnéticas y en penetración en la atmósfera.



OJOS EN EL ESPACIO

La capa de aire que nos rodea es transparente tan sólo a una parte del espectro electromagnético, que comprende una parte de las ondas de radio y la estrecha franja que denominamos luz visible. Quedan, por tanto, fuera de nuestro alcance los rayos gamma, los rayos X, los rayos ultravioleta, los infrarrojos y las ondas largas de radio.

Esta particularidad atmosférica es un escudo protector contra radiaciones que podrían ser mortales para la vida. A pesar de ello, resulta un serio inconveniente al volver la mirada al exterior.

En el Universo no existe una especial predilección por un tipo determinado de ondas, es decir, cada objeto puede emitir radiación en la longitud de onda que estime conveniente (¡respetando las leyes físicas, desde luego!). Lógico es pensar que si se desea obtener un conocimiento global del Cosmos lo más realista posible, debemos ser capaces de detectar cualquier tipo de radiación, ya que si nos limitamos a lo que podemos observar visualmente, los datos obtenidos serían totalmente parciales.

El tipo de «luz» emitida, reflejada o absorbida por un objeto determinado es una «huella dactilar» que nos permite identificarlo. Cada elemento químico, por efecto de la temperatura, emite, refleja o absorbe una longitud de onda concreta. De esta manera puede saberse la composición de estrellas que están a cientos o miles de años luz.

Así pues, la Astronomía se ha convertido en algo muy distinto de lo que tradicionalmente se conocía de ella. La imagen del astrónomo sentado horas y horas con el ojo puesto en el ocular del telescopio, dibujando y anotando cuanto era capaz de distinguir, ha dado paso a equipos de especialistas en distintos campos de la ciencia: Física, Química, Biología, Geología, etc., que trabajan interpretando los datos que les llegan continuamente de los telescopios terrestres y las naves espaciales, herramientas que otros grupos de profesionales de la electrónica, ingeniería e informática, construyen y controlan para ellos.

Este nuevo concepto de la Astronomía es un fenómeno de las tres últimas décadas, ya que no pudo ser desarrollado totalmente hasta la utilización de cohetes y satélites en la era espacial y el crecimiento de las posibilidades informáticas para la interpretación de los datos obtenidos. Se tomó conciencia de su importancia por primera vez en 1930, cuando se empezaron a detectar ondas de radio procedentes de lugares del espacio sin contrapartida óptica (el objeto emisor es invisible).

Nos hemos referido ya a la diversidad de frecuencias en las que emiten los objetos del Universo; vamos a mencionar algunos, a título de ejemplo, que ópticamente son poco significativos y a los que puede extraérseles muchísima información en otras frecuencias del espectro.

Las nebulosas oscuras (nubes de polvo dispersas entre las estrellas) a menudo esconden en su interior lugares donde están naciendo nuevas estrellas que pueden ser «vistas» con detectores de infrarrojos y radio.

El gas interestelar es transparente a nuestros ojos, pero emite rayos gamma y ondas de radio que lo transforman en brillante si nos colocamos las gafas de «otras radiaciones».

Einstein predijo con su teoría de la Relatividad la existencia de lugares en el espacio de densidad infinita, causados por el colapso gravitacional de estrellas supermasivas; son los llamados agujeros negros. Su detección es sumamente difícil, puesto que en sus cercanías la gravedad es tan intensa que ni la luz puede escapar de ella. La única forma de poder descubrirlos es detectando la radiación X producida por la materia que, situada en su proximidad, es acelerada a velocidades relativísticas (próximas a la de la luz) formando una especie de remolino antes de caer en el agujero.

En junio de 1962 fue lanzado un pequeño cohete que alcanzó 225 km. de altura antes de volver a caer a la Tierra; su carga era un tanto inusual; tres contadores Geiger fueron enfocados al espacio durante breves momentos.

Un contador Geiger es un aparato desarrollado para detectar las emanaciones de materiales radiactivos y prever accidentes en la manipulación de los mismos; también es utilizado para medir escapes en las centrales nucleares y cualquier otro tipo de contaminación radiactiva.

Lo que se esperaba detectar eran rayos X procedentes de la Luna, causados por el impacto del viento solar (flujo continuo de partículas que des-

prende el Sol) en su superficie. En lugar de ello, los sensores fueron a detenerse en algo mucho más lejano, pero más brillante para ellos. La fuente de esta radiación procedía de la constelación de Scorpio, en un lugar donde posteriormente con telescopios visuales no pudo observarse absolutamente nada. Para darnos una idea, si el Sol estuviera tan lejos como Alfa Centauro, la estrella más próxima a nosotros, no podría detectarse ninguna emisión de rayos X que procediera de él, por lo que este desconocido objeto debía ser sumamente potente. Scorpio X-1, tal como fue denominado, es un posible candidato a agujero negro.

Actualmente las naves lanzadas al espacio son equipadas con detectores de infrarrojos, rayos gamma, ultravioletas, rayos X, etc., los cuales, con la ayuda inapreciable de los ordenadores, son capaces de traducir la información recogida en imágenes y nos muestran un mundo que nunca podría ser visto por el hombre con los ojos de que fue dotado por la Naturaleza.



LA ASTRONOMÍA DE RAYOS X

El primer satélite de rayos X se llamó UHURU y fue lanzado desde Ken-ya, en 1970, el día del aniversario de su independencia (*Uhuru* en swahili quiere decir libertad). Este satélite americano y sus sucesores de otras naciones del mundo han localizado ya una docena de fuentes de rayos X en el espacio que, al igual que Scorpio X-1, tampoco coinciden con la posición de ninguna estrella, galaxia, ni cualquier objeto observable.

No es necesario ir tan lejos (¡relativamente, claro!) para encontrar aplicaciones a esta nueva Astronomía. También el Sistema Solar se estudia utilizando estas técnicas que revelan aspectos nuevos de objetos conocidos.

Nuestra estrella, el Sol, es para nosotros la más importante, a pesar de que no es, ni con mucho, de las más grandes. La relevancia de su estudio es, por tanto, evidente. Es, además, un ejemplo cercano del sistema más perfecto, barato y no contaminante de producir energía que intenta reproducir en la Tierra: la Fusión Nuclear. Desde 1950 el Sol es sometido a una vigilancia continua desde el espacio.

En una imagen de rayos X, el Sol aparece muy distinto de lo que estamos acostumbrados a ver. La fotosfera, que es la parte externa que hiere nuestros ojos cuando intentamos mirarlo, no es lo suficientemente caliente para emitir rayos X y, por tanto, aparece como un globo negro rodeado de un halo brillante que es la corona, la cual se mantiene a un millón de grados de temperatura.

Las mejores imágenes del Sol en las bandas ultravioletas y X fueron las obtenidas por el *Skylab*. El *Skylab* fue lanzado en 1973 y en 1978 se desintegró al caer a la Tierra, debido a un retraso en el programa del Space-

Shuttle, que impidió llegar a tiempo de recolocararlo en una órbita superior. Este laboratorio espacial estaba dotado de aparatos para el estudio del Sol en las bandas ya citadas, que funcionaban por control remoto, precisando únicamente que los astronautas que se turnaban para permanecer en la nave recogieran la información registrada y recargaran la película.

Al final de la década de los setenta fue lanzada una serie de satélites denominados HEAO (High Energy Astrophysics Observatories), provistos de detectores de rayos X de alta resolución (capacidad para separar dos detalles próximos entre sí), el segundo de los cuales fue rebautizado con el nombre de *Einstein*.

El observatorio *Einstein* funcionaba, a diferencia del *Skylab*, totalmente a control remoto, ya que no estaba previsto que nadie pudiera llegar a él para cambiar la película. Así pues, las imágenes eran obtenidas electrónicamente y procesadas para su envío a la Tierra. Esta máquina contribuyó de forma valiosísima a la obtención de datos sobre coronas estelares, galaxias superactivas y quasars, dando lugar a las teorías sobre agujeros negros supermasivos situados en su centro, que podrían explicar la enorme cantidad de energía emitida por estos objetos.

El *Einstein* dejó de funcionar en abril de 1981, siendo relevado por el europeo *Exosat*, que, cuando a su vez deje de ser operativo, será sustituido por el *Wilhelm Röntgen*, alemán, llamado así en honor del descubridor de los rayos X.



LA ASTRONOMIA DE RAYOS GAMMA

El grado de precisión obtenido por un telescopio óptico no ha podido ser conseguido todavía por los telescopios de rayos X y gamma. Cuanto más energética es la radiación, más tendencia tiene a ser absorbida por los materiales que constituyen el propio aparato detector, en lugar de poder ser reflejada y reconducida al lugar donde interesa para su estudio. El problema es mucho más grave con los rayos gamma, cuyo poder de penetración es mayor.

Un detector de rayos gamma funciona de la misma forma que el dial de un reloj de cristal líquido, es decir, convierte la radiación energética en luz visible. Se trata básicamente de un cristal de yoduro de sodio, una sustancia conocida habitualmente por sal gema, rodeada de fotomultiplicadores (amplificadores de luz). Cuando los rayos gamma inciden sobre el cristal, colisionan con sus átomos y pierden energía en forma de luz, la cual es ampliada para ser detectable y poderse medir.

El primer satélite de rayos gamma fue lanzado en 1960 y, aunque no pudo tomar fotografías, puso de manifiesto que la mayor fuente de esta radiación proviene del centro de nuestra galaxia, la Vía Láctea; posterior-

mente fue sustituido por el americano SAS-2, que funcionó durante siete meses a partir de 1972, y por el europeo COS-B, que trabajó desde 1975 hasta 1982.

El COS-B fue el más conseguido de todos ellos. A pesar de su poca resolución (2°, es decir, cuatro veces el tamaño aparente de la Luna), consiguió los primeros mapas del firmamento en rayos gamma.

Si con nuestras gafas detectoras de rayos gamma observáramos el cielo, lo veríamos completamente negro, atravesado por una banda brillante que es nuestra Vía Láctea; el Sol es totalmente invisible, salvo cuando se producen grandes emisiones de materia incandescente de su interior, las fulguraciones. Las únicas estrellas visibles son los púlsars, restos de explosiones de supernovas, cuya materia se encuentra a gran densidad, girando a toda velocidad, y que emiten chorros de partículas muy energéticas a intervalos regulares.

Las fuentes de rayos gamma no son tan numerosas como las de las demás radiaciones. Los sucesos u objetos que los ocasionan no son los más frecuentes; la energía necesaria para producirlos es tan enorme que normalmente es generada por grandes cataclismos, la mayoría de los cuales son fenómenos aún no demasiado conocidos. Todo ello, unido a la dificultad de su detección, hacen que la Astronomía de rayos gamma tenga un largo camino que recorrer todavía.



LA ASTRONOMIA ULTRAVIOLETA

La radiación ultravioleta es la única perteneciente al grupo de las más energéticas que no es bloqueada totalmente por la atmósfera. Ciertas longitudes de onda logran atravesarla; sus efectos pueden comprobarse si exponemos nuestra piel a la luz del Sol. Nuestro organismo elabora un pigmento, la melanina, que no es más que un escudo protector contra una radiación, que si bien no es letal, a grandes dosis podría ser perjudicial. La capa de ozono situada en la alta atmósfera detiene la parte mortal del ultravioleta, las longitudes de onda más cortas. A pesar de sus evidentes ventajas, para un astrónomo, interesado en esta parte del espectro, la situación es la misma que si con un telescopio óptico intentara observar el cielo en una noche de tormenta.

Para poder «ver» el Universo ultravioleta es necesario remontarse por encima de la capa de ozono; para ello se han utilizado globos de gran altura y cohetes, pero, por supuesto, la mejor solución son los satélites. Las mejores observaciones se consiguieron con el satélite *Copérnico*, que efectuó un recorrido general por el espacio ultravioleta.

Si graduamos ahora nuestras gafas mágicas para esta banda del espectro y observamos el firmamento, nuestra visión no será tan distinta del cie-

lo «normal» (visible) como sucedía con los rayos X y gamma, aunque las constelaciones quedarán desdibujadas y prácticamente irreconocibles, puesto que el brillo relativo de las estrellas que las forman experimentará grandes variaciones.

Es indispensable para que un cuerpo emita en ultravioleta que su temperatura superficial sea mayor de 10.000° y menor de 100.000° . Esta condición no es difícil de cumplir para multitud de estrellas; normalmente las más jóvenes y masivas «queman» su combustible velozmente y, por ello, son más brillantes en ultravioleta que en visible. Aparte de su importancia como objetos individuales, este tipo de estrellas, según su situación en mayor o menor abundancia dentro del conjunto de una galaxia, nos da una idea de su edad y evolución.

Una regla que se cumple siempre es que un emisor térmico emite preferentemente en una longitud de onda, de acuerdo con su temperatura, pero eso no excluye a las demás. Nuestro Sol, por ejemplo, es una estrella relativamente fría por su pequeño tamaño, su energía se centra en el espectro visible, pero también irradia en todas las demás frecuencias, aunque con menos intensidad.

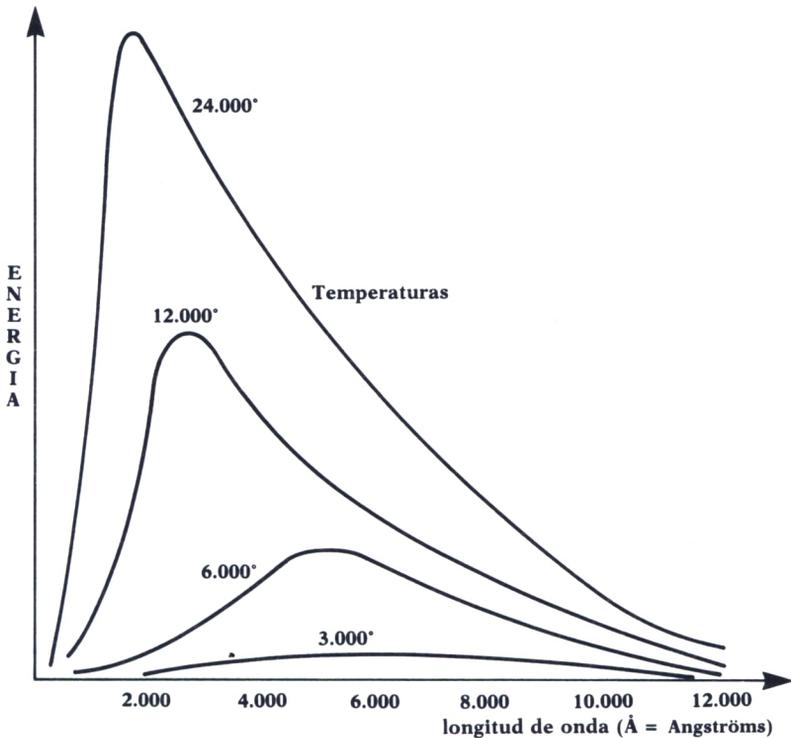


Fig 3. Distribución de energía de un emisor térmico

Temperatura	Longitud de onda de energía máxima		Región del espectro	Tipo de objeto
	° C	cm		
-270	0,1	10 ⁷	microondas	radiación cósmica de fondo
0	0,001	10 ⁵	infrarrojo	la Tierra
3.000	10 ⁻⁴	10 ⁴	infrarrojo	filamento de bombilla
5.600	5 × 10 ⁻⁵	5.000	luz	Sol
10.000	3 × 10 ⁻⁵	3.000	ultravioleta	estrella Sirio
10 ⁶	3 × 10 ⁻⁷	30	rayos X	Pulsar



LA ASTRONOMIA DE LAS LARGAS LONGITUDES DE ONDA: INFRARROJO Y RADIO

Hasta ahora nos hemos ocupado de la zona del espectro que comprende las radiaciones de gran energía, a la derecha de la banda visible. Vamos seguidamente a detenernos en las radiaciones situadas en el lado izquierdo: el infrarrojo y la radio.

Al igual que en el ultravioleta, a lo largo de toda la franja que las comprende, se extienden «ventanas» por las que algunas longitudes de onda pueden ser detectadas desde la Tierra. Uno de los obstáculos con que atraviesa la Astronomía de infrarrojos desde nuestro planeta son las grandes acumulaciones en la atmósfera de CO₂ y vapor de agua, que son precisamente los compuestos opacos a esta radiación. El CO₂ se produce en grandes cantidades en los núcleos habitados e industriales, ya que es el principal subproducto de las combustiones; el vapor de agua es, por supuesto, más abundante cerca del nivel del mar. Por todo ello, los telescopios de infrarrojos se sitúan en las montañas más elevadas lo más lejos posible de los focos de contaminación. El mayor del mundo es el de Mauna Kea, en las islas Hawai.

El infrarrojo nos muestra el Universo frío: estrellas en fase de formación, estrellas viejas o muertas, casi frías, nubes de polvo interestelar, anillos de materia que rodean otros soles (¿planetas?) y en general cualquier objeto que emita a baja temperatura o que, aunque no emita luz, sí la refleja.

