

El mantenimiento de ingenios espaciales en condiciones de microgravedad



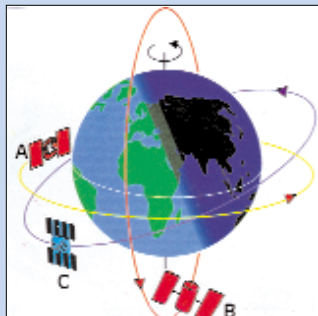
MARTIN CUESTA ALVAREZ
Ingeniero Aeronáutico

Todo es posible a quien no teme los trabajos
SÉNECA

INGENIOS ESPACIALES MANTENIBLES

Denominamos así, aquellos a los que puede hacerse el mantenimiento de forma directa por el

hombre -astronautas- haciendo uso para su transporte de lanzaderas como lo fueron las Soyuz para las estaciones soviéticas Salyut entre 1971 y 1985, lo que han sido las Soyuz y Progress para el mantenimiento de la MIR durante



SATELIZACION CIRCULAR Y SU MANTENIMIENTO

- A.- Satélites en órbita geoestacionaria
- B.- Satélites en órbitas heliosincrónicas
- C.- Satélites en constelaciones, para control y guiado de la navegación aérea
- C • Ingenios espaciales (estaciones MIR, ISS, telescopio Hubble)
- * Solamente mantenibles para correcciones de actitud y orbitales, por ondas electromagnéticas enviadas desde la Tierra
- C • Mantenibles por astronautas

CINEMATICA DE SATELIZACION CIRCULAR ALREDEDOR DE LA TIERRA

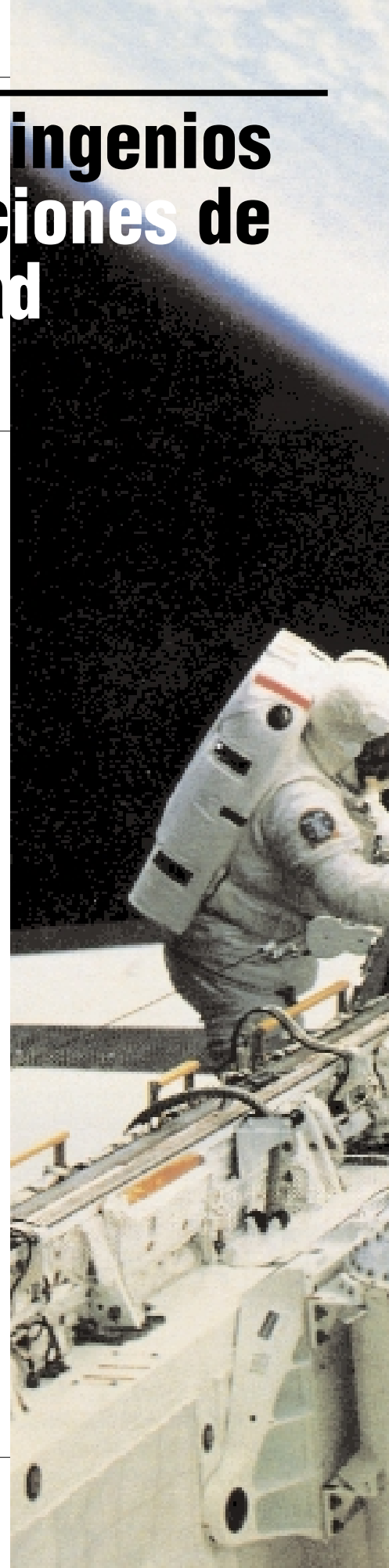
μ .- Constante gravitacional de la Tierra

$$\mu = 0.3986 \times 10^6 \text{ Km}^3/\text{s}^2$$

R.- Distancia del ingenio espacial al centro de la Tierra

$$R = R_m + h \begin{cases} R_m.- \text{Radio medio de la Tierra; } R_m = 6.371 \text{ Km.} \\ h.- \text{altitud del ingenio espacial sobre la Tierra} \end{cases}$$

V.- Velocidad circular	$V = 3600 \sqrt{\frac{\mu}{R}} \text{ Km/s}$ $V = 2273 \times 10^3 / \sqrt{R} \text{ Km/s}$
g.- Aceleración de la gravedad	$g = 10^3 \mu / R^2 \text{ m/s}^2$ $g = 3986 \times 10^5 / R^2 \text{ m/s}^2$
t.- Tiempo invertido en una órbita	$t = 2\pi R / V = 174 \times 10^{-3} R^{3/2} / \sqrt{\mu} \text{ h}$ $t = 2'76 \times 10^{-6} R^{3/2} \text{ h}$
n.- Número de órbitas por día	$n = 24/t = 13'793 R^{-3/2} \sqrt{\mu} \text{ v/d}$ $n = 8'70 \times 10^6 R^{-3/2} \text{ v/d}$





Operación de mantenimiento correctivo del satélite Syncom IV-3, realizada el 27 de agosto de 1985, sobre una lanzadera Discovery, en la misión STS-51D para arreglar el motor de apogeo del satélite. Astronautas de la NASA, Hoffman y Griggs. Destaca entre los astronautas, y hacia arriba, el brazo robot (unido a la lanzadera) que soporta a los astronautas

15 años, y la Space Shuttle de la NASA, ahora, para la Estación Espacial Internacional (ISS).

Consideramos no mantenibles aquellos ingenios -satélites- a los que sólo pueden hacerse correcciones de sus órbitas por señales radioeléctricas desde la Tierra, son:

- Satélites en órbita geostacionaria: el satélite tiene una órbita circular en el plano ecuatorial de la Tierra, y gira a la misma velocidad de rotación que ella; el satélite se presenta para un observador desde la Tierra, siempre en el mismo punto, a una altitud de 35.786 km.

