



Boeing 747: una aventura comercial

ANTONIO GONZALEZ BETES
Coronel Ingeniero Aeronáutico

EL 747 está considerado como uno de los aviones mejor adaptado a su misión, el transporte de personas y mercancías a velocidades subsónicas, a gran distancia.

El proyecto del 747 tiene éxito por-

que la compañía constructora dispone en 1966 de una sólida experiencia industrial, avalada por la fabricación de los aviones militares B-47 y B-52, especificaciones de los usuarios, dinero y recursos humanos.

Examinando ciertos hitos en la historia de los aviones fabricados por Boeing se observa que la experiencia de Boeing empieza en el año 1935, con la fabricación del B-17, del cual se construyen 13.000 unidades. En



1944 se desarrollan los B-47 (se fabrican 1.600 aviones). Sigue en 1950 con el bombardero B-52 (que todavía está en servicio). En 1952 comienza el desarrollo del avión comercial cuatrirreactor, el 707, que se puede considerar junto con los B-47 y B-52 los precursores del 747.

El 747 es con mucho el proyecto más arriesgado de la historia de la aviación comercial. En caso de fracaso, la compañía Boeing hubiese ido a la bancarrota. Los presidentes de las compañías Boeing y Pan American, arriesgaron lo indecible en una aventura que jamás volverían a repetir, según sus propias manifestaciones.

En octubre de 1993, la SINGAPORE Airlines recibe el avión 747 que

hace el número 1000 de la saga de este modelo. Se siguen fabricando y se espera continúen en servicio en los próximos 30 años. Pocos aviones han alcanzado este privilegio.

Veamos como nace este interesante aeroplano, «Jumbo» o gigante del aire.

NACIMIENTO DEL 747

Boeing en el año 1963 presenta su licitación para un transporte militar gigante que necesita la Fuerza Aérea de EE. UU. Pierde el contrato que es adjudicado a la Lockheed.

Boeing entonces decide empezar el diseño de un avión comercial gigante. Como primer paso presentan a la

compañía Pan American la idea, que en principio es aceptada. El proyecto empieza el 13 de abril de 1966.

Los diseños preliminares se denominan 747-136 y -137, el primero con un fuselaje en triple burbuja y 219 toneladas de peso al despegue y el segundo, -137, con doble burbuja y 270 toneladas también al despegue. Sus valoraciones son de 14 y 16 millones de dólares respectivamente.

En la configuración final, la capacidad de carga transportable, esto es, el alojamiento de los contenedores fueron determinantes para el diseño del fuselaje. Este es de sección circu-

Un avión 747-400 despegando de la pista de vuelo.

lar con dos pisos o niveles. En el piso superior, cabina de pilotaje y un gran salón en que se alojarían hasta 69 pasajeros.

A nivel inferior la gran cabina de pasajeros en clase mixta negocios/turista, con una anchura de 6 metros y según las configuraciones, filas de 9 o 10 asientos (en total 370 pasajeros). A nivel mas inferior la zona de carga para alojamiento de los contenedores. El proyecto pasa a producción el 25 de julio de 1966 y es presentado en sociedad el 30 de setiembre de 1968.

En cuanto a la motorización, para el 747 se utilizan cuatro motores y se eligen los diseñados por Pratt & Whitney, JT9D-1 «Turbofan». El empuje inicial es de 18.573 kilogramos, ampliables hasta 19.932 en un período de tres años.

Boeing con el apoyo de la Pan American Airways, concreta la firma de un acuerdo para construir 25 aviones 747, por un importe de 531 millones de dólares, incluidos repuestos y servicios. El contrato se firma el 12 de diciembre de 1969. El primer avión se entregará a PAN AM a principios de 1970.