La detección de los infrarrojos que quedan detenidos por nuestra atmósfera comenzó en 1970 con el lanzamiento de varios cohetes, que con sólo media hora de vuelo efectivo localizaron más de 2.000 fuentes. Resultaron de una efectividad sorprendente también los globos de gran altura y un avión adaptado por la NASA como observatorio volante, rebautizado con el nombre de Kuiper (en honor del astrónomo del mismo nombre).

Sin embargo, el mayor éxito lo constituyó el satélite *IRAS*, construido

por Holanda e Inglaterra, que exploró durante 1983 el espacio infrarrojo, con una sensibilidad cientos de veces superior al mejor globo. Como resultado, se confeccionó un catálogo con 300.000 estrellas, nebulosas y galaxias, a razón de 200 fuentes por día.

La detección de las ondas más largas lleva implícitos ciertos problemas que limitan la capacidad de los telescopios. Un detector de radio es principalmente una antena parabólica de gran tamaño, ya que la capacidad de resolución (separación de detalles) depende del diámetro del disco, con relación a la longitud de la onda que se observa. Por tanto, como las ondas de radio son un millón de veces más largas que las de la luz visible, el disco ha de ser un millón de veces más grande que el de un telescopio óptico para obtener la misma resolución.

Como puede comprenderse, eso causa multitud de quebraderos de cabeza a la hora de su construcción. En Arecibo (Puerto Rico) se aprovechó una depresión del terreno en forma circular, rodeada de montañas, convirtiéndola en una gigantesca antena de 305 m. de diámetro, que, a pesar de todo, no logra una precisión superior a la del ojo humano.

A pesar de ello, los radiotelescopios son capaces de llegar a los objetos más lejanos estudiados en Astronomía, ya que la radiación emitida por un cuerpo muy lejano y que se mueve a gran velocidad sufre una pérdida de energía, es decir, un aumento de longitud de onda, de manera que, en su mayor parte, llega a la Tierra convertida en ondas de radio (efecto Doppler). Las señales emitidas por los satélites y las sondas espaciales son asimismo recogidas por estas gigantesca antenas, cuyo funcionamiento quedará descrito en los capítulos siguientes.



EL TELESCOPIO ESPACIAL

El desastre ocurrido al estallar el transbordador espacial *Challenger* acarreó el retraso de un considerable número de proyectos de investigación en el espacio, entre ellos el lanzamiento que los astrónomos esperan con más expectación: el telescopio espacial.

Los telescopios ópticos, a diferencia de los demás, pueden estar situados en la Tierra, pero cada vez es más difícil su colaboración en zonas sin contaminación, sin turbulencias atmosféricas y sin luces parásitas, ya que los lugares despoblados y al mismo tiempo accesibles son actualmente muy raros. Por otra parte, la capa de aire que nos rodea coloca un tenue velo (pero velo, al fin y al cabo) delante de los espejos ópticos, atenuando su rendimiento.

La Astronomía óptica no es la única, tal como hemos comentado, pero es una parte importante en la que se seguirá investigando. Cuanto más

avanza nuestro conocimiento del Universo, más precisión es necesaria, los datos deben ser analizados por computador y la tecnología anexa a este tipo de instalaciones es cada vez más grande. Todo eso justifica la inversión efectuada en este telescopio que podrá trabajar al casi 100 % de su capacidad teórica, al enfocar un cielo negro y puro, imposible de encontrar desde la superficie de nuestro planeta.

C

ONOCEMOS ahora las principales tareas que efectúa cualquier nave que abandona la Tierra para dedicarse a la investigación astronómica. Su principal misión es la recogida de datos procedentes de la radiación que continuamente nos llega de todo el Universo. Toda esta información es procesada, almacenada y, una vez reunida y estudiada, forma la base de las teorías modernas sobre el origen y composición del Universo.

La misión de una sonda espacial consiste en general en la exploración directa de los cuerpos del Sistema Solar, que es el único accesible hasta el momento. Aquí ya no nos limitamos a analizar la luz que recibimos de ellos, sino que son fotografiados y cartografiados a corta distancia y en algunos casos incluso se extraen muestras de su superficie.

El desarrollo de estos proyectos ha requerido un gran esfuerzo tecnológico, pero sobre todo informático a fin de «enseñar» a la nave a realizar las tareas necesarias para su propia conservación, a sortear los posibles obstáculos con los que pueda tropezar, a escoger los objetivos que más interesan a los científicos y dirigir sus cámaras hacia ellos.

Para poder confeccionar los programas adecuados hay que conocer, con la máxima precisión posible debido a la distancia, las condiciones reinantes en el lugar donde debe llegar el vehículo. A pesar de ello, se cometen errores que a menudo han causado la pérdida de las naves.

El planeta que más destrozos ha ocasionado a las naves que se han acercado a él ha sido, sin duda, Venus. Este planeta había sido estudiado a distancia desde la Tierra, pero los datos obtenidos en ocasiones parecían ser contradictorios. Galileo lo había observado por primera vez en 1609, no pudiendo notar ningún detalle en su superficie, lo cual es perfectamente cierto si se le observa con un telescopio óptico, aunque sea de mejor calidad que el de Galileo. Venus está cubierto completamente de nubes, que ocultan totalmente su superficie; debido a ello la imaginación popular le

atribuyó características de un planeta húmedo y pantanoso, con una vida exuberante como la que existía en la Tierra en el período Carbonífero. La ilusión empezó a tambalearse cuando las técnicas del análisis espectroscópico no mostraron indicio alguno de vapor de agua en la atmósfera. Posteriormente los primeros radiotelescopios detectaron radiaciones que indicaban que la superficie debía estar más caliente de lo esperado.

Venus ha recibido la visita de numerosas naves procedentes de la Tierra; los EE.UU. lanzaron el 26-8-1962 el *Mariner 2*, que logró acercarse a 35.000 km. y que confirmó que la temperatura en la superficie era de unos 400°. Pero ha sido la URSS la que mayor interés ha demostrado por descubrir las condiciones de este planeta y la que mayor número de naves ha perdido en el intento.

La atmósfera de Venus se compone en su mayoría de CO₂ (dióxido de carbono), a una densidad 100 veces superior a la terrestre; además, sus nubes se componen de una solución concentrada de SO₄H₂ (ácido sulfúrico), con pequeñas porciones de ácido clorhídrico y fluorhídrico a elevada temperatura.

Cerca de una docena de naves intentaron acercarse a la superficie y perecieron en el intento; la primera en lograrlo fue la soviética *Venera 8*, que sobrevivió por espacio de unos cincuenta minutos antes de «freirse» en el horno venusino. Las sondas que se dirigen a Venus han de contar con potentes aparatos de refrigeración y estar construidas como un batiscafo preparado para descender a un kilómetro de profundidad en un océano terrestre, que es el equivalente a la presión atmosférica de la superficie de este planeta.

Completamente distintas eran las naves que exploraron por primera vez el planeta Marte. Realizaron esta misión las series *Mars* (soviética) y *Mariner* y *Viking* (norteamericanas).

Después de los primeros lanzamientos encaminados a fotografiar la superficie, se realizaron los primeros intentos de descender a ella. La primera en hacerlo fue la *Mars 3*. Constaba, como todos los vehículos destinados a este fin, de un orbitador y un explorador, destinado a posarse en la superficie, para lo cual va provisto de un paracaídas para frenar su velocidad en la escasa atmósfera marciana, un escudo cerámico de ablación que protege la nave del calentamiento producido por el roce de la atmósfera y unos retrocohetes también para el frenado en los últimos segundos anteriores al contacto con el suelo. La misión del *Mars 3* fue programada con todo detalle desde la Tierra; cada paso fue minuciosamente registrado en las instrucciones que transportaba la nave, pero no existía la posibilidad de cambiarlas una vez se hubiera iniciado el viaje. El *Mars 3* llegó a Marte en medio de una furiosa tormenta de polvo, datos confirmados por el *Mariner 9*, que coincidió con la misión rusa; ésta funcionó correctamente, hasta que vientos superiores a 120 m. por segundo arrastraron el

paracaídas e hicieron rebotar la nave por el suelo marciano hasta perderse totalmente el contacto.

A pesar de sus intentos, los rusos no lograron descender con éxito en Marte. Los ingenieros tomaron conciencia de que no podía enviarse una nave a un planeta lejano, que no pudiera cambiar su programación en función de las condiciones existentes en el momento de la llegada, ya que los planetas, al igual que la Tierra, poseen una atmósfera cambiante y a menudo mucho más hostil. También a medida que estas misiones se alejaban del planeta madre era más difícil prever lo que encontrarían al llegar a su destino y las instrucciones radiadas desde la Tierra podrían llegar demasiado tarde. Se hizo patente la necesidad de que las naves fueran, al menos parcialmente, inteligentes.

El repetido fracaso de las sondas soviéticas impulsó a la prudencia a los especialistas norteamericanos responsables del proyecto *Viking*, que, al igual que los *Mars*, debía descender a la superficie marciana. Los *Viking I* y *II* estaban, además, equipados con laboratorios biológicos automáticos destinados a descubrir la existencia de vida en Marte.

Los orbitadores de las dos naves permanecieron largo tiempo en órbita alrededor del planeta rojo transmitiendo fotografías de manera continua, a fin de encontrar un lugar apropiado para el descenso y, por supuesto, de evitar vientos laterales que pudieran arrastrar el paracaídas.

El lugar de «aterizaje» debía ser, además, lo suficientemente llano para posibilitar que el vehículo explorador pudiera posar sus tres patas de una manera estable; si éstas hubieran tropezado con alguna roca lo suficientemente grande, la nave hubiera podido volcar y eso hubiera impedido tanto el contacto con la Tierra (la antena estaría mal dirigida), como los experimentos biológicos, para los cuales un brazo articulado era el encargado de recoger muestras del suelo.

Los lugares elegidos (las llanuras de Utopía y Crise) eran muy llanos, tanto, que se les atribuyó posteriormente escaso interés, tanto geológico como biológico.

A pesar de ello, los *Viking* obtuvieron las primeras fotografías de la superficie marciana, captadas y recibidas con gran nitidez, y aunque no logró encontrar vida, esta posibilidad aún no ha sido descartada.



LOS VIAJEROS

El gran triunfo de la era de las sondas espaciales no tripuladas lo han constituido sin duda los *Voyager*. El *Voyager I* fue lanzado el 5 de septiembre de 1977 y el *Voyager II* el 20 de agosto del mismo año.

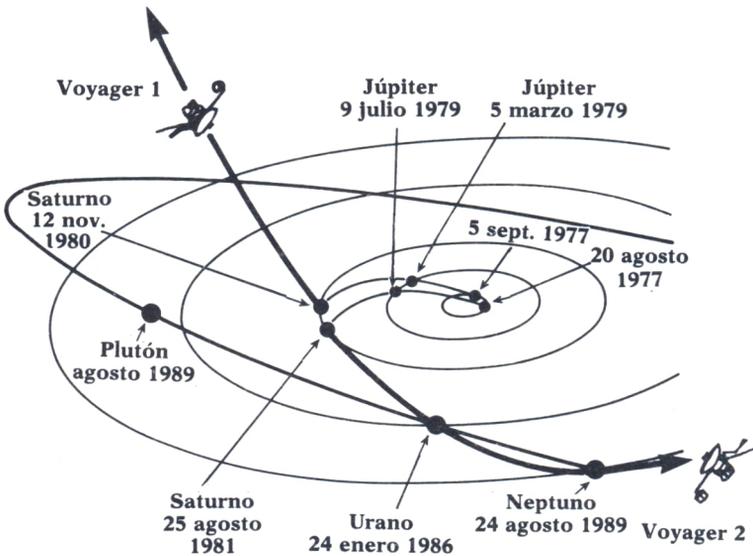
Estas naves son sondas balísticas, es decir, conservan la velocidad adquirida en el lanzamiento (en el espacio no hay frenado por rozamien-

to), y además aprovechan el «tirón» gravitatorio de los mundos que van visitando para efectuar cambios de dirección y acelerarse o frenarse. Puede comprenderse el enorme trabajo efectuado para calcular la trayectoria a seguir, de un modo tan exacto, que permitiera el seguimiento de un camino predeterminado, teniendo en cuenta, además, los movimientos de todos y cada uno de los planetas y satélites visitados.

La misión de los *Voyager* consistía en explorar Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, para después perderse fuera del Sistema Solar. El *Voyager I* llegó a Júpiter el 5 de marzo de 1979 y a Saturno el 12 de noviembre de 1980; para él ya ha terminado la misión y navega fuera del Sistema Solar. El *Voyager II* llegó a Júpiter más tarde que su compañero, aun cuando había sido lanzado antes, debido a que su trayectoria era más lenta; el encuentro se produjo el 9 de julio de 1979, aunque las misiones eran parecidas, al llegar en momentos distintos, los datos obtenidos se complementan.

El *Voyager II* visitó Saturno en agosto de 1981 y Urano en 1986 y se espera su encuentro con Neptuno en septiembre de 1989.

La labor realizada por estas dos máquinas ha convertido en anticuados los libros publicados sobre los planetas exteriores, anteriores a su llegada. Las miles de fotografías de los gigantes de gas y sus satélites, tan grandes como planetas, son, además de su incuestionable valor científico, de una belleza increíble.



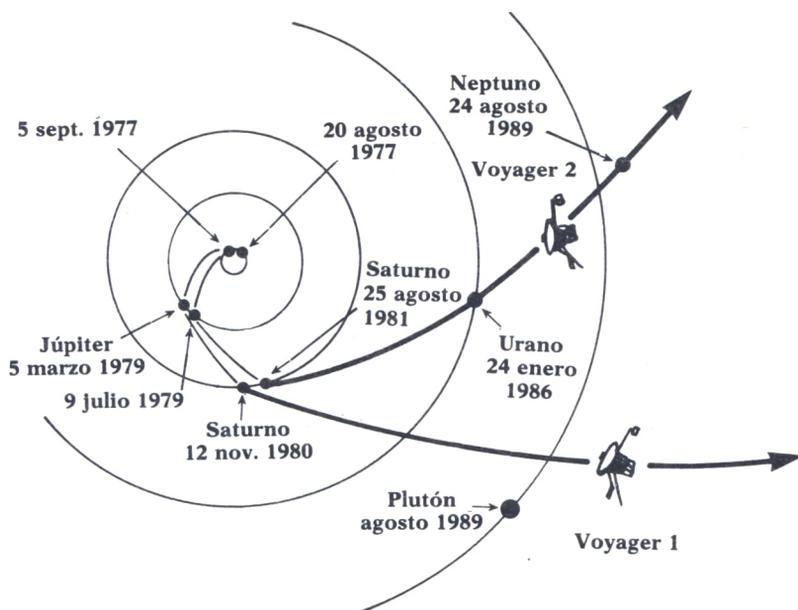


Figura 4. Camino de las sondas Voyager I y II en el Sistema Solar.



ANATOMIA DE UN VEHICULO ESPACIAL

Una manera de entender la gran versatilidad de estas máquinas es analizar sus componentes con detalle.

Un robot de exploración tipo *Voyager* se compone de los siguientes elementos:

- Ordenador.
- Control básico de orientación.
- Equipo de comunicaciones.
- Suministro de energía.
- Equipo científico.



EL ORDENADOR

El ordenador es el responsable del vehículo en su totalidad. Normalmente son dos: uno permanece operativo y funcionando, mientras que el otro se mantiene en reserva, sólo para el caso de que se produzca un fallo

importante en el hardware del primero. Cuando eso ocurre, toma el control de la situación con una pérdida mínima de tiempo y de datos.

Inicialmente el ordenador contiene un programa básico que le permite establecer comunicaciones y aceptar la carga de nuevos programas. Una vez se aleja de la Tierra camino de su objetivo, se recarga un programa que puede consistir tan sólo en el control y transmisión a la Tierra de los datos rutinarios de ingeniería y estado de la máquina (nivel de combustible, temperatura, intensidad y voltaje del suministro eléctrico, etc.). Hay que entender, sin embargo, que en estos momentos el vehículo es ya capaz de tomar decisiones en un caso grave de forma automática, es decir, por ejemplo: si un panel solar se calienta demasiado, radiará esta información a la Tierra, pero procederá a la desconexión del elemento averiado antes de recibir la conformidad de la base. En realidad, esta situación ha sido prevista anteriormente por un equipo de ingenieros y programadores para que la máquina reaccione en ausencia humana con rapidez y eficacia, de acuerdo con las instrucciones contenidas en su memoria.

Cuando el vehículo se aproxima a una fase crítica del vuelo, por ejemplo, inserción en órbita, aproximación planetaria, etc., diariamente se cargan nuevos programas de acuerdo con los trabajos previstos a realizar durante el próximo día. Para asegurar al máximo la fiabilidad de los mismos, se ejecutan antes en una nave gemela que se encuentra en la Tierra con el fin exclusivo de ser usada como test, lo que permite retocar y alterar si es necesario las instrucciones para un resultado óptimo.