- Satélites en órbitas geosincrónicas: el satélite pasa sobre los mismos puntos de la Tierra, prácticamente a la misma hora del día; al cabo de un año de su puesta en órbita, circular, casi polar, cruza el plano ecuatorial el mismo día y a la misma hora que en su primera órbita, a una latitud entre 700 y 1.000 km.

- Constelaciones de satélites para control y guiado de la Navegación Aérea, como el GPS (24 satélites en 6 órbitas) el soviético GLONASS (24 satélites en 3 órbitas), y lo será en un futuro próximo el europeo Galileo (probablemente con 30 satélites).

COMIENZO DE LA ERA ESPACIAL. EL HOMBRE EN EL ESPACIO

Un mes después del lanzamiento del Spuknit-1 (4 de octubre de 1957), la URSS enviaba al espacio el 3 de noviembre el Sputnik-2 con la perrita Laika, primer ser vivo que salía al espacio exterior.

El primer vuelo humano en un vehículo espacial tuvo lugar el 12 de abril de 1961, cuando el cosmonauta soviético Yuri Gagarin en una astronave Vostok 1 realizó una misión de 1 h. 48 min. de duración, dando una vuelta alrededor de la Tierra en una órbita elíptica de 327 km. de apogeo y 181 km. de perigeo, manteniéndose en esta órbita 89 min. 18 seg.

LA PRIMERA SALIDA EXTRAVEHICULAR

La primera salida extravehicular tuvo lugar el 12 de marzo de 1965. Los cosmonautas soviéticos Leonov y Bel-

mayer a bordo de una astronave Vosjod-2 (sucesora de las Vostok), se mantuvieron en órbita elíptica de 65° de inclinación, 512 km. de apogeo y de 175 km. de perigeo durante 26 h. 2 min.

Leonov salió de la nave y se mantuvo unido a ella por un cable durante 12 min. 9 seg.; el tiempo total de Leonov fuera de la nave fue de 20 min. por problemas de entrada en la nave debido a la expansión del traje espacial. En la reentrada un fallo en el reactor principal hizo que fuera necesario utilizar el retrocohetes auxiliar, lo que llevó a los cosmonautas a caer en un bosque inhóspito; se tardaron 24 horas en localizarlos sanos y salvos.

La misión extravehicular de Leonov fue transmitida en directo por televisión por una cámara ubicada en la Vosjod.

HITOS EN SALIDAS EXTRAVEHICULARES PARA MANTENIMIENTO

Se da la circunstancia de que las dos primeras salidas extravehiculares para misiones de mantenimiento fueron protagonizadas por dos mujeres, el año 1984, con poca diferencia de tiempo: la soviética Svetlana Savitskaia y la estadounidense Kathryn D. Sullivan.

Savitskaia salió al exterior de una astronave Soyuz T12, para llegar a la estación Salyut 7, el 25 de julio de 1984, para probar una nueva máquina herramienta de corte y soldadura de placas metálicas entre sí, y también para pulverizar revestimientos sobre metales diversos; se mantuvo fuera de la Soyuz 3 horas y 35 minutos.

Kathryn D. Sullivan, con David C. Ledesma, repostaron al satélite ERBS (Earth Radiation Budget Satellite) los depósitos de combustible de los motores para corrección orbital. Fue en el vuelo nº 13 de la lanzadera Challenger, en octubre de 1984.

El 22 de agosto de 1985, los astronautas americanos Hoffman y Grigsrealiza-



Astronauta realizando entrenamiento en condiciones de gravedad reducida en la piscina del Johnson Space Center de la NASA en Houston.

ron la que es hoy considerada la primera misión compleja de mantenimiento correctivo, realizada a 350 km. de altitud, para reparar el motor de apogeo del satélite de comunicaciones Symcon IV-3 (13 de abril) para situarlo en órbita geoestacionaria (altitud 35.786 km.), ya que se había

quedado en aquella órbita, circular y baja de 350 km., con la consiguiente falta de recepción de las señales para las que había sido proyectado.

La misión 51-D, que era la nº 20 de la Space Shuttle Discovery, llevó a Hoffman Grigs hasta el satélite; un brazo robot de fabricación canadiense lo captó y con el trabajo de los astronautas fue introducido en el amplio compartimiento de la lanzadera, en donde fue reparado el dispositivo de encendido del motor.

El Syncom IV-3 había costado su diseño, desarrollo y lanzamiento, 85 M\$, todo fue salvado por aquel mantenimiento; minutos después se encendió por una señal a distancia y el satélite llegaría a su órbita geoestacionaria, para funcionar correctamente.

Los records más destacados de estancia del hombre en el espacio, dedicado a trabajos de investigación y mantenimiento de instalaciones son:

- Los cosmonautas soviéticos Titov y Manarov llegaron a la estación MIR el 21 de diciembre de 1987 a bordo de la nave Soyuz TM-4 y regresaron a la Tierra el 21 de diciembre de 1988 en la Soyuz TM-6, en total 366 días.

- El cosmonauta ruso Serguei Ardeyev, ha permanecido en el espacio 743 días, de los cuales 380 han sido en una de las últimas misiones en la MIR.

- Valery Poliakov, ruso, que fuera distinguido con el Premio Príncipe de Asturias 1994 de Cooperación, ha estado 679 días en el espacio, de los cuales 438 lo han sido en una misión de la MIR, tiempo éste en que realizó más de 100 experimentos, además del mantenimiento de la estación.

- Soliniov ostenta el mayor número de actividades espaciales extravehiculares, en total 16 misiones de mantenimiento de la MIR.