Se fija en 370 el número de pasajeros y se fija también un límite inferior al radio de acción. En cuanto a la velocidad de crucero, se establece en Mach= 0.877 a una altitud de 33.000 pies. El ruido máximo en 117 PNDP y el peso vacío del fabricante (MEW), en 124.164 Kgs. El motor elegido es del modelo JT9D-(), de la Pratt & Whitney, con un compromiso de empuje máximo de 21.291 Kgs en 6 años. La revisión 189-7 del contrato, aumenta el MEW (peso vacío) en 6 Toneladas.



Los promotores del avión gigante 747, Juan Trippe presidente de Pan Am y William Allen presidente de la Boeing dos de los artífices del desarrollo del 747.



Joseph Sutter, jefe de ingeniería del proyecto del 747 y uno de los ingenieros mejor preparados de la Boeing.

Una medida posterior es nombrar dos equipos, uno por cada compañía que han firmado el contrato, pues entendieron que trabajando juntos sería posible conseguir el avión más revolucionario del siglo. Boeing nombra jefe de ingeniería del proyecto del 747 a Joseph Sutter.

El jefe de Sutter era Jack Steiner, Vicepresidente para desarrollo de productos; aquel era natural de Seattle, con titulación en ingeniería aeronáutica desde 1943.

El proyecto no tarda en interesar a otras compañías y dos años después de empezado el proyecto, esto es en 1968, se han firmado pedidos de 155 aviones para 26 operadores diferentes, entre ellos Iberia.

Comentemos ahora algunos aspectos del diseño del 747.

LOS PROBLEMAS IMPORTANTES DEL 747

Un nuevo avión nace por muchas razones, entre ellas los avances tecnológicos, necesidades y exigencias del usuario y un mercado potencial.

Las metas establecidas por el usuario son las siguientes:

—Economía de operación inferior en un 30 por ciento a la del 707.

—Capacidad de transporte entre 350 y 400 pasajeros, inclusive para vuelos intercontinentales.

—Menor ruido que el 707.

—Motores muy económicos (bajo consumo).

—Utilización de los aeropuertos sin grandes cambios.

Transportar unos 400 pasajeros, plantea la cuestión de optimizar el volumen disponible del fuselaje y diseñar unos asientos y pasillos que no disminuyesen la comodidad de los pasajeros.

La velocidad y el radio de acción están muy relacionadas con la aerodinámica, empuje y consumo específico de los motores.

El menor ruido de los motores, depende del diseño de los mismos, de la barquilla que los aloja y de su aislamiento.

Para utilizar los aeropuertos existentes es necesario considerar un tren de aterrizaje de nuevo diseño. Así nace uno con 16 ruedas en el tren principal y dos en el morro. De esta forma se consigue una repartición de las cargas, que permite utilizar las pistas existentes.

Otro aspecto muy importante se refiere a los servicios en tierra. Hay que diseñar equipos nuevos o adaptar el existente, ya que las puertas del 747 se encuentran a unos 5 metros sobre el suelo. También hay que redi-

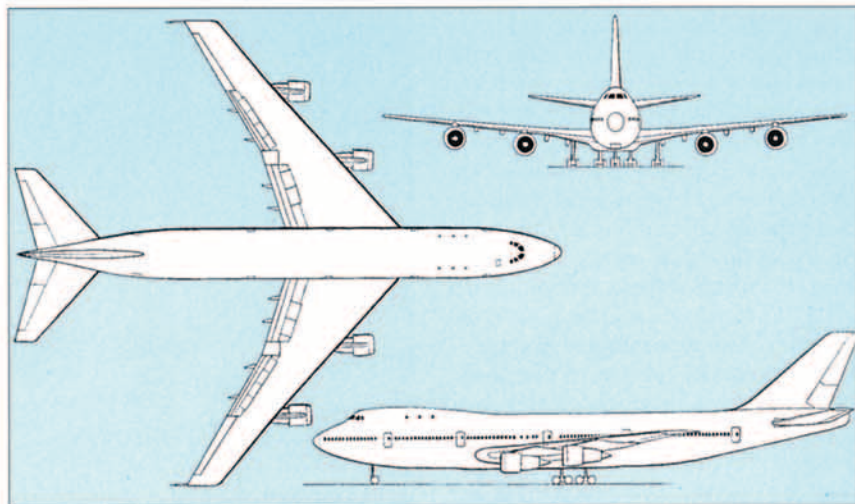
señar los edificios terminales para poder encauzar la llegada masiva de 400 pasajeros con sus equipajes.