Una vez terminada la transmisión de cada programa, se comprueba que haya sido correctamente cargado en la memoria del ordenador y se le manda un comando de ejecución para la hora, minuto y segundo que interesa su activación.



PREPARACION PARA RADIACIONES

Este tipo de computadores son conjuntos altamente compactos, preparados para trabajar en el espacio. Esta preparación incluye dos condicionantes externos principalmente: radiación y temperatura. La radiación afecta principalmente a los elementos de estado sólido (transistores, diodos, etc.), que básicamente constituyen el ordenador y que son especialmente sensibles a los campos de gran energía que envuelven algunos planetas. La Tierra, por ejemplo, está rodeada de un intenso campo de partículas llamado cinturón de Van Allen, donde electrones y protones quedan atrapados en la invisible atmósfera magnética del planeta o magnetosfera. Este cinturón de radiación es especialmente intenso en la magnetosfera de Júpiter, el mayor planeta de nuestro Sistema Solar.

Una de las primeras sondas de espacio profundo (se denominan así las

que van más allá de Marte y los asteroides) el *Pioneer 10*, en misión de exploración a Júpiter, recibió de lleno el impacto de las energéticas partículas aceleradas por el campo magnético planetario, cuya existencia se conocía, pero no su intensidad. El equipo de ingenieros que proyectó el vehículo colocó un blindaje suficiente para una intensidad calculada teóricamente, que resultó más baja que la real. La máquina recibió una dosis de 200.000 rads de electrones y 56.000 rads de protones. Para un ser humano una dosis de 500 rads es letal (rads = unidades de radiación). Cuando el *Pioneer* se sumergió en el violento océano magnético joviano, el contacto (Earth-Lock) desde el control de la misión en la Tierra se cortó y la nave estuvo a punto de perderse.



PREPARACION TERMICA

La preparación térmica consiste en procurar mantener a temperatura constante los elementos más críticos: procesador, memoria, reloj, etc. Aunque es conocido el hecho de que los ordenadores y los circuitos electrónicos trabajan mejor a baja temperatura, existe lógicamente un límite, que hace que, en el frío espacio interplanetario, unos pequeños calefactores aseguren el funcionamiento estable de todos los componentes.

El ordenador es, pues, capaz de tomar decisiones sobre unos supuestos previstos con anterioridad, de una forma automática. Hay que darse cuenta de que esto debe ser necesariamente así debido al retraso que sufren las señales de radio en el camino de ida y vuelta a la Tierra.

La velocidad de la luz, aunque es enorme para los estándares terrestres, resulta mediana e incluso pequeña cuando tratamos de distancias cada vez más grandes. Supongamos una transmisión entre la Tierra y la Luna, la distancia que las separa es de 384.000 km., aproximadamente; por tanto, un impulso de radio tardará en recorrer esta distancia:

$$\frac{384.000}{300.000} = 1,2 \text{ seg. aproximadamente}$$

Este lapso de tiempo parece corto, pero en un segundo pueden suceder muchas cosas si se está en un fase crítica de inserción en órbita o en el alunizaje.

Si en lugar de la distancia Tierra-Luna tomamos la distancia Tierra-Saturno, la duración del viaje de las ondas de radio es de:

$$\frac{1.427.000.000}{300.000} = 4.257 \text{ seg.} = 1,18 \text{ horas}$$

Vemos claramente que este retraso en la respuesta a una eventualidad hace necesario disponer de un elemento que pueda tomar decisiones.

Sobre el ordenador también recae la responsabilidad de mantener la nave perfectamente estabilizada en los tres ejes X, Y, Z. Eso se consigue por medio de dos sensores fotoeléctricos, uno dirigido perpetuamente al Sol, mientras que el otro trata de mantener centrada a la brillante estrella del hemisferio Sur, Canopus. Cualquier desviación con respecto a estos dos faros interplanetarios se traduce en un reajuste de la posición de todo el vehículo. Además del sistema de sensores, el ordenador recibe información de tres giróscopos que en posiciones perpendiculares entre sí mantienen la navegación inercial del vehículo. Estas operaciones son muy importantes, ya que hay que mantener a toda costa la antena parabólica de la nave dirigida permanentemente hacia la Tierra, para asegurar la comunicación.



COMUNICACIONES

El peso de las emisoras y, por tanto, su potencia, están severamente limitados. Una emisora normal de radiodifusión suele tener una potencia de varias decenas de kilovatios, mientras que el *Voyager*, por ejemplo, sólo dispone de 20 W. para radiar información desde Urano.

Debido a ello, en la Tierra, donde el condicionante de peso no existe, debe disponerse de un sistema capaz de detectar estas debilísimas señales, separarlas del ruido de fondo y emitir los mensajes destinados a la nave con una potencia tal que puedan ser detectados con el mínimo error; esta función la realizan las antenas parabólicas.

Una antena parabólica es capaz de concentrar y dirigir un haz electromagnético con una eficacia remarcable. Por este motivo es necesario mantener la dirección precisa con el menor error posible.

Se trata del mismo caso del cazador que dirige su arma con una pequeña desviación respecto al blanco perfecto. El proyectil se desviará poco al principio, pero esta desviación será más evidente cuanto más lejos esté situado el blanco. Por ejemplo, si la antena de un vehículo cercano a la órbita de Júpiter (distancia media de 600 millones de km.) se desvía solo 1°, erraría el blanco en ¡10 millones de km.!

Hay que tener en cuenta, sin embargo, que el haz de radio posee una dispersión con respecto al eje ideal que nos permite cierto margen de error, que, en el caso del *Voyager*, es de unos 6°.

La dificultad en seguir, controlar y comunicarse con una sonda espacial que se encuentra a una distancia de miles de millones de kilómetros es considerable. La señal que llega a la Tierra desde el pequeño transmisor de 20 W. de la nave es tan reducida que, sin emplear sistemas de detección y amplificación altamente sofisticados, sería indistinguible del ruido de fondo del espacio.

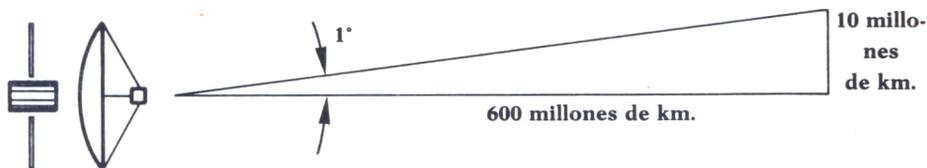


Fig. 5. *Dispersión de un haz rectilíneo.*



LAS ESTACIONES DE SEGUIMIENTO

La NASA tiene en funcionamiento tres estaciones para espacio profundo distribuidas por el planeta en lugares estratégicos, lo que le permite que por lo menos una de ellas permanezca en visión directa con el vehículo. Están situadas en Camberra (Australia), Goldstone (EE.UU.) Madrid (España).

Son necesarias tres estaciones, puesto que, debido a la rotación de la Tierra, cualquier objeto en el firmamento «sale» y «se pone» como si se tratara del Sol o la Luna; por tanto, en el momento de la puesta y como que las señales no pueden atravesar el planeta, se desvanecen y se debería esperar doce horas para la reconexión. Adicionalmente, para una longitud geográfica determinada no es visible (excepto en el Ecuador) el 100 % del firmamento. Por ejemplo, desde la latitud media de España, unos 40° Norte, vemos el 78 % del cielo, mientras que el 22 % restante nos es perpetuamente invisible.

Todas las imágenes y datos recibidos por las estaciones se envían inmediatamente al JPL (Jet Propulsion Laboratory) en Pasadena (EE.UU.), para su tratamiento y procesado.

El espacio está bañado en ondas electromagnéticas; las ondas de radio y de luz llenan totalmente el Universo, ya que cualquier cuerpo, por el sólo hecho de estar a una temperatura mayor del cero absoluto, está radiando energía.



TEMPERATURA ABSOLUTA

Se llama cero absoluto al valor de temperatura a la que corresponde una actividad nula en los átomos y moléculas.

Los grados absolutos se miden en grados Kelvin (°K), siendo la relación entre la escala absoluta y la centígrada (°C):

$$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$$

Los parásitos presentes en los receptores de comunicaciones se hallan tan estrechamente vinculados a la temperatura que los ingenieros emplean continuamente medidas de temperatura para expresar la magnitud de estos ruidos y su procedencia.



EL FONDO DE RADIACION

En 1965 Wilson y Penzias descubrieron lo que se ha dado en llamar el fondo universal de radiación a 2,7° K. Se trata de una radiación homogénea e isotrópica (que viene de todas partes).

Esta radiación puede explicarse si se admite una formación del Universo basada en la teoría del Big Band (la gran explosión). Los cosmólogos creen que se trata de un residuo fósil y enfriado a 2,7° K de lo que fue un Universo muy caliente y denso, hace ahora 15.000 millones de años.

Además de los 2,7 °K de residuo cosmológico, existen en el espacio otras radiofuentes, como el Sol, Júpiter, el centro de nuestra galaxia, los púlsars, los quasars y las radiogalaxias. El nivel de todo este ruido natural es pequeño, de tal manera que lo que más influye sobre los equipos de comunicación es su propia temperatura.



SEÑALES Y RUIDOS

Lo fundamental en una buena transmisión es una aceptable relación señal/ruido. Los técnicos electrónicos definen claramente esta relación cuando refiriéndose, por ejemplo, a un amplificador afirman que posee una relación señal/ruido de 20 decibelios.



LOS DECIBELIOS

El decibelio o decibel es una división fundamental en una escala logarítmica para expresar la razón entre dos potencias.-

$$\text{Decibelio} = \text{dB} = 10 \log \frac{P_1}{P_2}$$

siendo P_1 la potencia de la señal y P_2 la potencia del ruido.

Con los datos del ejemplo anterior: señal/ruido = 20 dB, estamos indicando que la señal es 100 veces mayor que el ruido, ya que dando valores a la anterior ecuación tenemos:

$$\text{dB} = 10 \log \frac{100}{1} \quad (\log 10 = 2)$$

por tanto, dB = 10 · 20

Hay que tener en cuenta que también puede expresarse en dB la relación entre señal de salida/señal de entrada, que es, en definitiva, la ganancia del amplificador.

Para mejorar la señal que nos ha llegado del vehículo en las estaciones de seguimiento se utiliza una antena parabólica de 64 m. de diámetro e inmediatamente después un amplificador tipo Maser, de 45 dB de ganancia.

Antes de la implantación del Maser se había logrado amplificar señales muy débiles empleando aparatos mantenidos en frío. Todos los amplificadores de uso común presentan interferencias debido al inevitable efecto de producción de calor sobre sus resistencias, cables y transistores. Un aparato normal de microondas de una calidad mediana puede presentar, por ejemplo, una temperatura parásita de alrededor de 313° K; de este total, un 95 % es debido a la agitación termal del propio amplificador y el restante 5 % al ruido que es introducido en la onda de entrada



EL MASER

Es un sistema que se basa en las propiedades amplificadoras de un cristal colocado en una cámara de resonancia cuyas dimensiones han sido calculadas exactamente para que se amplifiquen las señales que nos interesan. Todo el conjunto está encerrado en una cámara de frío mantenida a unos pocos grados por encima del cero absoluto por medio de la adición de nitrógeno o helio líquido.

La temperatura del conjunto formado por el Maser y las guías de onda en la estación de Robledo (Madrid) es de sólo 20° K. Todas las cualidades de estos amplificadores resultan, sin embargo, de poca utilidad si se trabaja con microondas recogidas por una antena orientada hacia algún objeto dispuesto sobre la superficie terrestre. La temperatura, incluso en un invierno polar, es en este caso tan elevada, que es suficiente para provocar la intrusión de parásitos térmicos en las señales recibidas, por lo que estos dispositivos son de aplicación óptima en Astronáutica y Radioastronomía.

Todo el sistema receptor de la estación, incluyendo el equipo Maser, tiene una ganancia de 176 dB. Para tener una idea de lo que esto significa, considérese que recibieron perfectamente las señales del *Voyager* desde Urano con 150 dB. Sin embargo, esta recepción puede hallarse peligrosamente en su límite operativo, cuando esta sonda llegue a Neptuno, razón por la que, actualmente, se está ampliando la antena de 64 m. a 70 m. Otra mejora importante incluye el empleo conjunto de dos de las antenas de la estación, la de 34 m. y la de 70 m.



URANO Y LA LLUVIA

La extrema debilidad de estas señales hace que la temperatura equivalente del sistema receptor (que hemos dicho es de 20° K) suba mucho cuando está lloviendo o haya mucha humedad en la atmósfera. La razón estriba en que el agua es un medio material colocado entre la antena y el vehículo a una temperatura (eléctricamente hablando) elevada; por tanto, la relación señal/ruido baja y es más difícil separar las señales de ruido de fondo. Durante el paso del *Voyager* por Urano sucedió que partes del mosaico de imágenes de uno de los satélites, *Miranda*, se perdieron durante la transmisión, ya que en la estación, que en aquellos momentos estaba recogiendo en directo, llovía torrencialmente. Sin embargo, y gracias a que el vehículo dispone de un sistema grabador de cinta, los paisajes de *Miranda* fueron retransmitidos de nuevo por medio de una orden enviada a la máquina. La potencia con la que se remiten estas señales (órdenes o programas) depende de la distancia a que se encuentre la nave, pero suele ser de unos 60 ó 70 Kw., alrededor de 3.000 veces más que el poder emisor de la sonda.



LA BANDA «S» Y «X»

El sistema de comunicaciones del *Voyager* opera en dos longitudes de onda diferentes, la banda «S», de 13 cm., y la banda «X», de 40 cm. La banda «X» se utiliza exclusivamente en el llamado enlace descendente, es decir, la comunicación vehículo-estación, mientras que el enlace ascendente, estación-vehículo, puede hacerse indistintamente en banda «S» o «X».

Si deseamos que dos ordenadores establezcan una comunicación a distancia, necesitamos convertir los voltajes que representan los unos y los ceros lógicos a variaciones sobre una onda continua que llamamos portadora. La portadora tiene una frecuencia básica que depende de la banda empleada y una potencia que es función del emisor utilizado.

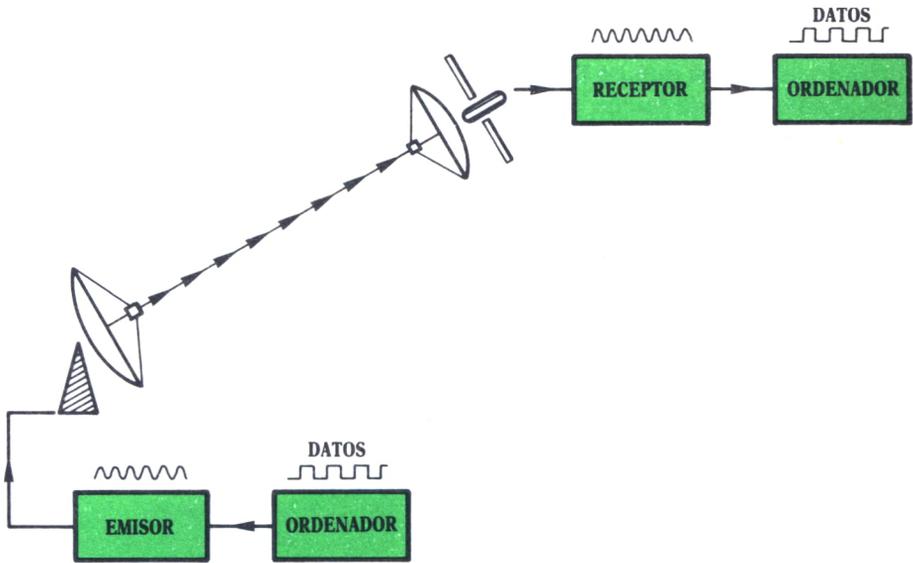


Fig. 6. Comunicación ascendente.

En este sistema de comunicación los bits se transmiten uno a uno, «serialmente», en bloques de información que constan generalmente de tres porciones: dos sectores de control al principio y al final del bloque y un sector central, que contiene los datos.