ACELERACION DE LA GRAVEDAD

Sabemos que la aceleración de la gravedad (g), es la fuerza con la que atrae



Avión Zero-G (gravedad cero), operado por Novespace de Francia, para ensayos de microgravedad en vuelos parabólicos por la Agencia Europea del Espacio (ESA).

la tierra a la unidad de masa, y que si esta masa está sobre la superficie de la Tierra, g tiene un valor medio próximo a $9'81 \text{ m/seg}^2$. Este valor fue calculado en 1790 por el francés Charles Borda midiendo el tiempo de duración T de las oscilaciones de un péndulo de longitud l que había demostrado Joseph Lagrange (contemporáneo de Borda) que respondía a la expresión:

$$T = 2P\sqrt{l/g} \text{ resultando } g = 9,8096 \text{ m/seg}^2$$

Isaac Newton había enunciado en 1666 la ley de la atracción universal: "la fuerza F de atracción entre dos cuerpos de masas respectivas m^1 y m^2 , es directamente proporcional al cuadrado de la distancia r que separa sus centros", formulación que publicó en 1669 ($F \sim m_1 m_2 / r^2$) en su obra *Philosophie Naturalis Principia Mathematica*.

Henry Cavendish en 1766 determinaba el valor de la constante de proporcionalidad (G), que enunciara Newton 100 años antes, llegando a la conclusión de $G = 6,672 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ KG}^{-1} \text{ s}^{-2}$, determinación que hizo midiendo la débil fuerza entre dos esferas de masa 1 Kg. cada una, separados sus centros 1 m.

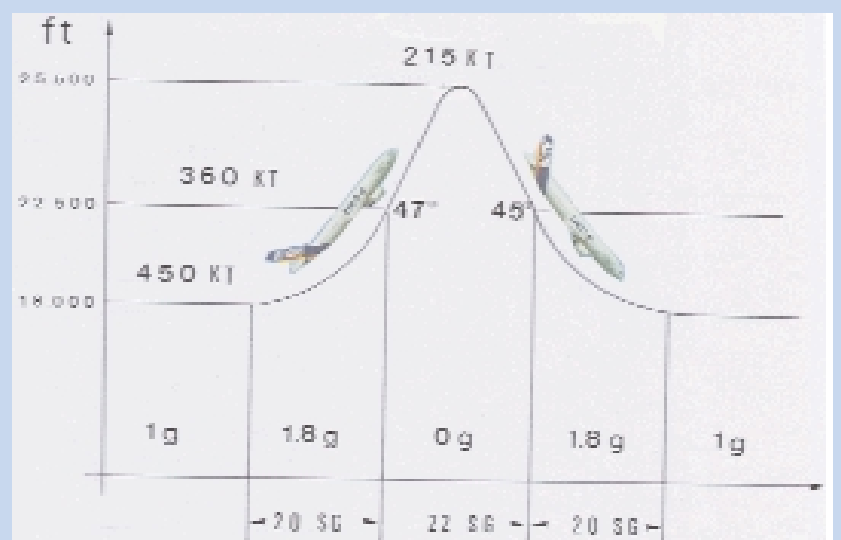
El valor de g, a distancia R del centro de la Tierra de la unidad de masa resultaba responder a la expresión: $g = GM/R^2$. Para valores de R y g determinados, la masa M de la tierra resultó ser $M = 5'9742 \times 10^{24} \text{ Kg}$.

Al valor $\mu = GM = 0'3986 \times 10^6 \text{ Km}^3/\text{s}^2$ se le denomina constante gravitatoria de la Tierra, y es el parámetro más determinante para los cálculos de dinámica espacial [8].

Así $g = \mu/R^2$, que corresponde para $g = 9'81 \text{ m/s}^2$ a una distancia R - 6.374 Km., un radio entre el Polar $R_p = 6356'755 \text{ Km}$., y el medio $R_m = 6.371 \text{ Km}$., siendo el radio ecuatorial $R_o = 6.378'140 \text{ m}$., valores estos adoptados en el XVI Congreso Astronáutico Internacional, celebrado en Grenoble en agosto de 1976. El radio medio se adoptó como la media geométrica entre

$$R_o \text{ y } R_p; R_m = \sqrt[3]{R_o R_p}$$

La determinación de g en cualquier punto distante R del centro de la tierra, queda así perfectamente definida.



Perfil altitud (ft.-pies)/tiempo (SG), de los ensayos de microgravedad en vuelos parabólicos efectuados con el avión "Zero G".

Kt es la velocidad del avión, en nudos.

47° es la actitud del avión en el punto de la parábola en donde empieza la gravedad reducida, y -45° en donde termina.

La gravedad se hace prácticamente nula en el vértice de la parábola.

MICROGRAVEDAD

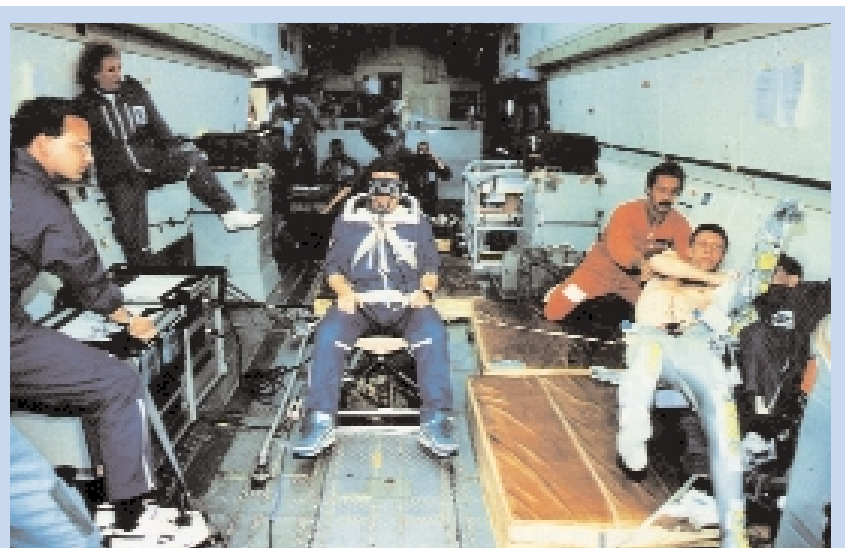
El término microgravedad (μg) puede ser interpretado de diversas formas, según su campo de aplicación.