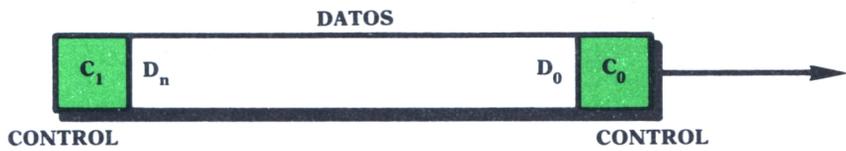
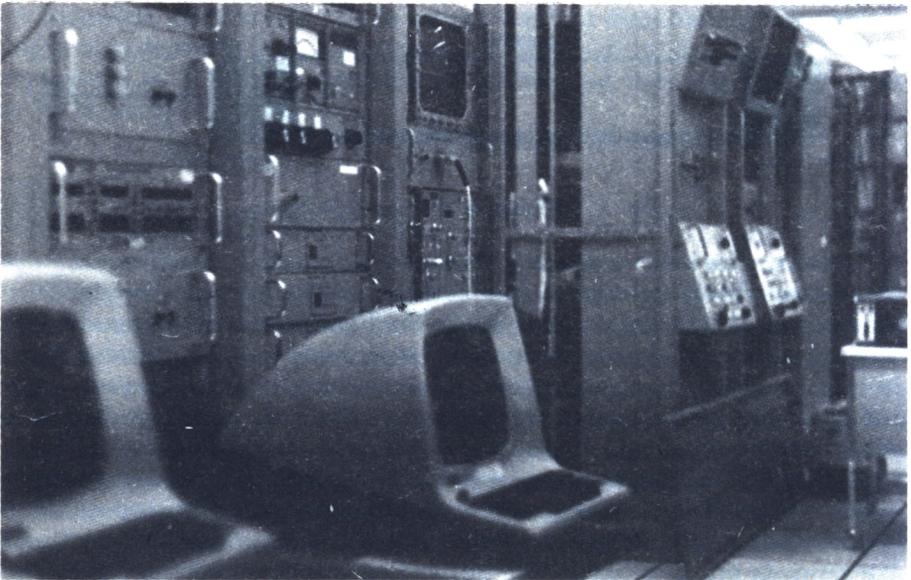
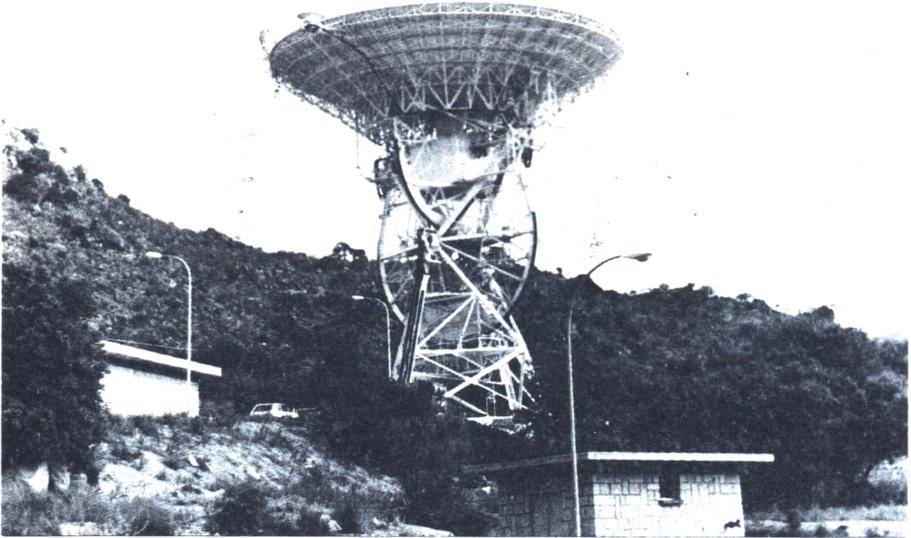


Fig. 7. Bloque de información típico.

La estructura interna de estos bloques depende de la codificación y tipo de los correctores de errores que empleemos. En un caso muy general, los sectores de control de principio y final podrían estar compuestos de bytes de unos, con el fin de preparar y sincronizar los circuitos detectores de lectura para la operación que se avecina. Con esto la máquina «sabe» que la información que sigue después de la tanda de unos son datos a tener en cuenta.

Así, podemos imaginar que a través de las antenas receptoras estamos recibiendo un flujo continuo de bits, uno a uno, como si se tratara de un tren compuesto de múltiples vagones (bits). La anchura de cada bit queda determinada por la velocidad de transmisión, que se mide en bits por se-

gundo. Esta velocidad también se llama «baund rate». Cuando el *Voyager* pasó por Júpiter, el baund rate era de 115 Kb, es decir, 115.000 bits por segundo, mientras que en Saturno la velocidad tuvo que rebajarse a 44 Kb para mantener una buena relación señal/ruido.



≡≡≡ CODIGOS CORRECTORES

Un simple procedimiento que puede emplearse para detectar errores en las transmisiones es el del control de paridad. Este sistema consiste en añadir un bit más al byte de ocho, de forma que disponemos de una estructura de ocho bits de data más el bit de paridad. Por ejemplo, este bit se activará sólo si la suma de todos los bits que le preceden es impar.

bits transmitidos (data)	bit paridad
00000000	0
00000001	1
10101010	0
11111000	1

En el caso de que se pierda o se gane un bit de data, el ordenador detecta una discrepancia entre la información recibida y el bit de paridad, lo cual provoca, normalmente, la repetición de la última transmisión. Sin embargo, este procedimiento no detecta la posibilidad de pérdida o ganancia de dos bits a la vez, por lo que se considera poco fiable en comunicaciones espaciales, ya que los ruidos de fondo casi siempre tienen una duración mayor de dos bits, que causarían errores inadvertidos que superarían el 30 % del tiempo de transmisión.

Un procedimiento más efectivo es el que incluye en el sector de datos propiamente dicho caracteres de corrección de errores y en una codificación especial al final del bloque unos bytes de CRC (comprobación cíclica de redundancia), los cuales constan de caracteres de comprobación calculados de acuerdo con una compleja ecuación, que permite detectar y corregir errores de transmisión siempre que éstos no superen una determinada cantidad.

≡≡≡ GENERADORES DE ENERGIA

Para mantener «vivo» el ordenador de a bordo, así como para poder mover las cámaras e instrumentos utilizados en los experimentos científicos, es necesaria una fuente de energía eléctrica.

Para las misiones que se realizan en los planetas interiores: Mercurio, Venus, Tierra, Marte, se suelen emplear generadores fotovoltaicos, es decir, las populares células solares. Estas células, montadas sobre un panel, pueden suministrar suficiente energía para las necesidades de un vehículo espacial, aunque parece ser que en el espacio bajan bastante de rendimiento debido a que son bombardeados de forma continua por partículas ele-

mentales (protones, electrones, etc.) que degradan la estructura cristalina de su principal componente: el silicio.

La potencia suministrada por un panel solar dependen en principio del producto de la cantidad de iluminación por la superficie útil del panel. Cuando nos alejamos a distancias mayores de Marte, la superficie de éstos debería ser muy grande, para compensar el menor brillo que tiene el Sol, por lo que debemos descartarlos para misiones de espacio profundo. Los generadores utilizados en estas misiones se basan en el calor producido por radioisótopos que se aplica a un termopar y que, por tanto, no depende de la luz del Sol.



SISTEMA DE NAVEGACION

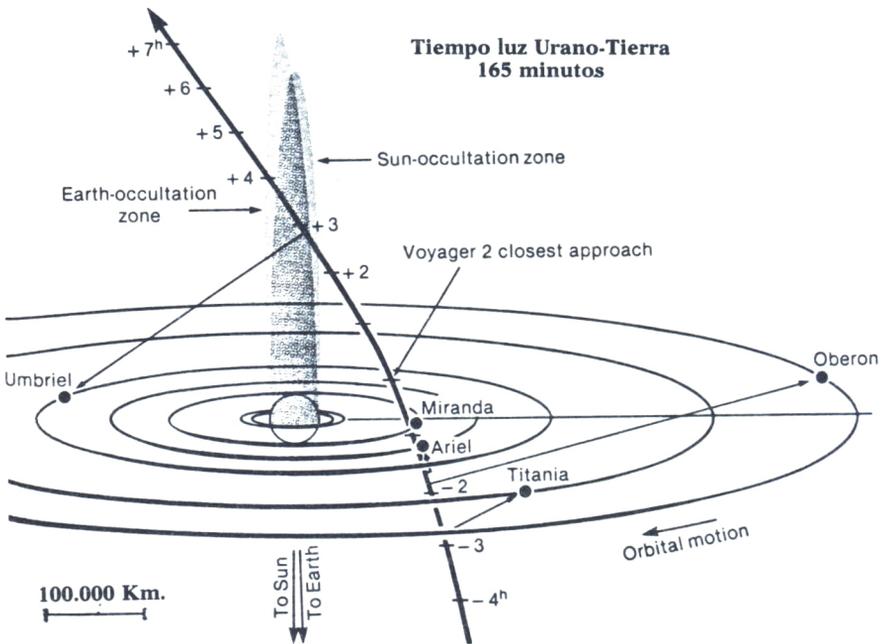


Fig. 8. Trayectoria del Voyager a través del sistema de satélites de Urano, el 24-01-1986.

Las órbitas de los planetas y satélites del Sistema Solar y la estimación de sus masas fueron establecidas por medios ópticos midiendo con un micrómetro bifilar (aparato de precisión que consta de dos hilos muy finos perpendiculares entre sí, montados sobre tornillos micrométricos) sus po-

siciones y diámetros sobre las oscilantes imágenes dadas por los telescopios. La precisión obtenida con este método es, sin embargo, mediocre, sobre todo si en base a las mismas deseamos deslizar una sonda interplanetaria a través de un complejo sistema de satélites y anillos como el de Urano.

Existe el peligro de llegar «antes» o «después» o demasiado «lejos» o «cerca». Las sondas de exploración suelen ser vehículos con pequeña capacidad de maniobra, por lo que aprovechan la gravedad de los planetas y satélites que sobrevuelan para efectuar cambios de trayectoria que les dirigirán hacia otros objetivos. Por esta razón los físicos y matemáticos expertos en cálculo orbital, con ayuda de potentes ordenadores digitales, preparan el encuentro entre el navío espacial y el objeto elegido con la máxima precisión posible con los datos iniciales de masa y órbita. Después, y a medida que la misión avanza, se efectúan los cambios de velocidad y dirección que aseguran la cita con una exactitud del orden de un segundo de tiempo y de 150 km. en espacio, desde una distancia de 1.700 millones de km. Pero ¿cómo se consigue este grado de exactitud? La respuesta reside en los sistemas de telemetría instalados en el control de la misión.



LA TELEMETRIA

Con la telemetría podemos determinar básicamente y entre otros parámetros: *a)* la distancia, *b)* la velocidad y aceleración.

La distancia puede medirse mediante un procedimiento que los expertos denominan RANGING, que consiste en lo siguiente:

A través de las emisoras situadas en la Tierra se envía al vehículo un tren exacto de ondas en un código especial, de una longitud de 1,5 millones de bits, en banda S de 13 cm. de longitud de onda. Cuando al cabo de un cierto tiempo, que dependerá de la distancia, este tren de ondas alcanza la nave, el ordenador de a bordo interpreta el mensaje y reenvía inmediatamente en banda X hacia la Tierra, exactamente la misma señal.

Cuando ésta es recibida, se compara con la señal original. La diferencia en tiempo dividida por dos y multiplicada por la velocidad en la que se mueven las ondas electromagnéticas nos da la distancia exacta.

$$t/2 \cdot 300.000 = \text{distancia}$$

Puede observarse, sin embargo, que en este caso se ha supuesto que la Tierra y el vehículo se mantienen estacionarios entre sí, por lo que en el cálculo final se tendrá que tener en cuenta el movimiento relativo entre ambos y el retardo en los circuitos electrónicos.

Todo lo que hemos expuesto anteriormente tendría poca validez si no dispusiéramos de un reloj patrón de extraordinaria exactitud. Para estos ca-

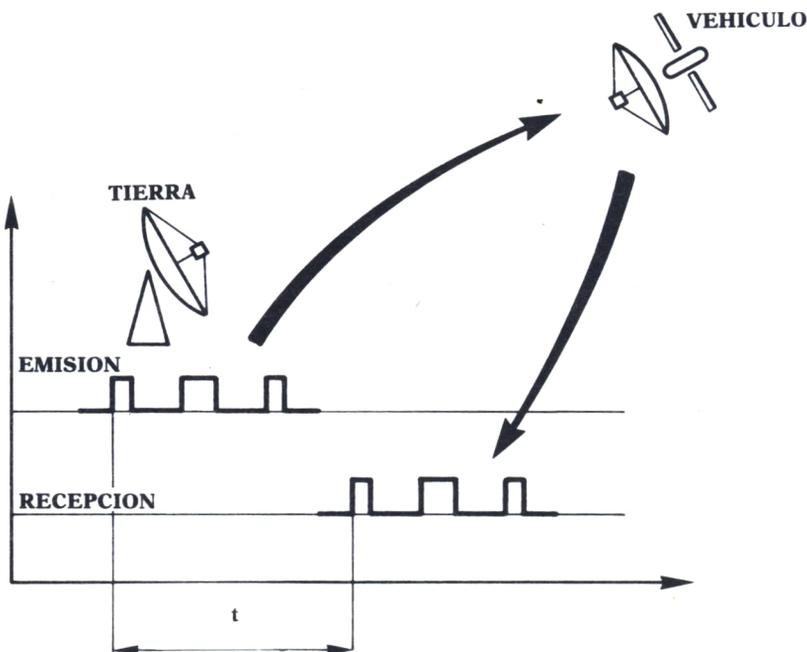


Fig. 9. Determinación de la distancia a que se encuentra la nave.

sos se emplea el llamado reloj atómico de hidrógeno o maser de hidrógeno, que sólo puede desviarse un segundo cada 100.000 años.

Si se aplica el procedimiento del Ranging entre dos antenas situadas en distintos continentes, puede medirse la deriva de los mismos con una precisión del orden del centímetro.



EFEECTO DOPPLER

Se puede determinar la velocidad de una sonda espacial gracias al efecto Doppler. Este efecto consiste en que si un emisor de ondas electromagnéticas se mueve con una cierta velocidad respecto a un observador, éste aprecia variaciones en la frecuencia de emisión que dependen del sentido del movimiento, es decir, si la distancia aumenta, la onda se «estira» y disminuye su frecuencia (aumenta la longitud de onda); si aumenta la frecuencia, significa que el emisor se acerca, la onda se «comprime».

El efecto Doppler se produce también en las ondas sonoras y puede ser percibido como un cambio de tono de la señal emitida por un tren o un automóvil, que se mueva con rapidez respecto a nosotros.

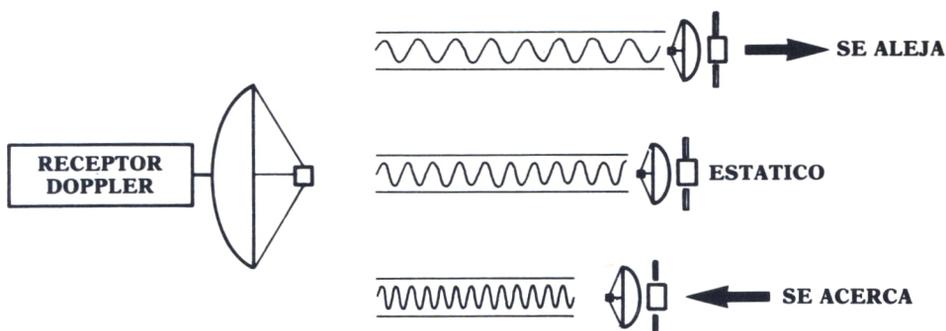


Fig. 10. Compresión y expansión de una onda por efecto Doppler.

Cuando se desea hacer una medida de velocidad con el Doppler, se suprime la modulación de la señal, para que el vehículo emita sólo la portadora, es decir, una frecuencia muy estable y totalmente limpia. Las variaciones que se detecten tendrán una correspondencia directa con la aceleración o deceleración de una nave en la fase de acercamiento al planeta o satélite, cuando recibe su «empujón» gravitacional.

Como la fuerza de la gravedad depende de la posición determinada con el Ranging y de las masas que deducimos de los valores de aceleración que nos da el Doppler, podemos calcular con una gran precisión la masa de un planeta y al mismo tiempo reprogramar con valores exactos el ordenador encargado del cálculo orbital.



ROBOTS AVERIADOS

A pesar de que en una misión espacial se intenta prever lo imprevisible, y existe duplicación en todos los elementos vitales, muchas de ellas fracasarían si no fuera por la dedicación e ingenio del equipo humano de soporte. Por ejemplo, en abril de 1978, pocos meses después del lanzamiento del *Voyager II*, el radioreceptor del vehículo falló totalmente. Cuando se pasó el control de recepción al equipo de reserva, éste resultó incapaz de ajustarse a la frecuencia de las señales enviadas desde la Tierra. Desde entonces los controladores de la misión han sido obligados a calcular la frecuencia continuamente, con un margen de 100 Hz, en la cual el *Voyager II* puede contestar. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que la frecuencia básica de transmisión es de 2.308 MHz.; por tanto, 100 Hz., corresponden a una parte entre 23 millones. Esta tarea, incluso con años de práctica, no es cosa fácil; en ocasiones, una variación de 1° C en el equipo receptor puede hacer imposible la comunicación.

El 26 de agosto de 1981, mientras el *Voyager II* se encontraba en la parte oscura de Saturno, fuera de la visión directa de la Tierra, la plataforma

que soporta y dirige el instrumental óptico quedó bloqueada. Parte de las imágenes del sistema de anillos de Saturno y las mejores vistas de los satélites *Tetis* y *Enceladus* se perdieron. La solución y comprensión de este problema costó años de estudio. Básicamente, el movimiento de la plataforma se realiza por medio de un motor eléctrico y a través de una caja de engranajes reductores de velocidad con una relación 9.000/1. Los ingenieros sometieron a unidades gemelas en la Tierra a una serie de pruebas para reproducir la avería y llegaron a la simple conclusión de que el mecanismo se había usado muy frecuentemente y demasiado rápido, por lo que el lubricante había sido posiblemente despedido fuera de los engranajes, lo que causó posteriormente el bloqueo del reductor.

Efectuando pequeños ciclos de puesta en marcha y paro, ordenados desde el control de la misión, lograron desbloquear el mecanismo y en lo sucesivo se estableció un movimiento más lento, con el fin de evitar la repetición de la incidencia.

Un suceso que casualmente se produjo cuando un vehículo de la serie *Pioneer* estaba bajo control desde la estación de Madrid, fue el siguiente: la nave se encontraba en su fase de crucero, camino a su objetivo, manteniendo, como ya sabemos, constantemente su antena parabólica dirigida hacia la Tierra, cuando de repente la transmisión se cortó, todos los indicadores de recepción bajaron a 0. El fallo era, pues, muy grave, ya que la nave estaba sorda y muda tanto para recibir órdenes como para radiar información.

Al analizar cuidadosamente los datos de telemetría que se transmiten de modo continuo, se observó que los últimos recibidos contenían órdenes para un reajuste ininterrumpido de la posición de uno de los tres ejes de la nave, precisamente el correspondiente al sensor que siempre debe estar dirigido a la estrella Canopus, es decir, el *Pioneer* empezó a girar sin motivo aparente.

Esta idea se comprobó más tarde, ya que a intervalos regulares, parecía como si el haz de la antena estuviera correctamente dirigido durante breves instantes. En estos momentos los receptores parecían «enganchar» la emisión, para perderla después. ¿Se trataba de un fallo en el funcionamiento en el sensor de posición?

La hipótesis más probable es que el incidente fue debido a que un objeto de igual o mayor brillo se interpuso frente al sensor de la estrella guía, el ordenador confundió al objeto con la estrella y ordenó el giro de la máquina para seguir posiblemente a un fragmento de asteroide que se movía con rapidez. Al desaparecer éste del campo visible, el vehículo perdió el control, permaneciendo en rotación.

Más tarde se recuperó la nave, gracias a que además de la antena parabólica disponía de una antena omnidireccional (sin dirección preferente) de baja ganancia. Se transmitieron órdenes, primero para detener la rotación y posteriormente para iniciar la búsqueda de la estrella Canopus.

Después de este incidente, el primero que se produjo en la historia de las sondas espaciales, fueron modificados los vehículos que le sucedieron para evitar su repetición en el futuro.

Uno de los mayores problemas con el que se han enfrentado las misiones de espacio profundo, es decir, más allá del cinturón de asteroides, es la menor iluminación que reciben los planetas y satélites en virtud de su lejanía al Sol. Este hecho hace difícil la toma de fotografías (registro de las imágenes).

La iluminación de una superficie planetaria depende básicamente de su naturaleza y de la luz que recibe del Sol. Ya que la intensidad luminosa es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, disminuye rápidamente a medida que nos alejamos del Sol.

Por ejemplo, si establecemos para la luz que llega a la Tierra una intensidad igual a 1, a la distancia del Sol igual a 1, la luz que llegará a Saturno, que está situado a una distancia 9,5 veces mayor, será de:

$$(9,5 - 1)^2 = 72,2 \text{ veces menor que la recibida en nuestro planeta.}$$

Aunque en este caso no se trata de obtener fotografías por el procedimiento clásico de reducir una sal de plata, sino que se realiza un mosaico de imágenes obtenidas a partir de multitud de células fotoeléctricas, el nivel de activación de cada una de ellas dependerá en definitiva de la intensidad de la luz recibida durante el tiempo de exposición. Así pues, en el caso de una intensidad lumínica muy pequeña se deberá aumentar el tiempo de exposición para que el producto: intensidad \times tiempo = energía, sea constante.

También hay que tener en cuenta que el vehículo cada vez viaja más rápido. La razón de ello es la forma en que se proyectan este tipo de misiones, en las que se aprovecha la gravedad de un planeta o satélite para efectuar un cambio de dirección y al mismo tiempo frenar o acelerar sin emplear ningún cohete propulsor.

El resultado combinado de una mayor velocidad y una menor iluminación hicieron necesario reprogramar totalmente el sistema de toma de fotografías, a fin de que las plataformas donde se encuentran las cámaras y telescopios «siguieran» al objeto, mientras el *Voyager* se deslizaba a toda velocidad a través de los sistemas de anillos y satélites de Urano.



TV ESPACIAL (VERSION VOYAGER)

Cada imagen está compuesta de 640.000 elementos o «pixels»; el brillo de cada uno de ellos es expresado en un código binario de 8 bits (byte). Cada pixel puede definirse dentro de una escala de grises, que va desde el

negro (binario = 00000000, decimal = 000) hasta el blanco (binario = 11111111, decimal = 256), con un rango dinámico de 256 posibles tonos.

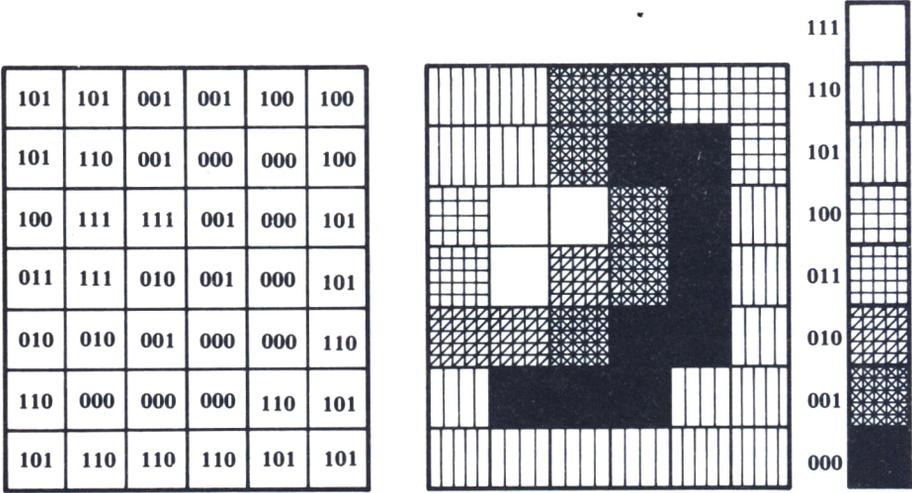


Fig. 11. Ejemplo simplificado de un fragmento de 42 pixels con un rango de sólo tres bits en lugar de ocho.

El procedimiento es convertir la imagen en una cadena de códigos binarios que pueden ser transmitidos inmediatamente o almacenados en un dispositivo registrador de cinta, con una capacidad de cien imágenes completas.

Las imágenes en color pueden formarse combinando otras monocromáticas, tomadas a través de filtros separadores de color, el equilibrio cromático puede ser ajustado «a posteriori», cuando se procesan las imágenes con los ordenadores, para eliminar los defectos añadidos sobre la onda por interferencias y ruidos.

MISION JUPITER

Desde hace mucho tiempo, se planea en la NASA una investigación exhaustiva de Júpiter y sus satélites, pero ¿por qué Júpiter y no Marte? ¿o, por ejemplo, Saturno? La respuesta es que Júpiter por sí solo puede darnos la clave de los problemas planteados en la investigación planetaria.

Nuestras teorías sobre el origen del Sistema Solar descansan en el supuesto que todos sus cuerpos (nueve planetas y el Sol) se formaron a partir de una nube gaseosa de composición uniforme. Después de la contracción y enfriamiento, los planetas cercanos al Sol (Mercurio, Venus, la

Tierra y Marte) perdieron la casi totalidad de sus elementos ligeros (gases), pero Júpiter los conservó todos. Su constitución atmosférica es representativa del material solar primordial y un «laboratorio» cosmológico donde se guarda la solución a estas preguntas.

Vamos a suponer ahora que estamos situados como observadores en la cima del cohete de 60 m., *Ariane 4*, europeo, que transporta un vehículo de exploración destinado a Júpiter. Nuestra nave consta de tres partes, un orbitador, una sonda de prueba preparada para descender sobre la turbulenta atmósfera del planeta y unos cohetes impulsores.

Después del lanzamiento, y en pocos minutos, los poderosos motores del ingenio nos colocarán en una órbita de transferencia (órbita terrestre intermedia). Nos hallamos ahora girando sobre la Tierra convertidos en un satélite artificial; los motores y tanques de combustible, que nos han ayudado a situarnos en este punto, han sido ya desprendidos, exponiendo por primera vez las entrañas de la máquina al frío y vacío espacial.

En este momento el ordenador de a bordo cobra vida y admite la primera tanda de tests, que de una forma sucesivamente creciente en complejidad, se transmiten desde el control central de la misión, bajo un sol que produce sombras negras como el espacio y blancas de crisol. Pequeños movimientos de las cámaras y los paneles nos indican algunos de los propósitos de las pruebas. Finalmente, los sensores de posición buscan el Sol y Canopus, mientras toda la máquina se mueve lentamente.

Cuando los tres ejes están alineados en la dirección correcta, todo queda inmóvil aparentemente, pero en el interior del ordenador se está efectuando rápidamente una cuenta atrás; en el preciso instante en que el contador llega a cero, el cohete impulsor se activa durante cuatrocientos veinte segundos exactamente. Por la tercera ley de Newton, o principio de acción y reacción (a cada acción le corresponde una reacción igual y de sentido contrario), toda la máquina es impulsada en sentido contrario al de los gases que son expelidos a alta velocidad, con una aceleración (a) que sería equivalente a si una fuerza (F) empujara el vehículo durante cuatrocientos veinte segundos, de acuerdo con la relación (segunda ley de Newton) $a = F/m$, siendo (m) la masa del vehículo.

La nave abandona para siempre la órbita de transferencia alrededor de la Tierra y se convierte en un objeto parecido a un cometa, en lo que a órbita se refiere, puesto que ahora nuestro camino es una elipse muy alargada que nos conduce a Júpiter. Nuestra velocidad es, en este momento, constante y comprendida entre 10 y 15 km. por segundo. Cuando el disco terrestre es sólo un punto en el espacio, extendemos las antenas, los soportes y estructuras de los generadores termoeléctricos de radioisótopos y toda una maraña de cables, como si se tratara de delicadas alas electrónicas, que hasta el momento se habían mantenido plegadas y fuertemente aseguradas para resistir las vibraciones y la aceleración.

Nos hallamos libres en el espacio, pero debemos tener en cuenta que

la gravedad de los cuerpos que nos circundan sigue actuando sobre nosotros (los planetas y el Sol). Si no fuera por esta circunstancia, y en ausencia de fuerzas, en lugar de describir una trayectoria curva nos moveríamos en línea recta y a velocidad constante; la anterior conclusión no es sino la primera ley de Newton, o principio de inercia. La única fuerza importante conocida que actúa a gran distancia es la gravedad, siempre es de atracción y no existe lugar donde no actúe. El Universo entero es un inmenso campo de fuerzas gravitacionales que mantienen su cohesión.

Esta fuerza responde a una sencilla ecuación enunciada por Newton:

$$F = K \frac{m \cdot m'}{d}$$

En donde (F) es la fuerza que se ejerce entre dos cuerpos de masas (m) (m'), que están separados por una distancia (d). La letra K es la llamada constante de gravitación. Vemos, pues, que debemos a Isaac Newton (1642-1726) la base de lo que conocemos como mecánica celeste. Las fuerzas en mecánica pueden ser representadas por medio de un vector (flecha), que indica su dirección, sentido e intensidad.



LLEGADA A JUPITER

Después de un largo viaje en el que sólo se ha intercambiado con el control de la Tierra telemetría, datos de ingeniería y pruebas rutinarias, se recibe en la nave una comunicación importante: el programa de desconnexión de la sonda y posterior maniobra para el acercamiento a Júpiter.

Cuando nuestro vehículo se encuentra a ciento cincuenta días del máximo acercamiento, el orbitador abre los cierres de seguridad y desprende la sonda de prueba. Puesto que ésta no tiene posibilidad de alterar su trayectoria (no dispone de elementos propulsores), la operación ha de ser extremadamente precisa, con el fin de que el contacto con las capas altas de la atmósfera del planeta se realice en el punto exacto. Si todo va bien, el error de latitud no debe superar los 800 km. Mientras la sonda, abandonada a su propio impulso, se dirige directamente a su encuentro con Júpiter el orbitador maniobra para sobrevolar el satélite Io.

Poco después las primeras influencias de la magnetosfera (campo mag-

nético que envuelve a algunos planetas) de Júpiter se empieza a notar. Durante el viaje, los detectores de partículas han registrado un tranquilo flujo, casi continuo, de electrones y protones que, procedentes del Sol, constituyen el viento solar. Ahora, sin embargo, se recibe un bombardeo de partículas muy energéticas aceleradas por el campo magnético joviano; incidentalmente ello causa que algún transistor o memoria del ordenador cambie de estado, provocando entonces algún bit erróneo, que los circuitos correctores subsanan rápidamente. Debemos sobre todo evitar en nuestro camino el anillo de corriente de 3 millones de amperios, que circula entre Io y Júpiter a través de sus polos.

Nuestro juego consiste en que la gravedad del satélite ayude a reducir la velocidad de crucero que mantenemos desde las proximidades de la Tierra, con el fin de que Júpiter capture al orbitador en una trayectoria que nos permita entrar y salir periódicamente del sistema joviano.

Por si algún lector aún no lo ha descubierto, estamos comentando lo que podría ser la misión Galileo a Júpiter, un proyecto terminado y listo desde 1980 que espera su turno de lanzamiento, después del desastre de la lanzadera *Challenger*.

Pero ¿cómo puede alterar el orbitador su camino? Supongamos que nos movemos sobre el plano ecuatorial de Júpiter e Io. El encuentro se produce antes de que el vehículo llegue al perigeo (punto más cercano a Júpiter); cuando entra dentro del campo de influencia gravitatoria de Io su trayectoria es curvada en el sentido de un mayor acercamiento al planeta, es decir, después de la influencia de Io, el perigeo está más próximo a Júpiter. El resultado es que el satélite ha absorbido energía a la nave, menor energía y perigeo más pequeño se traduce en una órbita elíptica de menor período. Podríamos decir que en este caso se cumple estrictamente el principio de conservación de la energía (la energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma). La energía absorbida al vehículo espacial (menor velocidad), la tiene ahora el satélite; en otras palabras: la energía combinada del satélite más la de la nave debe ser constante, por lo que ahora Io deberá viajar más rápido, en total unos 20 m. *cada trillón de años*.

La ayuda adicional de los pequeños retrocohetes del orbitador nos permite reducir un poco más la velocidad para insertarnos en una órbita que nos llevará otra vez a las cercanías de Júpiter.

Mientras tanto, nuestra sonda, abandonada a su impulso, golpea las capas superiores de la atmósfera de Júpiter a una velocidad de 48 km/seg. La deceleración es brutal, casi 400 G. (400 veces la gravedad de la Tierra), el roce es tan formidable que el escudo cerámico de ablación, que protege la nave y a los instrumentos que contiene, se pone al rojo vivo. En este encuentro, nuestro escudo pierde 70 kg. en material totalmente vaporizado, lo cual nos da una idea de la magnitud del aerofreno. El ángulo de entrada debe estar comprendido entre -7° y -10° con relación al horizonte. Un ángulo más pequeño de -7° causaría que la sonda «saltara» sobre la at-

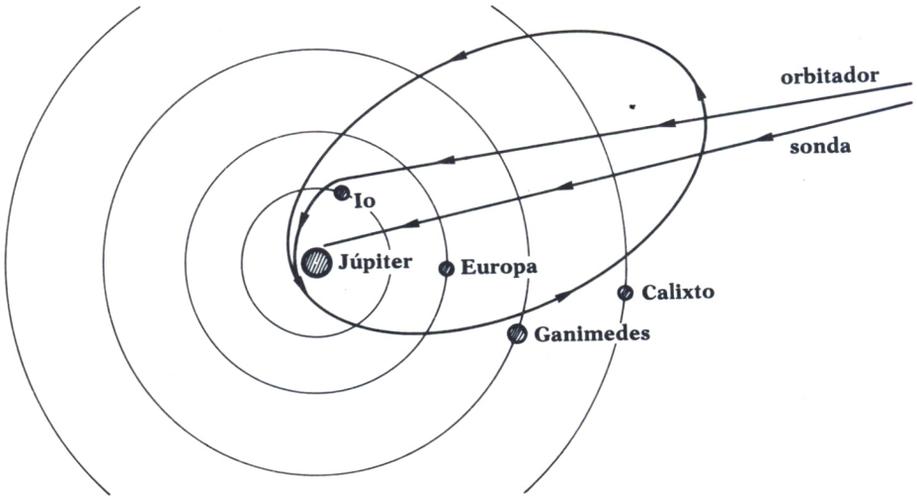


Fig. 12. Inserción en órbita del Galileo.

mósfera, como lo hace una piedra plana lanzada en trayectoria rasante sobre el agua de un lago; mientras que un ángulo mayor de -10° produciría un sobrecalentamiento del escudo de ablación, con la consiguiente destrucción de la sonda como si fuera un brillante meteoro.