El término micro (μ) es derivado del original mikros, que en griego significa pequeño; así, con esta definición un entorno de microgravedad es aquél en donde la atracción que ejerce la Tierra sobre el cuerpo es pe-

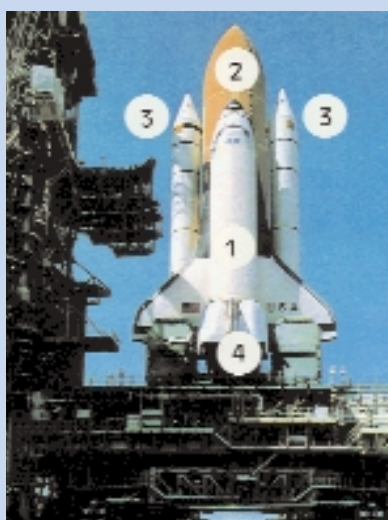
queña comparada con la que ejerce la Tierra sobre el cuerpo en su superficie.

Ahora bien, matemáticamente micro es $\mu = 10^{-6}$ y por lo tanto $\mu g = 10^{-6} g$, esto es la millonésima parte de la superficie de la Tierra.

De acuerdo con esto, si deseáramos tener un campo gravitatorio de $10^{-6} g$, por ejemplo en un laboratorio supuesto hipotéticamente estático a una distancia R del centro de la Tierra,



Grupo de futuros astronautas en el avión ruso Illyushin Il-76, en vuelo parabólico sometidos a condiciones de microgravedad, en la Ciudad de las Estrellas, cerca de Moscú.



Lanzadera espacial de la NASA

- 1.- SST (Space Shuttle Transportation).
- 2.- Tanque externo (LOX-LH₂).
- 3.- Dos "boosters" de propulsante sólido.
- 4.- Tres motores principales.

• Tipos de SST y primer lanzamiento

- Enterprise 1973 (ensayos)
 - Columbia 1981, 12 de abril
 - Challenger 1983, 4 de abril (1)
 - Discovery 1984, 30 de agosto
 - Atlantis 1985, 3 de octubre
 - Endeavour 1992, 7 de mayo
- (1) Catástrofe el 28 de enero de 1986; había realizado siete misiones satisfactorias.

resultaría $R = 6'374 \times 10^6$ Km.; distancia ésta que es equivalente a casi 17 veces la existente entre las superficies de la Tierra y la Luna, que es una media de 376.284 Km.

Entonces nos hacemos la pregunta: ¿cómo se pueden obtener condiciones de microgravedad en un espacio relativamente próximo, en donde se mueven satélites (como el observatorio espacial Hubble) o estaciones espaciales (como ha sido la soviética MIR, y está empezando ahora la Estación Espacial Internacional), o en la lanzadera estadounidense SST?

La respuesta ya la había dado Newton hace más de 300 años, quien por primera vez lo expuso en su obra "De Mundi Systemati Liber" publicada a comienzos del siglo XVIII, cuando manifestó: "Si se lanzara un objeto desde lo alto de una montaña con una velocidad horizontal lo suficientemente

grande para vencer la atracción de la Tierra, el objeto volvería al mismo punto de lanzamiento" (grabado que se expone en la Biblioteca Nacional de París). Había descubierto la satelización.

Los motores cohete del siglo XX serían los que situarían al objeto (satélite) a alturas muy superiores a la más alta de las montañas, y lo impulsarían con la velocidad requerida.

De acuerdo con los principios básicos de dinámica espacial, la velocidad circular (V_c) a la que se refería Newton, genera una aceleración centrífuga que al ser de sentido contrario al de la gravedad g (y tener el mismo valor), anula la acción de la gravedad, llegando a obtener, teóricamente, no sólo valores de microgravedad sino de ingravidez, gravedad cero. Decimos teóricamente, porque en los ingenios espaciales se generan vibraciones que hacen disminuir la aceleración centrífuga, en tanto se mantiene la fuerza gravitatoria, lo que en la realidad supone que no sea nula la fuerza de atracción de la tierra sobre el ingenio espacial, considerándose actualmente condiciones de microgravedad a partir de 10^{-4} g y menores.



Astronauta trabajando en el laboratorio espacial de una lanzadera. Obsérvese como tiene sus pies libres en una abrazadera para evitar movimientos no controlados en condiciones de microgravedad.

El cuadro adjunto expone como quedan determinadas la velocidad circular, la fuerza centrífuga generada y el número de órbitas por día.

ENSAYOS DE GRAVEDAD REDUCIDA EN PISCINAS

La simulación de reducción de la fuerza de la gravedad se está haciendo en piscinas de gran tamaño, la de la NASA en el Johnson National Space Center de Houston, la de Rusia en la Ciudad de las Estrellas, cerca de Moscú y la de la ESA en Toulouse.

El peso del astronauta en entrenamiento, al introducirse totalmente en la piscina, aproximadamente a 3 o 4 metros de profundidad, queda reducido en el peso del agua desplazado (principio de Arquímedes); así un astronauta que redujera su peso al 88% del normal fuera de la piscina, está en un medio



La lanzadera Discovery en la misión STS-78, realizó desplazamientos en la espectacular posición ZLV (Zero Lift Velocity.- Velocidad con sustentación cero), para medir las diferentes vibraciones en la dirección de los ejes de referencia de la lanzadera.

de gravedad $88\% \times 9'81 = 8'69 \text{ m/s}^2$, que es la correspondiente a las condiciones de atracción de la Tierra en el observatorio espacial Hubble que está en órbita alrededor de la Tierra a 593 Km. de altitud. Ahora bien, como en la piscina no se puede simular la aceleración centrífuga generada a más de 27.000 km/h, el astronauta es soportado por un brazo plataforma que lo mantiene en posición vertical.