Una vez finalizada la deceleración máxima, se abre un gran paracaídas para el descenso de 50 minutos a través de la atmósfera joviana. El incandescente escudo de protección, innecesario ahora, es desprendido de la sonda. Los primeros datos de presión, temperatura, composición química, etcétera, son transmitidos al orbitador, que, atento a toda la operación, reenviará toda la información al control de la misión en la Tierra.

Nos abrimos paso, en estos momentos, a través de nubes de cristales de hielo de amoníaco, mientras descendemos hacia gigantes torbellinos de gases, mayores que la Tierra entera. La complejidad química de las capas atmosféricas que atravesamos va en aumento, hasta alcanzar el océano de hidrógeno líquido que cubre todo el planeta, cuando nuestra valerosa sonda es aplastada por la presión.

Después de retransmitir a la Tierra todos los detalles del descenso de la sonda atmosférica, nuestro orbitador empieza un largo periplo que durará veinte meses, durante los cuales investigaremos la composición química y el estado físico de los satélites jovianos, así como la estructura y dinámica de la magnetosfera de Júpiter. En conjunto, se trata de una «vuelta» de trece órbitas distintas, que ayudarán a una mejor comprensión de nuestro Sistema Solar. Pero ¿hasta cuándo se mantendrá vivo nuestro ordenador y nuestra posibilidad de maniobra en el espacio? Si descartamos

POSICION DE LAS LUNAS DE JUPITER



A observación de las lunas de Júpiter es un espectáculo difícil de olvidar. Júpiter posee una extensa familia de satélites (dieciséis), la mayor parte del Sistema Solar, los cuatro mayores: Io, Europa, Ganimedes y Calixto, fueron descubiertos por Galileo Galilei al dirigir por vez primera al planeta un modesto antejo.

El planeta Júpiter es fácil de localizar en el firmamento gracias a que es un astro bastante brillante. Por supuesto, a simple vista nos parece una estrella, aunque su menor centelleo le delata como planeta. Se halla siempre situado en la zona de las constelaciones zodiacales, sobre las que se mueve lentamente. El movimiento de los satélites es fácilmente perceptible a través de unos prismáticos, o mejor, de un pequeño telescopio, en el curso de una sola noche de observación. Su plano de traslación se nos presenta inclinado, ya que es casi coincidente con la eclíptica y situado en las cercanías de la línea ecuatorial. El plano ecuatorial joviano puede adivinarse situándolo entre dos de las rojizas bandas de nubes que envuelve el planeta (muy visibles).

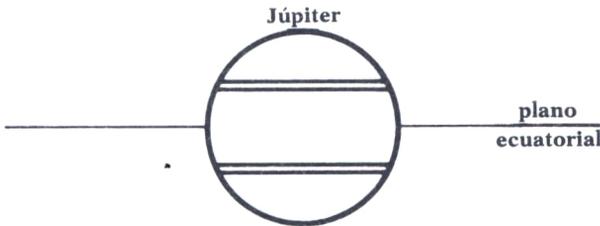


Fig. 13. Plano ecuatorial de Júpiter.

El programa que presentamos aquí permite determinar con precisión la posición y la distancia relativa a Júpiter de los satélites, quedando la verificación de este cálculo como experiencia práctica, a nuestro criterio, muy recomendable. El programa está escrito para el Basic del IBM PC, pero puede ser adaptado al Basic de otros ordenadores.

```

10 CLS:PRINT " *POSICION DE LAS LUNAS DE JUPITER*"
12 PRINT
14 INPUT "TECLEA EL AÑO AAAA ";YR
16 INPUT "TECLEA EL MES MM ";MN
18 INPUT "TECLEA EL DIA EN DECIMAL DD.DD USA TU(GMT) ";DY
20 PRINT:LET R=57.2957795147
22 GOSUB 92
24 LET DJ=JD-2415020:LET V=134.63+1.11587E-3*DJ
26 LET M=358.476+.9856003*DJ:LET N=225.328
+.0830853*DJ+.33*SIN(V/R)
28 LET J=221.647+.9025179*DJ-.33*SIN(V/R)
30 LET A=1.916*SIN(M/R)+.02*SIN(2*M/R):LET
B=5.552*SIN(N/R)+.167*SIN(2*N/R)
32 LET K=J+A=B:LET RE=1.00014-.01672*COS(M/R)-.00014*COS(2*M/R)
34 LET RJ=5.20867-.25172*COS(N/R)-.0061*COS(2*N/R)
36 LET DR=SQR(RJ*RJ+RE*RE-RE*RJ*2*COS(K/R))
38 DEF FNA(X)=ATN(X/SQR(1-X*X))
40 LET PS=FNA((RE/DR)*SIN(K/R))*R
42 IF SGN(SIN(K/R))<>SGN(PS) THEN LET PS=-PS
44 LET S1=84.5506+203.405863*(DJ-DR/173)+PS-B
46 LET S2=41.5015+101.2916323*(DJ-DR/173)+PS-B
48 LET S3=109.977+50.2345169*(DJ-DR/173)+PS-B
50 LET S4=176.3586+21.4879802*(dj-dr/173)+PS-B
52 PRINT "ANGULO POSICION DE IO ";INT((S1/360-INT(S1/360))*360)
54 LET R1=5.91:LET R2=9.399999:LET R3=14.99:LET R4=26.36
56 LET P1=R1*SIN(S1/R)
58 LET P2=R2*SIN(S2/R)
60 LET P3=R3*SIN(S3/R)
62 LET P4=R4*SIN(S4/R)
64 PRINT "RADIO DE IO=";P1;" EUROPA=";P2;" GANIMEDES=";P3
66 LOCATE 12,1:PRINT TAB(40+INT(P4));"*";TAB(69);"4 CALIXTO"
68 LOCATE 13,1:PRINT TAB(40+INT(P2));"*";TAB(68);"2 EUROPA"
70 LOCATE 14,30:PRINT "ESTE 0 OESTE":TAB(68);"JUPITER"
72 LOCATE 15,1:PRINT TAB(40+INT(P1));"*";TAB(68);"1 IO"
74 LOCATE 16,1:PRINT TAB(40+INT(P3));"*";TAB(68);"3 GANIMEDES"
76 PRINT:PRINT
78 PRINT "NOTA: LAS LUNAS DE JUPITER ESTAN ACTUALMENTE MUY CERCA
DEL PLAN ECUATORIAL"
80 PRINT " LAS LUNAS ESTAN REPRESENTADAS ASI PARA FACILITAR
SU LOCALIZACION"
82 PRINT "EL RADIO ESTA UNID. DEL RADIO DE JUPITER (OESTE=+,ESTE
=-)"
84 PRINT "PARA ANG. POSICION, 0=CONJUNCION INFERIOR, 90=
ELONGACION OESTE, ETC"
86 INBPUT "DESEAS SEGUIR S/N";S$
88 IF S$="S" THEN GOTO 10
90 END
92 IF MN=2 OR MN=1 THEN LET YR=YR-1:LET MN=MN+12
94 IF YR+MN/100+DY/10000>=1582.1015 THEN LET GR=2-INT(YR/100)+

```

```
INT(INT(YR/100)/4):GOTO 96
95 LET GR=0
96 LET JD=INT(365.25*YR)+INT(30.6001*(MN+1))+DY+1720994.5+6P
98 RETURN
```

MODIFICACIONES AL PROGRAMA

=====

COMMODORE : Sustituir todas las sentencias CLS por PRINT
CHR\$(147)

Cada vez que aparezca en el listado el comando
LOCATE n1,n2, donde n1 y n2 pueden ser numeros o
expresiones, sustituyelo por: POKE 214,n1:POKE 211,n2.

MSX : Solo hay que intercambiar los argumentos de todas
las sentencias LOCATE. Si en el listado aparece LOCATE
n1,n2 nosotros tendremos que poner LOCATE n2,n1.

SPECTRUM : Sustituir todas las palabras ASC por CODE.

Sustituir todos los LOCATE por PRINT AT de la
siguiente manera. Si vemos que aparece LOCATE n1,n2
nosotros tendremos que poner PRINT AT n1,n2.

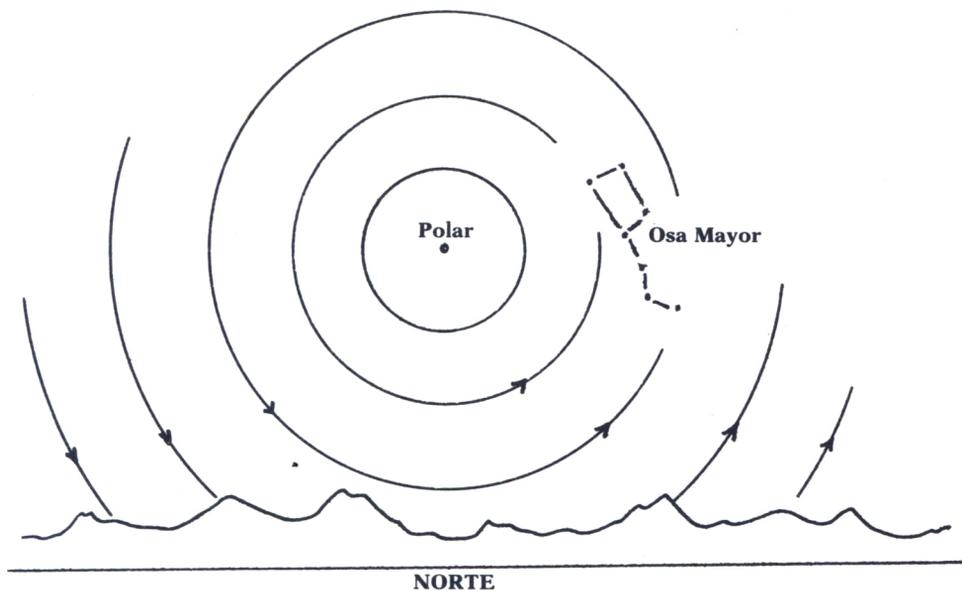


LOS telescopios se componen básicamente de dos partes: el tubo óptico y la montura.

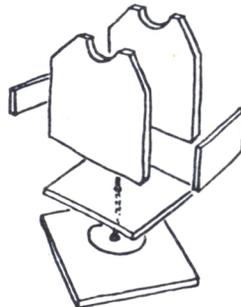
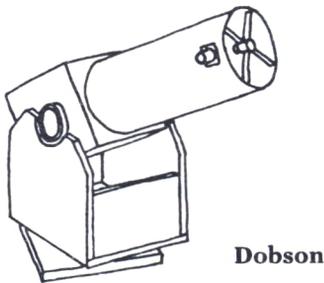
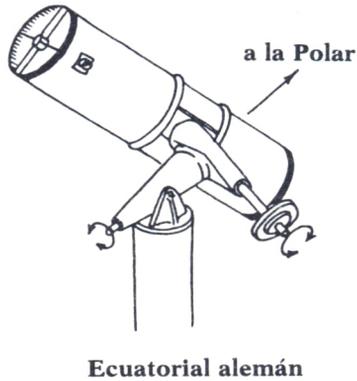
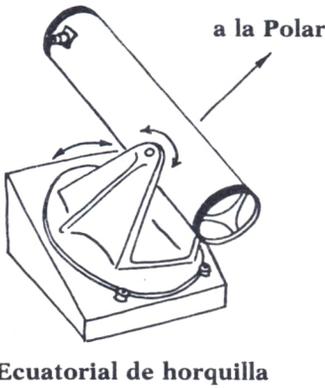
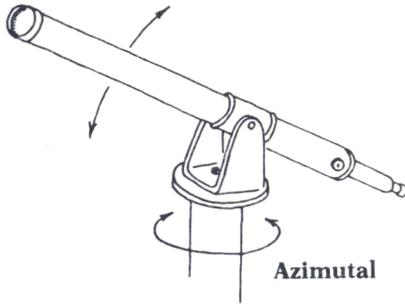
El tubo óptico contiene todos los elementos tales como lentes, espejos, láminas correctoras, oculares, etc., y los sistemas mecánicos necesarios para mantenerlos ópticamente alineados.

La montura es la responsable del soporte mecánico de todo el tubo óptico y de los movimientos necesarios para dirigir, localizar y seguir a cualquier astro, para lo cual está dotada de dos ejes perpendiculares.

Debido a la rotación de la Tierra sobre sí misma, se produce un movi-



miento horario que desplaza a cualquier objeto sobre el firmamento 360° en, aproximadamente, 24 horas (23 h. 56 min.). Este movimiento se hace más patente al observar cualquier sector del cielo a gran aumento, las estrellas y otros objetos se ven deslizar rápidamente a través del campo visual. Por esta causa es necesario disponer en la montura de un sistema de movimientos que compense al de la Tierra, de forma que al observar pa-



Principales tipos de monturas

rezca que el cielo está «parado», es decir, el telescopio debe efectuar una vuelta completa en 23 h. 56 min.

Si examinamos la trayectoria aparente de cualquier objeto astronómico respecto al horizonte, podremos comprobar que puede dividirse en dos componentes: altura y azimut (ver programa de conversión de coordenadas).

De una forma aparente «todo» parece girar en torno de una estrella mediana, de segunda magnitud, llamada Estrella Polar, motivo por el cual se halla prácticamente fija en el cielo y nos sirve de referencia para determinar la posición del Polo Norte celeste.

Las monturas azimutal y Dobson son sistemas sencillos que toman como referencia el horizonte, por lo que si deseamos seguir al objeto durante un tiempo largo o si aplicamos un ocular de fuerte aumento, debemos mover el telescopio simultáneamente en los dos sentidos que componen el movimiento anteriormente citado.

Un tipo de montura más elaborada es la ecuatorial del tipo alemán o la ecuatorial de horquilla. En estas monturas uno de los ejes del movimiento debe estar dirigido hacia la Estrella Polar. Al tomar como referencia al Polo Norte en lugar del horizonte, y puesto que se ha explicado que «todo» parece girar alrededor de este punto, con mover el telescopio en un solo sentido, el del movimiento horario, es suficiente para el seguimiento de cualquier objeto.

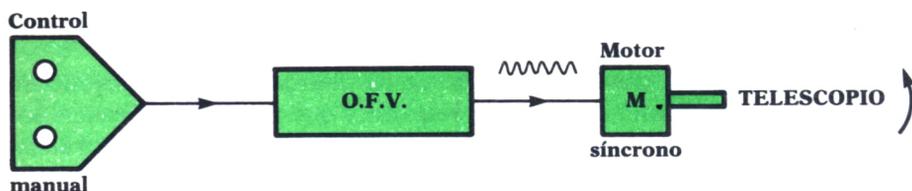
Los dos ejes de la montura ecuatorial reciben el nombre de ascensión recta (AR), para el que se dirige al Polo Norte celeste, y declinación (DEC), para el otro. Posibilita las medidas de posición en los astros en las llamadas coordenadas ecuatoriales, de uso universal en los observatorios.

Un sistema de control para un telescopio debe realizar las funciones tradicionales de mover y dirigir el instrumento hacia el punto deseado del cielo, seguir el objeto, compensando el movimiento de rotación de la Tierra, tener la posibilidad de efectuar pequeñas variaciones de velocidad por corrección de defectos de los engranajes y adición de una velocidad intermedia para el centrado del objeto.

En todo momento la posición del telescopio en (AR) y (DEC) debe ser visualizada. Todas estas funciones pueden realizarse de multitud de formas, dependiendo del presupuesto y de la imaginación.

Típicamente un telescopio no computerizado es posicionado y dirigido de forma manual y después un pequeño motor síncrono o un motor paso/paso a través de un embrague mecánico, producen el movimiento necesario. Este sistema admite pequeñas variaciones de velocidad por medio de un oscilador de frecuencia variable (OFV), que controla el motor síncrono; no existe una visualización electrónica de posición, pero es posible conocerla gracias a unos círculos graduados, provistos de nonius en los dos ejes de giro, es decir, el mecanismo es totalmente analógico.

Para que un telescopio pueda realizar un trabajo útil, debe ser dirigido



Servo analógico de bucle abierto.

con precisión hacia el punto deseado de la bóveda celeste, permaneciendo después centrado sobre el objeto durante un tiempo más o menos largo.