Los astronautas en entrenamiento manifiestan que el desplazamiento de los brazos soportando herramientas es obstaculizado por la fuerte resistencia del agua, y si una herramienta se les cae, se va al fondo de la piscina (aproximadamente 12 m. de profundidad), lo que no ocurre en el espacio exterior en donde la herramienta -sujeta al astronauta- está sometida a condiciones de microgravedad.

ENTRENAMIENTO EN CONDICIONES DE INGRAVIDEZ EN VUELOS PARABOLICOS

Estos entrenamientos se están haciendo con grandes aviones modificados interiormente para las pruebas: la NASA con un Boeing B-707, que denomina KC-135; Rusia con un Illyushin 76 y la ESA con un Airbus A300 que llama Zero G.

Los vuelos son muy parecidos en los tres aviones; exponemos el del Zero G: el avión a 18.000 pies y a 450 nudos (830 Km/h) es sometido por el piloto a un fuerte "tirón" con el que se alcanza una aceleración centrífuga media de 1'8 g, con valores máximos entre 2 g y 2,5 g (hipergravedad); con este tirón el avión asciende en vuelo

de trayectoria parabólica, y cuando alcanza una actitud de 47° y la velocidad se ha reducido a 360 nudos (666 Km/h), el piloto reduce el empuje de los motores casi totalmente, momento éste en que la aceleración es aproximadamente de 1 g; el avión sigue ascendiendo, por inercia, prácticamente sin empuje, hasta alcanzar 25.500 pies en el vértice de la parábola descrita, en donde con 215 nu-

horas, durante los cuales se hacen entre 30 y 40 parábolas, lo que significa, en este último caso, ensayos de gravedad de 10^{-3} g 40 veces cada vuelo, en total 600 seg (40 x 15), 10 minutos por vuelo.

La ESA entre 1984 y 1999 bajo contrato con la NASA realizó en el KC-135, 2.650 parábolas; después utilizó un Caravelle, y desde el 21 de noviembre del año 2000 lo hace con el Zero G, en periodos que denominan campañas, la n° 30 desde que comenzaron estos ensayos en 1984, ha ha tenido lugar en mayo de este año 2001.

LA LANZADERA ESPACIAL "SPACE SHUTTLE"

La NASA envió al espacio una "Space Shuttle" bautizada con el nombre de Columbia el 12 de abril de 1981, tras las pruebas sin lanzamiento de la Enterprise.

Desde entonces ha puesto en servicio cuatro tipos de lanzadera de características muy similares (ver cuadro).

Las más utilizadas actualmente son las tipo Discovery (74 Tm) y Endeavour (69 Tm), la más pequeña de todas.

Cuando se publique este artículo por la Revista de Aeronáutica y Astronáutica, estará próxima o se habrá sobrepasado la misión n° 120, lo que significa una media de seis lanzamientos al año.

La tripulación de una lanzadera está formada, normalmente, por siete miembros: comandante, piloto, tres especialistas de la misión y dos especialistas de la carga de pago. La diferencia entre los especialistas de la misión y los especialistas de la carga de pago es que aquellos son los res-



Astronauta de la NASA en la misión STS 50 (lanzadera Columbia, 25 de junio de 1992), haciendo ejercicios de recuperación en un dispositivo tipo bicicleta, sin asiento. Las protecciones laterales son aisladores para no crear vibraciones en la estructura de la lanzadera.

dos ($\approx 400 \text{ Km/h}$), se llega a $1 \times 10^{-3} \text{ g}$, y menores. El avión comienza a descender, y con una incidencia en picado de 45° vuelve a alcanzar 360 nudos y tras el enderezamiento por el piloto vuelve a vuelo horizontal a 450 nudos a 18.000 pies de altura.

Cada vuelo suele durar entre 2 y 3



Astronauta haciendo una operación de taladrado durante la misión STS-51 D. El esfuerzo que realiza es pequeño pues la herramienta prácticamente no pesa en condiciones de microgravedad.

pensables de los experimentos en la lanzadera y en caso necesario la salida de la nave en vuelo extravehicular está reservada a ellos; los especialistas de la carga de pago son los colaboradores directos de los especialistas de la misión, sin salir de la lanzadera.

MEDIDAS DE MICROGRAVEDAD REALIZADAS EN LA LANZADERA ESPACIAL

Son de destacar las efectuadas en dos vuelos de la lanzadera Columbia, en sus misiones STS 55 y STS 78.

En la misión STS 55 se completó MMA (Microgravity Measurement Assembly), entre los días 26 de abril y primeros de mayo de 1993. Se situaron en el Columbia sensores que podían detectar valores resultantes de la gravedad y la fuerza centrífuga entre 10^{-5} y 10^{-2} g, dentro de una gama de frecuencias entre 0.1 y 100 Hz.

El valor medio de microgravedad registrada fue de 0.185×10^{-6} , y se determinaron las variaciones a lo largo de los ejes x, y, z de la lanzadera (ejes longitudinal, transversal y vertical) resultando variaciones respectivas de $\pm 0.8 \mu$, $\pm 0.0006 \mu$ g, y $\pm 2 \times 10^{-1}$ g. Con estos resultados se demostró que los valores con menos error eran los coincidentes con la dirección de la gravedad y la fuerza centrífuga.

En la misión STS-78, se completó LMS (Life and Microgravity Space-lab), realizada entre los días 20 de junio y 7 de julio de 1996, con una duración de 16 días, 21 horas y 48 minutos, fue la misión de mayor duración efectuada por una lanzadera; se hicieron 30 experimentos, 23 por la ESA y siete por la NASA.

En la STS-78 se hizo durante todo el tiempo de su estancia en órbita, "volar" con una actitud denominada ZLV (Zero Lift Velocity), esto es con sustentación cero, trasladándose la lanzadera de forma que la cola estuviera hacia la Tierra, el morro en el punto más alejado y el cuerpo avan-

zado en la dirección del desplazamiento; de esta forma se hacía menor la probabilidad de impactos o micro-meteoritos.

CONDICIONES DE PRESION AMBIENTAL

Para altitudes entre 250 Km. y 400 Km., que son las más normales para realizar misiones de mantenimiento, la presión ambiental está comprendida entre 10^{-10} Kg/cm² (2.250 Km. de altura) y 10^{-13} Kg/cm² (a 400 km. de altura).

Estas condiciones de presión unidas a las de microgravedad, hacen necesario que el astronauta tenga que hacer ejercicios físicos para mantener su forma y antes de entrar en el traje espacial eliminar el nitrógeno que tenga en la sangre.

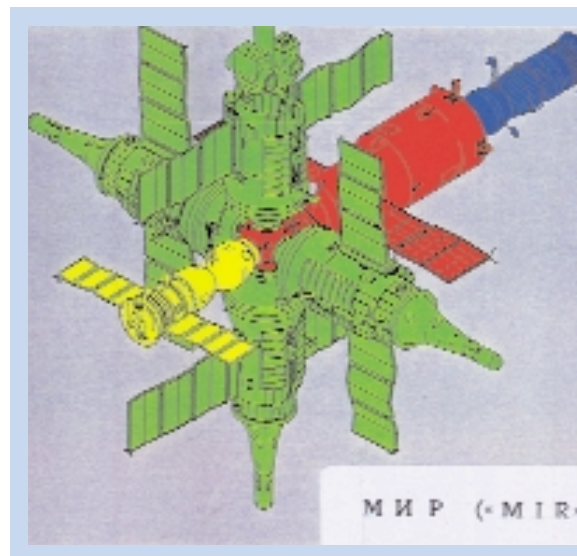
La disminución muy fuerte de la densidad no es desfavorable porque al disminuir la presión dinámica, son menores los esfuerzos para los desplazamientos del astronauta.

EL TRAJE ESPACIAL

Principalmente su misión es alejar el cuerpo del astronauta de la fuerte presión diferencial que existe entre las condiciones ambientales aptas para la vida y la del exterior.

Otra misión del traje espacial es mantener una concentración al menos del 98% del oxígeno en la sangre.

Una mochila dorsal contiene un fil-



CONFIGURACION DE LA ESTACION ESPACIAL MIR

1.- Módulo básico (para atraque de astronaves)

Módulos de servicio

- 2.- "Spektr"
- 3.- "Cristal"
- 4.- "Kwart"
- (2 unidades)
- 5.- "Piroda"

Astronaves

- 6.- "Soyuz TM" (transporte de cosmonautas)
- 7.- "Progress TM" (transporte de carga)

tro de hidróxido de litio que retiene el CO₂ exterior. En esta mochila va también una batería de gran capacidad y un equipo de radio.

El casco tiene la misión de adaptar la visión y proteger de los rayos solares, en el gran número de veces al día que se pasa de la noche al día (aproximadamente 40 veces).

El astronauta es portador de la unidad de maniobra de control manual (que en la Tierra pesa 270 Kg); con una mano actúa para traslación, y con la otra para rotación; ambos sistemas tienen doble redundancia.

El astronauta, a su voluntad, se mueve por la reacción de un pequeño chorro de nitrógeno que lanza una pistola.

VISIBILIDAD, ACCESIBILIDAD, ALCANZABILIDAD, MANEJABILIDAD Y OPERACIONES CON HERRAMIENTAS

La visibilidad se refiere a la exterior, pues como el tiempo que tarda el satélite, la estación espacial, o la lanzadera en recorrer una órbita, es de 90 minutos como valor medio, esto supone que los periodos de día y de noche se suceden cada 45 minutos, que si se tienen en cuenta los crepúsculos anterior y posterior, resulta una media de 40 minutos de día y 40 minutos de noche con la consiguiente dificultad de trabajar a oscuras, aún cuando con luz artificial.

La accesibilidad comienza cuando la lanzadera que transporta a los astronautas se acerca al satélite o a la estación espacial. En los satélites la accesibilidad es facilitada por el brazo robot de la lanzadera, y en la estación espacial por los módulos de atraque de las naves, acercamiento que es suave y de un acoplamiento perfecto.

La alcanzabilidad, que en tierra tiene las dificultades impuestas por la fuerte atracción de la gravedad es notablemente disminuida en condiciones de microgravedad.

Así, por ejemplo, un salto a tierra

más fácil en microgravedad que en tierra, pues la herramienta en aquella condición prácticamente no pesa y sólo es necesaria la presión para punzar, taladrar, atornillar, poner tuercas...



Astronauta en una misión extravehicular; la unidad de control manual (véase texto), le permite moverse a su voluntad, pudiendo alejarse unos 100 metros del transbordador.

desde 10 m. de altura es imposible por la rapidez de la caída y el impacto de la alta velocidad; hacen falta escaleras. En condiciones de microgravedad aquellos efectos quedan fuertemente atenuados.

En tierra resulta $t \approx 1'5$ seg; con μg de $10^{-4} g$, t es más de dos minutos.

En tierra la velocidad de caída desde 10 m. de altura, es un poco menos de $1'5$ m/seg, en tanto que en microgravedad (de $10^{-6} g$), es poco más de $1'5$ centésima de m/seg.