Por ejemplo, en la fotografía astronómica de objetos de poca luminosidad, nebulosas, galaxias, etc., el telescopio debe estar desde unos pocos minutos hasta una hora de exposición, con el fin de compensar el débil brillo del objeto y permitir al poder acumulativo de la emulsión fotográfica el registro del astro. Frecuentemente la precisión requerida en estos casos es del orden de unos pocos segundos de arco, teniendo en cuenta que en un círculo (360°) tenemos $360 \times 60 \times 60 = 1.296.000$ segundos de arco, nos damos cuenta del grado de precisión requerido para este trabajo. En telescopios no automatizados el observador detecta visualmente desviaciones del sistema respecto a la posición deseada (errores) y activa manualmente los controles para reducirlas, en este caso el ojo del observador es el sensor de error, y su cerebro el ordenador que determina la respuesta apropiada. El conjunto formado por el telescopio, el motor y su control manual forman una parte de un bucle, del cual el operador es responsable de cerrarlo sobre sí mismo.



MOTORES PASO/PASO

Se trata de unos motores que precisan una alimentación en forma de impulsos para su avance. Por cada impulso recibido, el eje del motor gira un pequeño ángulo, de forma que para describir una circunferencia completa se precisa un tren de impulsos. Esta proporcionalidad entre impulso y ángulo de giro los hacen idóneos para cualquier circuito digital de control de movimiento.

Básicamente consiste en un motor de corriente continua con imanes permanentes en el rotor y una caja externa (inductor), construida de forma que presente doce o más polos magnéticos con cuatro o más bobinas. La secuencia de energización de estas bobinas determina el sentido de rotación; normalmente se emplea una tarjeta «driver» para convertir el tren de impulsos digitales (continuos) a una secuencia correcta para las bobinas.

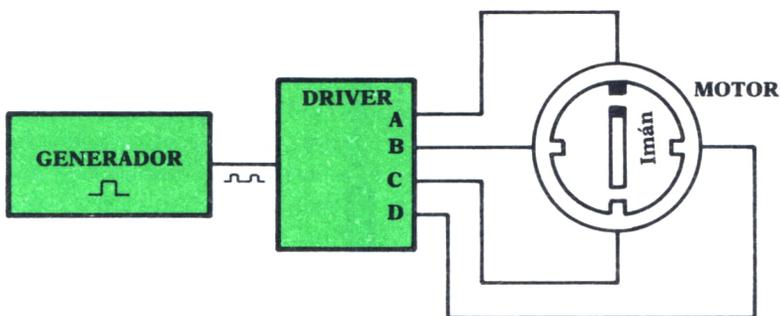


Diagrama de conexión de un motor paso/paso.

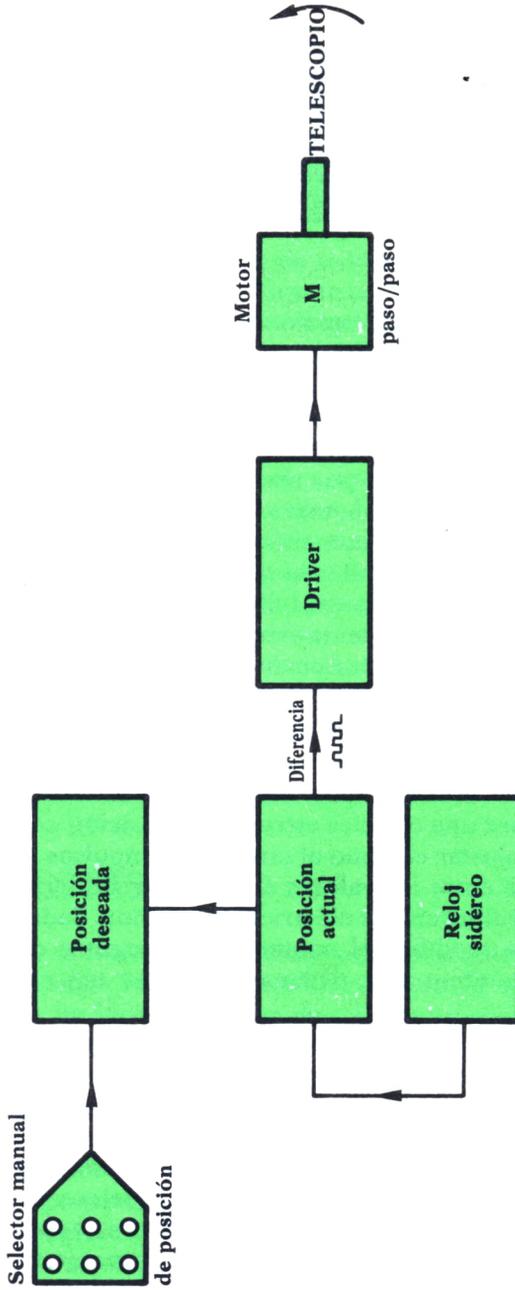
La máxima velocidad del motor queda fijada por el máximo número de impulsos por segundo que pueden ser trasladados en pasos, para la mayoría entre 500-1.000 pasos por segundo. Un motor típico para control de telescopios precisa 200 pasos por revolución; por tanto, en un solo paso avanza $360/200 = 1,8^\circ$. Estos motores tienen la propiedad de reducir rápidamente su par de fuerza al aumentar la velocidad. Las características y calidad del circuito «drive» influyen directamente en esta propiedad.

Un ejemplo típico de un sistema digital de bucle abierto es el indicado en el dibujo para el control del movimiento horario (ascensión recta) de un telescopio sobre una montura ecuatorial.

El microprocesador calcula el ángulo horario que debe mover el telescopio conociendo la posición pulsada en el selector manual y la hora sidérea dada por el reloj. Por conteo de los impulsos que envía al motor paso/paso, es posible conocer la posición, después de una calibración inicial del telescopio sobre una o varias estrellas de posición conocida. El microprocesador debe ajustar el ritmo al cual envía impulsos al motor basándose en la diferencia entre los valores de posición, de forma que este ritmo no supere las especificaciones eléctricas del motor. Cada vez que es enviado un impulso, se modifica el contenido del registro de posición actual para reflejar el cambio; este sistema puede ser tan complejo como se quiera.

El ángulo horario deseado puede estar corregido de los pequeños errores que el movimiento no regular de la Tierra posee, como precesión, nutación, efectos debidos al hecho de que la luz de la estrella debe atravesar una masa de aire que afecta su dirección, es decir, la refracta, y, finalmente, pueden tenerse en cuenta todos los errores sistemáticos debidos al propio soporte mecánico (la montura), flexión del telescopio, errores en los engranajes reductores, telescopio mal alineado en el eje polar, etc.

Los actuales microprocesadores tienen una potencia suficiente para realizar todas estas funciones a la vez en tiempo real y atender, además, otras funciones.

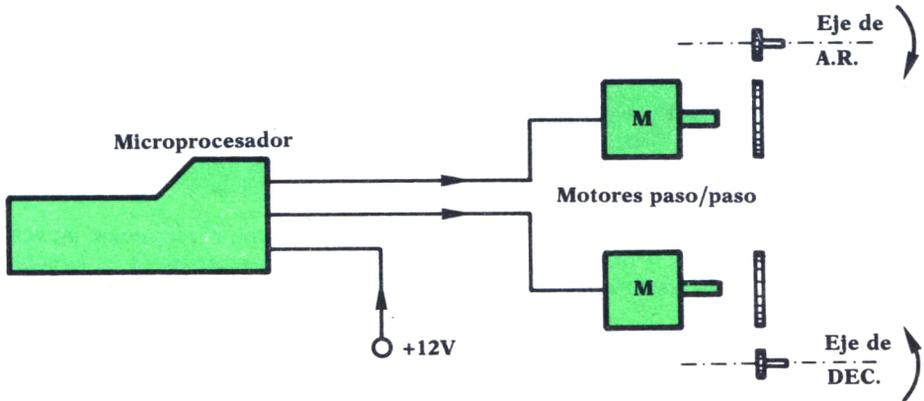


Servosistema de bucle abierto.

El problema que existe con todos los sistemas de bucle abierto es que no hay forma de conocer si la orden de movimiento ha sido ejecutada con precisión, por ejemplo: si el motor está «duro» o parcialmente bloqueado (mecánicamente), recibirá los impulsos del microprocesador, que descontará el registro de posición, pero el movimiento no será completo.

Una precaución necesaria es la de dimensionar la potencia de los motores de forma adecuada al trabajo que se espera de ellos. Esta precaución puede reducir los errores a un valor suficientemente pequeño para la mayoría de las aplicaciones.

Un ejemplo típico de este tipo de control lo tenemos en el «sky sensor»; este dispositivo, comercializado por varios constructores de telescopios, consiste en un conjunto de piezas en forma de kit, para montar, que puede adaptarse a un telescopio. El conjunto incluye la caja de mandos donde se encuentra el microprocesador, motores paso/paso para los ejes de movimiento, embragues, piñones reductores y cables de conexión.

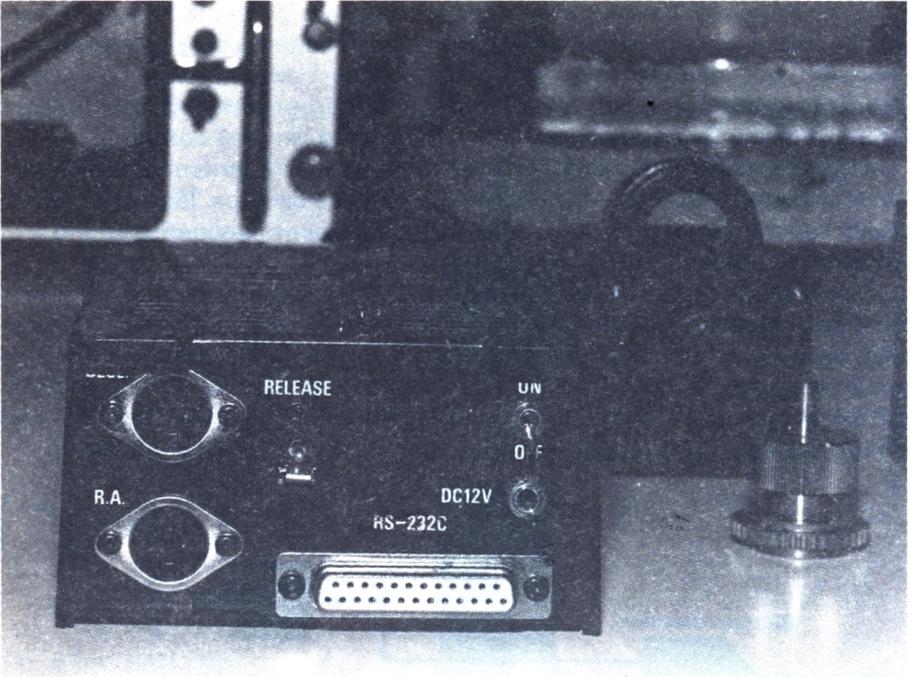


El «sky sensor».

La caja de control tiene una pantalla de cristal líquido, en donde es posible visualizar de forma continua las coordenadas de dirección del telescopio. La posición de 472 objetos astronómicos interesantes está almacenada en la memoria de la máquina. Se dispone también de dos pequeños teclados para entrada de datos y para el control manual de los movimientos.

Existe la posibilidad, además, de conectar la caja de control a la salida de un ordenador (port) por medio de conector RS-232C. Los parámetros necesarios para establecer una comunicación son:

Baud Rate	1.200
Paridad	no hay paridad
Stop Bit	2 bits
Número de bits	8

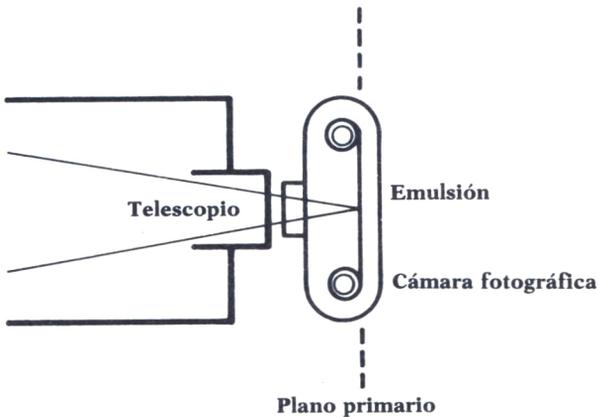


Fotografía que muestra el panel de conexión del «sky sensor», el engranaje de acoplamiento al telescopio y la carcasa de uno de los motores paso/paso (a la derecha, segundo término). Material cedido por cortesía de MICROCIENCIA, Barcelona.

APENDICE A

Dentro de las posibilidades que nos brinda la Astrofotografía, la fotografía lunar es, sin duda, la que mejores resultados puede ofrecernos con unos medios modestos.

Para este tipo de trabajo debemos emplear siempre la óptica del telescopio, como si ésta se tratara de un teleobjetivo al que acoplamos el cuerpo de una máquina fotográfica Réflex, sin objetivo, de acuerdo con el dibujo siguiente:



A este sistema se le conoce también con el nombre de fotografía a foco primario.

El tamaño de la imagen sobre el clisé es directamente proporcional a la longitud focal (LF) del telescopio.

$$\varnothing = \frac{A \cdot LF}{57,4}$$

\varnothing = Diámetro imagen
LF = Longitud focal objetivo
A = Diámetro angular
A (Luna) = 0,5°

Por ejemplo: ¿qué tamaño tendrá la Luna en cuarto creciente al foco primario de un telescopio de 900 mm. de longitud focal?

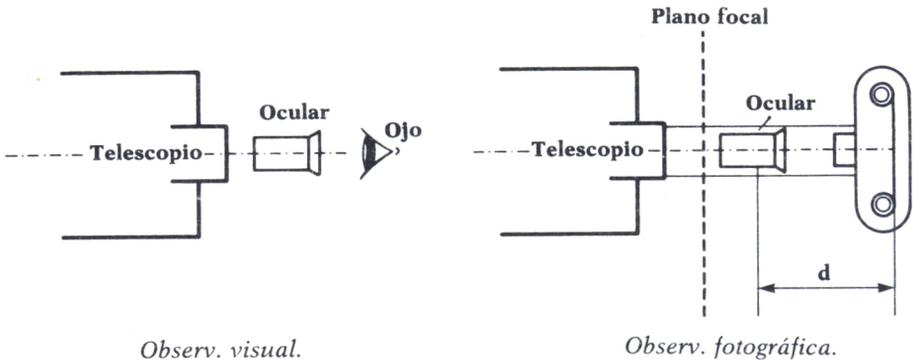
$$\phi = \frac{0,5 \cdot 900}{57,3} = 7,85 \text{ mm.}$$

Con este tamaño de imagen en el negativo y un ampliación normal de 6-7 veces en el laboratorio, tendremos un diámetro lunar de unos 5 cm., que es totalmente insuficiente para apreciar todos los detalles que se observan visualmente en el terminador lunar; debemos ampliar más la imagen en el momento de la toma.

Una imagen mayor del mismo objeto quiere decir también menor claridad, puesto que la luz debe distribuirse sobre una superficie más extensa. La claridad de un objetivo nos la da una sencilla relación entre la longitud focal (LF) y el diámetro (D) óptico del telescopio empleado.

$$\text{Relación focal (F)} = \frac{LF}{D}$$

Existen diversos procedimientos para ampliar ópticamente una imagen, pero uno de los más usados emplea los propios oculares que acompañan al aparato. Se llaman oculares a unos pequeños cilindros ópticos que forman parte de la dotación de cualquier telescopio. La disposición de éstos en el telescopio hace que el ojo del observador se sitúe en un punto muy cercano a ellos, de donde proviene su nombre. En realidad, no son más que unas lupas con las que observamos en detalle la imagen primaria dada por el objetivo.



Los constructores de telescopios han normalizado el tamaño de los oculares; en el comercio pueden encontrarse de: 40, 25, 12, 6, 4, etc., milímetros de longitud focal (lf). El grado de ampliación angular visual (aumen-

tos) depende de la relación entre las dos distancias focales, la del objetivo (LF) y la del ocular (lf).

$$\text{Aumento (A)} = \frac{\text{LF}}{\text{lf}}$$

En el dibujo podemos observar que la caja donde se encuentra el filme fotográfico ha suplantado al ojo, de forma que el telescopio está proyectando una imagen sobre la máquina fotográfica (la pantalla). El grado de ampliación de imagen o factor de proyección (FP) es igual a:

$$\text{FP} = \left(\frac{d}{\text{lf}} \right) - 1$$

dependiendo del ocular empleado (lf) y de la distancia (d) a que se sitúe la cámara.

Con este procedimiento es como si la longitud focal del telescopio estuviera multiplicada por el factor de proyección:

$$\text{LF}' (\text{nueva}) = \text{FP} \cdot (\text{LF})$$

con la relación focal (F) nos ocurrirá lo mismo:

$$\text{F}' (\text{nueva}) = \text{FP} \cdot (\text{F})$$

Ejemplo práctico: Supongamos que deseamos ampliar la Luna en cuarto creciente con un ocular de 12 mm. de longitud focal (lf) a través de un telescopio sobre una montura azimutal de 70 mm. de diámetro (D) y 900 mm. de longitud focal (LF). La distancia (d) entre el ocular y el filme fotográfico es de unos 74 mm., aproximadamente.