La operación con herramientas, es

200 W/cm², la llama vuelve a ser normal.

LA MIR: EL MAYOR NUMERO DE MISIONES DE MANTENIMIENTO

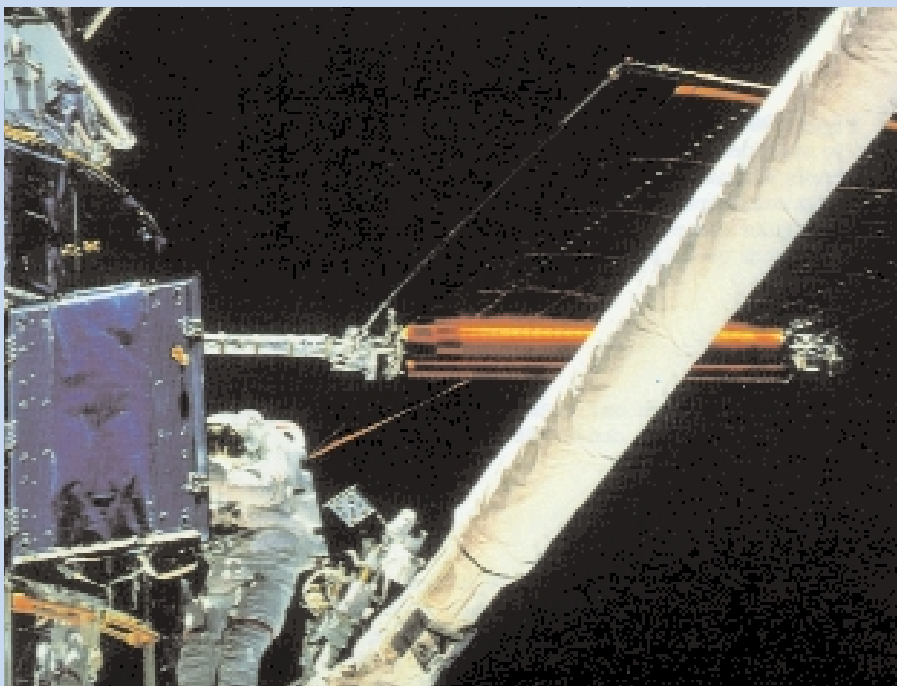
El 20 de febrero de 1986, la URSS enviaba al espacio, poniéndolo en órbita circular alrededor de la Tierra, un componente cilíndrico de 15 m. de longitud y más de 4 m. de diámetro; pesaba unas 20 TM. Sería el primer bloque de la Estación MIR (paz, en

OPERACIONES DE SOLDADURA Y CORTE POR LLAMA, EN CONDICIONES DE MICROGRAVEDAD

El efecto de la microgravedad es negativo cuando es necesario hacer operaciones de soldadura o corte de metales, si bien se ha encontrado la solución.

Pruebas efectuadas en el avión KC-135, han demostrado que en la combustión de una mezcla del 95% de Helio y 5% de CO₂ (proporciones volumétricas), la forma convencional de "gota de lágrima" de una llama, se reduce en condiciones de microgravedad a un pequeño casquete esférico a la salida del quemador, y la velocidad de propagación del calor (quema de barras de plexiglás) disminuye aproximadamente así: para 1 g, 1 cm/seg; para $10^{-3} g$, 0'02 cm/seg.

Afortunadamente se ha encontrado la solución al problema: sometiéndolo a la salida del quemador a un campo eléctrico próximo a



Fotografía de un astronauta en la misión STS-61, corrigiendo el desenfoque del espejo principal del Hubble. Obsérvese cómo el brazo robot unido a la lanzadera, soporta al astronauta.

NASA en abril de 1990, en la misma misión STS-31 de la lanzadera.

El HST es el primer ingenio espacial diseñado y construido para hacerle mantenimiento en órbita por astronautas.

La NASA es responsable del 85% de la misión y la ESA del 15%.

A poco tiempo de su lanzamiento, fue detectado que su espejo principal, de 2'4 m. de diámetro, estaba desenfocado y las imágenes que proporcionaba estaban fuertemente distorsionadas. La misión que estaba previsto de antemano que durara 15 años, no se podía desarrollar así. Siete astronautas (seis americanos y uno europeo) desde una "Space Shuttle" Endeavour, durante 30 horas de trabajo extravehicular, en diciembre de 1993, hicieron un mantenimiento correctivo singular y a partir de enero de 1994, las imágenes emitidas por el Hubble comenzaron a ser excelentes. Esta primera misión de mantenimiento era la STS-61 de la lanzadera, los astronautas Smith y Collier también cambiaron los paneles solares.

La segunda misión de mantenimiento de Hubble, fue la STS-82, en febrero de 1997. Los dos astronautas que trabajaron en la misión fueron Smith y Collier, los mismos que habían intervenido en la 1ª; efectuaron tres salidas extravehiculares, y sus trabajos principales fueron cambiar el espectrógrafo de imágenes y una cámara de rayos infrarrojos.

La tercera misión tuvo lugar entre los días 20 y 28 de diciembre de 1999, en una Discovery; fueron reemplazados los seis giróscopos y un computador, y aislado el control interno de temperatura.

Una cuarta misión se habrá realizado ya, cuando salgan estas líneas; cambiarán por segunda vez los paneles solares, que se alabean por la incidencia de los rayos del sol; se espera que sea la misión STS-104.

Está previsto que el Hubble finalice su vida hacia el año 2010, y será traído a la Tierra; dos años antes se lanzará otro Hubble de Nueva Generación de Telescopios Espaciales (NGST).

ruso); una variante de la plataforma Salyut 7.

Desde aquella fecha de 1986 hasta el 23 de abril de 1997, la URSS/Rusia lanzó cinco módulos más: el Kwant 1 (abril 87), el Kwant 2 (diciembre 89), el Cristal (junio 90), el Speck y Piroda (abril 97). La MIR así completada llegaría a pesar más de 130 Tm.

En los más de 15 años que ha durado su vida activa, ha completado 77.000 órbitas a la tierra.

A la MIR han llegado astronautas tripuladas en 30 ocasiones, con la participación de 100 astronautas; en la estación han llegado a convivir hasta 10 personas.

La altitud de su órbita ha sido 350-450 Km. sobre la tierra, en un plano orbital de 51° 6' respecto del ecuador terrestre.

Son de destacar dos misiones euro-rusas, una la EuroMir 94, lanzada el 3 de octubre de 1994 y regreso el 3 de noviembre (en total 31 días); y la otra EuroMir 95, de 135 días, entre el 3 de septiembre de 1995 y el 16 de enero de 1996. En EuroMir 95 el astronauta Thomas Reiter estuvo cinco horas fuera de la estación (20 octubre 1995) colocando en el módulo Speckler unos captadores

de polvo cósmico para ser analizados después en la Tierra.

EL OBSERVATORIO ESPACIAL HUBBLE: SU ALTA MANTENIBILIDAD

El Hubble (HST: Hubble Space Telescope) fue lanzado al espacio por una "Space Shuttle" Discovery de la



Fotografía del observatorio espacial "Hubble" en la primera misión de mantenimiento que se le hizo en diciembre de 1993 (STS 61, lanzadera Endeavour) por astronautas de la NASA, para corregir un defecto de enfoque del espejo principal.

LA ESTACION ESPACIAL INTERNACIONAL

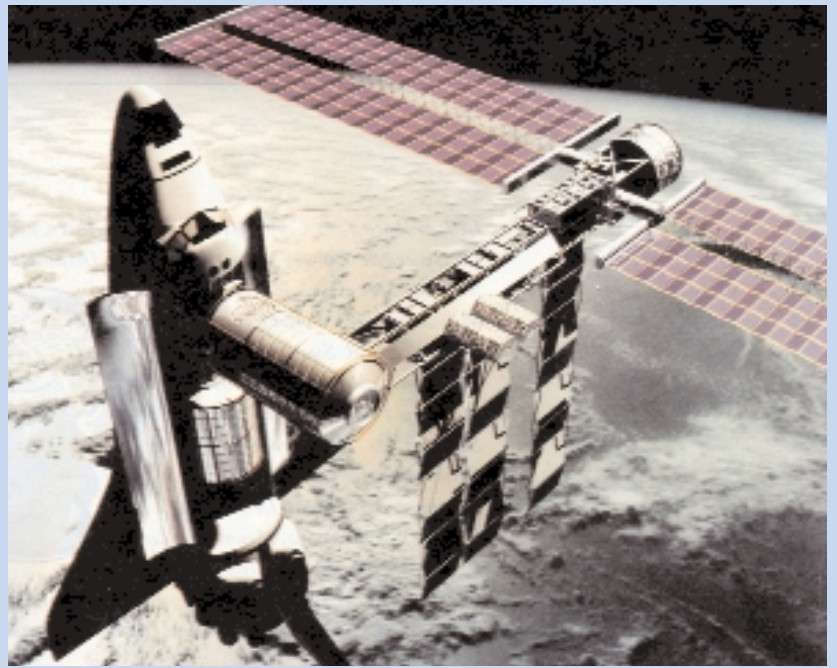
El programa de la estación espacial, en principio netamente norteamericana, fue lanzado en 1984 durante el discurso anual sobre “el estado de la nación” del presidente Ronald Reagan.

Después de muchas vicisitudes se remodelaría varias veces, siendo la última en 1993; la estación así definida llevaría la denominación de Estación Espacial Alpha. Hoy, la internacionalización del proyecto ha dado lugar a la Estación Espacial Internacional (ISS).

La denominación de Internacional está plenamente justificada: 18 países intervienen en este programa, son:

Estados Unidos, cuyos trabajos coordina la NASA; Rusia, cuyas actividades corren a cargo de RKA; Japón por la NASDA; Canadá, parte coordinado por la NASA y parte por la ESA, y Europa que engloba los países pertenecientes a la Agencia Europea del Espacio (ESA) y que enumerados por orden alfabético son: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Holanda, Irlanda, Italia, Noruega, Reino Unido, Suecia y Suiza; recientemente se ha incorporado Portugal.

La primera expedición de astronautas a la ISS fue el 31 de octubre de 2000 fueron el estadounidense Bill Shepherd, el ruso Yuri Gidaenko y el también ruso Sergei Krikalev. Partie-



Visión artística de una lanzadera de la NASA (tamaño agrandado) en posición de atraque a la Estación Espacial Internacional.

ron de Kazajstan en una astronave Soyuz.

El 19 de abril de 2001 partió la segunda expedición (siete astronautas, entre los que estaba el primer europeo, el italiano Humberto Guidoni); en la misión STS 100, con una nave Endeavour, desde el Centro Espacial Kennedy. Sustituyeron a los de la primera expedición.

Serán necesarios 45 lanzamientos de naves espaciales, de los que 33 co-

rresponderán a la NASA, y 12 a la Agencia Espacial rusa (RKA) y 145 salidas extravehiculares que totalizarán 110 horas.

El 20 de noviembre de 1998 fue lanzado el módulo “Zarya” (en ruso “amanecer”); el 3 de diciembre de ese mismo año se lanzó el nudo nº 1 (de fabricación estadounidense), en la misión STS-88 de una “Space Shuttle” Endeavour, desde Cabo Kennedy. Los astronautas de la NASA llegados en el transbordador unieron el nudo nº 1 al módulo ruso “Zarya” en la que fue la primera salida extravehicular para el montaje de la ISS.

El 26 de julio de 2000, lanzamiento desde el Cosmódromo de Bakonor del módulo ruso Zvezda (“estrella” en ruso). El Zvezda servirá de alojamiento a las tripulaciones en los próximos cuatro años hasta que la estación esté completada y además portó la antena para ajuste de relojes respecto del tiempo en la Tierra.

Es de hacer destacar que el 14 de junio pasado, la Estación Espacial Internacional (ISS) era distinguida con el Premio a la Cooperación Internacional 2001, premio que se habrá entregado ya cuando salgan estas líneas, en Oviedo, capital del Principado de Asturias. ■



Visión artística del conjunto de la Estación, que una vez completada tendrá un tamaño, en planta, equivalente a un gran estadio de fútbol.