Factor de proyección $\text{FP} = \left(\frac{74}{12} \right) - 1 = 5,18$

Nueva longitud focal $\text{LF}' = 5,18 \cdot 900 = 4.662 \text{ mm.}$

Nueva relación focal $\text{F}' = 5,18 \left(\frac{900}{70} \right) = 64$

El tamaño de la imagen sobre el clisé será ahora de:

$$\emptyset = \frac{0,5 \cdot 4.662}{57,3} = 40,5 \text{ mm.}$$

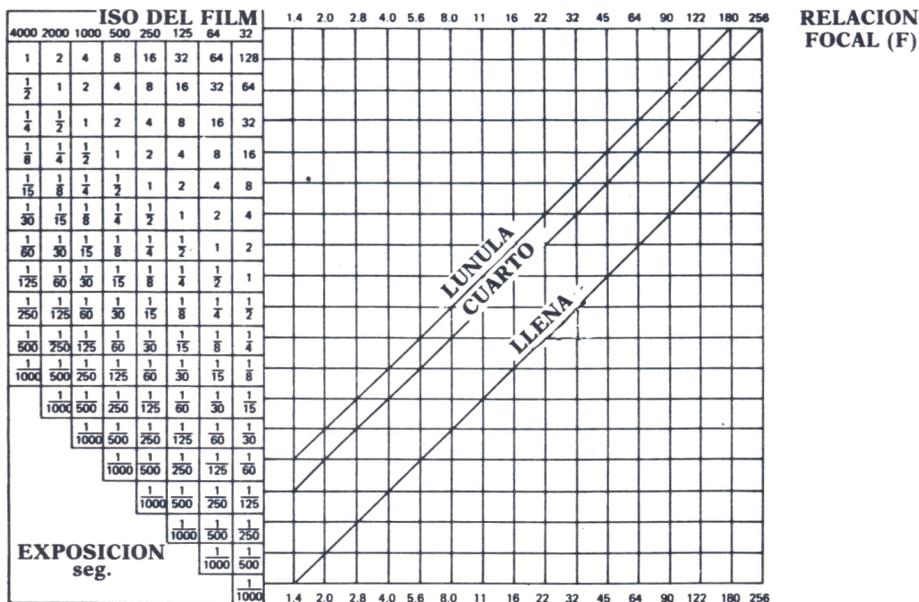
Una máquina fotográfica (normal) de paso universal tiene unas dimensiones de 24 x 36 mm. para el clisé, por lo que nuestra imagen lunar de 40,5 mm. es mayor que éste y el grado de ampliación empleado nos permite fotografiar un pequeño sector lunar y no la Luna *entera*.

Como detalles prácticos hay que indicar que la cámara debe estar sólidamente fijada al tubo del telescopio por medio de un adaptador o aco-

plador casero o comercial. Se debe ajustar cuidadosamente sobre el visor de la cámara y emplear un disparador neumático con el fin de evitar golpes y vibraciones en el momento de la exposición; de lo contrario, arruinaremos la nitidez de nuestra fotografía.

Otra recomendación de índole práctica es la de emplear en lo posible emulsiones muy rápidas, con el fin de que el tiempo de exposición sea corto. Tiempos reducidos de exposición evitan el problema producido por la rotación de la Tierra, el movimiento propio de la Luna y los efectos de turbulencia atmosférica.

Un parámetro que aún no conocemos es el tiempo de exposición, la cual depende de tres factores: el brillo aparente del astro. La relación focal (F) del telescopio y la sensibilidad del filme en grados ISO. El gráfico siguiente nos permite determinar finalmente, interpolando, si es necesario, el tiempo de exposición para nuestro ejemplo práctico.



Film recomendado

Tiempo expos.

Fujichrome 1600 ISO (diapositivas color)

1/4-1/2 seg.

Fuji HR 1600 ISO (negativo color)

1/4-1/2 seg.

Kodak TRI-X 400 ISO (blanco y negro)

1 seg.



DOCUMENTACION ASTRONOMICA

Catálogos y atlas

C. W. ALLEN: *Astrophysical Quantities*. Athlone Press, London.

Contiene una lista de las cien estrellas más próximas. Las cien estrellas más brillantes. Binarias espectroscópicas, de eclipse y visuales. Radioemisores. Cúmulos. Galaxias. Quasars. Se trata de una recopilación muy interesante.

W. TIRION: *Sky Atlas 2000*. Willmann-Bell.

Contiene veintiséis cartas que muestran las estrellas hasta la magnitud 8, más 2.500 objetos entre galaxias, cúmulos, nebulosas, etc. Editado en color.

Cálculo astronómico

JEAN MEEUS: *Astronomical Formulae for Calculators*. Willmann-Bell.

Libro de cálculo pensado para las personas que no precisen instrucciones detalladas para introducir el programa en la máquina. Se supone que el lector conoce cómo escribir sus propios programas si se dispone de las ecuaciones y de algunos ejemplos de trabajo.

DUFFET-SMITH: *Practical Astronomy with your Calculator*. Willmann-Bell.

Los problemas tratados en este Manual incluyen: transformación de coordenadas, órbitas, posiciones planetarias y eclipses, movimientos de la Luna, etc., en un libro sencillo y con ejemplos.

FITZ-PATRICK: *Principles of Celestial Mechanics*. Willmann-Bell.

Los conceptos de la mecánica celeste son aplicados a los problemas de

navegación en los satélites artificiales, se suponen conocimientos de ecuaciones diferenciales, análisis vectorial y mecánica.

Obras generales de interés observacional

JOSÉ LUIS COMELLAS: *Guía del Firmamento*. Editorial Rialp.

Una excursión completa por las curiosidades del cielo; un libro dirigido especialmente al observador con telescopio.

ROTH: *Guía de las estrellas y los planetas*. Edit. Omega.

La Astronomía moderna en un libro muy al día.

R. BURNHAM: *Burnham's Celestial Handbook*. Willmann-Bell.

Tres volúmenes, la Biblia para el amateur entusiasta, obra de referencia.

M. CORTÉS: *Fotografía astronómica para el aficionado modesto*. Publicación de la Agrupación Astronómica de Sabadell.

Una introducción concisa al mundo de la Astrofotografía.

P. BOURGE: *La Photographie Astronomique d'Amateur*. Public. Photo Cinema, Paul Montiel, París.

Un libro especial para el amante de la fotografía astronómica, obra de referencia.

The Cambridge Encyclopaedia of Astronomy. Public. Jonathan Cape, 30 Bedford Square, London.

Uno de los mejores libros de Astronomía general producidos hasta la fecha. Recomendada su lectura, obra de referencia.

OSTER: *Astronomía Moderna*. Edit. Reverté.

Obra de divulgación general puesta al día.

Anuarios astronómicos

Anuario del Observatorio de San Fernando. Instituto y Observatorio de la Marina de San Fernando, San Fernando (Cádiz).

El anuario más completo de habla hispana.

Revistas

Astrum, AAS; calle Font, 1. Sabadell (Barcelona).

Órgano de difusión de la Agrupación Astronómica de Sabadell; artículos de divulgación y resultados observacionales de los asociados, de edición trimestral (aprox.)

Sky & Telescope. Sky Publishing Co., 49 Bay State Road, Cambridge, Mass. (EE.UU.).

La revista de divulgación astronómica más importante del mundo.

Tribuna de la Astronomía.

La primera revista de Astronomía a nivel nacional: se vende en quioscos.

Astronomy. Astromedia Co., 625 E. St. Paul Ave. P.O. Box 92788, Milwaukee, WI 53202 (EE.UU.).

La revista más idónea para el amateur.

ENCICLOPEDIA PRACTICA DE LA **INFORMATICA** APLICADA

INDICE GENERAL

1 COMO CONSTRUIR JUEGOS DE AVENTURA

Descripción y ejemplos de las principales familias de aventura para ordenador: simuladores de combate, aventuras espaciales, búsquedas de tesoros..., terminando con un programa que permite al lector construir sus propios libros de multiaventura.

2 COMO DIBUJAR Y HACER GRAFICOS CON EL ORDENADOR

Desde el primer «brochazo» aprenderá a diseñar y colorear tanto figuras sencillas como las más sofisticadas creaciones que pueda llegar a imaginar, sin necesidad de profundos conocimientos informáticos ni artísticos.

3 PROGRAMACION ESTRUCTURADA EN EL LENGUAJE PASCAL

Invitación a programar en PASCAL, lenguaje de alto nivel que permite programar de forma especialmente bien estructurada, tanto para aquellos que ya han probado otros lenguajes como para los que se inician en la informática.

4 COMO ELEGIR UNA BASE DE DATOS

Libro eminentemente práctico con numerosos cuadros y tablas, útil para poder conocer las bases de datos y elegir la que más se adecúe a nuestras necesidades.

5 AÑADA PERIFERICOS A SU ORDENADOR

Breve descripción de varios periféricos que facilitan la comunicación con el ordenador personal, con algunos ejemplos de fácil construcción: ratón, lápiz óptico, marco para pantalla táctil...

6 GRAFICOS ANIMADOS CON EL ORDENADOR

En este libro las técnicas utilizadas para la animación son el resultado de unas pocas ideas básicas muy sencillas de comprender. Descubrirá los trucos y secretos de movimientos, choques, rebotes, explosiones, disparos, saltos, etc.

7 JUEGOS INTELIGENTES EN MICROORDENADORES

Los ordenadores pueden enfrentarse de forma «inteligente» ante puzzles y otros tipos de juegos. Esto es posible gracias al nuevo enfoque que ha dado la IA a la tradicional teoría de juegos.

8 PERIFERICOS INTERACTIVOS PARA SU ORDENADOR

Descripción detallada de la forma de construir, paso a paso y en su propia casa, dispositivos electrónicos que aumentarán la potencia y facilidad de uso de su ordenador: tableta digitalizadora, convertidores de señales analógicas, comunicaciones entre ordenadores.

9 COMO HACER DIBUJOS TRIDIMENSIONALES EN EL ORDENADOR PERSONAL

Compruebe que también con su ordenador personal puede llegar a diseñar y calcular imágenes en tres dimensiones con técnicas semejantes a las utilizadas por los profesionales del dibujo con equipos mucho más sofisticados.

10 PRACTIQUE MATEMATICAS Y ESTADISTICA CON EL ORDENADOR

En este libro se repasan los principales conceptos de las Matemáticas y la Estadística, desde un punto de vista eminentemente práctico y para su aplicación al ordenador personal. Se basan los diferentes textos en la presentación de pequeños programas (que usted podrá introducir en su ordenador personal).

11 CRIPTOGRAFIA: LA OCULTACION DE MENSAJES Y EL ORDENADOR

En este libro se presentan las técnicas de mensajes a través de la criptografía desde los primeros tiempos hasta la actualidad, en que el uso de los computadores ha proporcionado la herramienta necesaria para llegar al desarrollo de esta técnica.

12 APL: LENGUAJE PARA PROGRAMADORES DIFERENTES

APL es un lenguaje muy potente que proporciona gran simplicidad en el desarrollo de programas y al mismo tiempo permite programar sin necesidad de conocer todos los elementos del lenguaje. Por ello es ideal para quienes reúnan imaginación y escasa formación en Informática.

13 ECONOMIA DOMESTICA CON EL ORDENADOR PERSONAL
Breve introducción a la contabilidad de doble partida y su aplicación al hogar, con explicaciones de cómo utilizar el ordenador personal para facilitar los cálculos, mediante un programa especialmente diseñado para ello.

14 COMO SIMULAR CIRCUITOS ELECTRONICOS EN EL ORDENADOR
Introducción a los diferentes métodos que se pueden emplear para simular y analizar circuitos electrónicos, mediante la utilización de diferentes lenguajes.

15 COMO CONSTRUIR SU PROPIO ORDENADOR
Cuando se trabaja con un ordenador, lo único que puede apreciarse, a simple vista, es una especie de caja negra que, misteriosamente, acepta una serie de instrucciones. En realidad, un ordenador es una máquina capaz de recibir, transformar, almacenar y suministrar datos.

16 EL ORDENADOR COMO INSTRUMENTO MUSICAL Y DE COMPOSICION
Análisis de cómo se puede utilizar el ordenador para la composición o interpretación de música. Libro eminentemente práctico, con numerosos ejemplos (que usted podrá practicar en su ordenador casero) y lleno de sugerencias para disfrutar haciendo de su ordenador un verdadero instrumento musical.

17 SISTEMAS OPERATIVOS: EL SISTEMA NERVIOSO DEL ORDENADOR
Características de diversos sistemas operativos utilizados en los ordenadores personales y caseros. Se trata de llegar al conocimiento, ameno aunque riguroso, de la misión del sistema operativo de su ordenador, para que usted consiga sacar mayor rendimiento a su equipo.

18 UNIX, EL ESTANDAR DE LOS SISTEMAS OPERATIVOS MULTIUSUARIO
La aparición y posterior difusión del sistema operativo UNIX supuso una revolución en el mercado, de tal modo que se ha convertido en el estándar de los sistemas multiusuario. Su aparente complejidad podría provocar, en principio, un primer rechazo, pero debido a su potencia se convierte rápidamente en una extraordinaria herramienta de trabajo apta para cualquier tipo de aplicaciones.

19 EL ORDENADOR Y LA ASTRONOMIA
Los cálculos astronómicos y el conocimiento del firmamento en un libro apasionante y curioso.

20 VISION ARTIFICIAL. TRATAMIENTO DE IMAGENES POR ORDENADOR

El procesado de imágenes es un campo de reciente y rápido desarrollo con importantes aplicaciones en área tan diversas como la mējora de imágenes biomédicas, robóticas, teledetección y otras aplicaciones industriales y militares. Se presentan los principios básicos, los sistemas y las técnicas de procesado más usuales.

21 PRACTIQUE HISTORIA Y GEOGRAFIA CON SU ORDENADOR

Libro interesante para los aficionados a estas ciencias, a quienes presenta una nueva visión de cómo utilizar el microordenador en su estudio.

22 LA CREATIVIDAD EN EL ORDENADOR. EXPERIENCIAS EN LOGO

El LOGO es un lenguaje enormemente capacitado para la creación principalmente gráfica y en especial para los niños. En este sentido se han desarrollado numerosas experiencias. En el libro se analizan estas experiencias y las posibilidades del LOGO en este sentido, así como su aplicación a su ordenador casero para que usted mismo (o con sus hijos) pueda repetirlas.

23 EL LENGUAJE C, PROXIMO A LA MAQUINA

Lenguaje de programación que se está imponiendo en los microordenadores más grandes, tanto por su facilidad de aprendizaje y uso, como por su enorme potencia y su adecuación a la programación estructurada. Vinculado íntimamente al sistema operativo UNIX es uno de los lenguajes de más futuro entre los que se utilizan los micros personales.

24 COMO ELEGIR UNA HOJA ELECTRONICA DE CALCULO

En este título se estudian las diferentes versiones existentes de esta aplicación típica, desde el punto de vista de su utilidad para, en función de las necesidades de cada usuario y del ordenador de que dispone, poder elegir aquélla que más se adecúe a cada paso.

25 PRACTIQUE FISICA Y QUIMICA CON SU ORDENADOR

Libro eminentemente práctico para realizar pequeños «experimentos» con su ordenador y distraerse de un modo útil.

26 EL ORDENADOR Y LA LITERATURA

En este libro se examinan procesadores de textos, programas de análisis literario y una curiosa aplicación desarrollada por el autor: APOLO, un programa que compone estructuras poéticas.

27 PRACTIQUE CIENCIAS NATURALES CON EL ORDENADOR

Ejemplos sencillos para practicar con el ordenador. Casos curiosos de la Naturaleza en forma de programas para su ordenador personal.

28 ERGONOMIA: COMUNICACION EFICIENTE HOMBRE-MAQUINA

Análisis de la comunicación entre el hombre y la máquina, y estudio de diferentes soluciones que tienden a facilitarla lo más posible.

29 LOS LENGUAJES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Libro en que se describen los lenguajes específicos para la «elaboración del saber» y los entornos de programación correspondientes. El conocimiento de estos lenguajes, además de interesante en sí mismo, es sumamente útil para entender todo lo que la Informática Artificial supondrá para el futuro de la Informática.

30 ¿MAQUINAS MAS EXPERTAS QUE LOS HOMBRES?

Después de situar los «sistemas expertos» en el contexto de la inteligencia artificial y describir su construcción, su funcionamiento, su utilidad, etc., se analiza el papel que pueden tener en el futuro (y presente, ya) de la Informática.

NOTA:

Ediciones Siglo Cultural, S. A., se reserva el derecho de modificar, sin previo aviso, el orden, título o contenido de cualquier volumen de esta colección.



La intención de este libro es dar a conocer una serie de programas sobre temas astronómicos, con la doble finalidad de promover la observación y la experimentación de los medios que actualmente nos ofrecen los microordenadores personales, cuya potencia de cálculo y posibilidades actuales superan a la de los ordenadores comerciales de los años sesenta.