Entendemos que la aerodinámica y los motores jugaron papeles fundamentales por lo que le vamos a dedicar algunas consideraciones.

EL ALA EN FLECHA

La experiencia adquirida por Boeing en el desarrollo y fabricación de los aviones militares B-47 y B-52, es un factor determinante en el diseño del 707 y lo es también en el 747. El diseño preliminar tiene alas en flecha y motores en pilones debajo de las alas. La experiencia, no cabe duda es fundamental pero hay que tener en cuenta los efectos de escala y los problemas aeroelásticos y de estabilidad en un nuevo avión gigante.

Las alas en flecha se hacen necesarias cuando se empiezan a desarrollar aviones que vuelan a velocidades subsónicas próximas a las del sonido y aparecen los fenómenos de compresibilidad, entre los números de Mach de 0,8 a 0,9, que se establece en el diseño. Aparte hay que considerar los



fenómenos aeroelásticos y de estabilidad dinámica. No hay que olvidar tampoco que el ala debe configurarse para velocidades de aterrizaje normales. El reto es claro.

Este tipo de alas en flecha se comienza a estudiar en Alemania, en los años 30, por discípulos de Prandtl y se mencionan entre ellos a Busemann y Betz. En Estados Unidos se interesan por estos estudios Robert T. Jones y Tsien.

Estados Unidos entra en el terreno del desarrollo de las alas en flecha hacia el final de la segunda guerra mundial y a través de un suceso entre la anécdota y la realidad.

El gobierno americano decide enviar en el año 1944 un grupo de científicos, dirigidos por Teodoro Von Karman, para visitar los laboratorios aerodinámicos alemanes. Forma parte del grupo uno de los más prestigiosos ingenieros de Boeing, George Shairer.



Detalles de la fabricación del fuselaje, en la nueva fábrica de Everett.

Este como consecuencia de las visitas realizadas capta inmediatamente la importancia de los estudios y realizaciones alemanas en el campo subsónico y la aplicación de las alas en flecha.

El Mando alemán es conocedor de los problemas debidos a la formación de ondas de choque que se presentan en los picados de los cazas cuando estos alcanzan velocidades próximas a las del sonido. Los científicos e ingenieros alemanes estudian el problema y encuentran un nuevo diseño de ala que aplican al proyecto del caza a reacción, Me-262. Es el primer avión birreactor con alas en flecha y que está operativo en los escuadrones alemanes. Los pilotos de estos aviones pueden acercarse a los fenómenos de compresibilidad sin deterioro de las actuaciones del avión.

Estos conocimientos son transmitidos inmediatamente por George Shairer del grupo de científicos e ingenieros americanos, a la Boeing y dan sus frutos en los proyectos del B-47 y B-52. Boeing por tanto adquiere la experiencia suficiente para diseñar este tipo de alas en flecha y con túneles aerodinámicos propios. Posteriormente aplica el ala en flecha en su primer avión comercial de reacción, el 707.



El prototipo del 747 despegó en su primer vuelo el 9 de febrero de 1969, del campo de Everett, Washington.



ALGUNAS CIFRAS REFERENTES AL 747

Cuadro I

En 25 años de servicio estos aviones han transportado el equivalente de la cuarta parte de la población mundial (1.400 millones de personas); la cifra de negocios ha alcanzado 150 mil millones de dólares igual al PNB español de 1985.

Los utilizan 178 compañías aéreas, de las cuales el 75 por ciento no son de Estados Unidos.

Nuestra compañía IBERIA con solo 7 aviones 747, ha transportado hasta Noviembre de 1993 unos 9 millones de pasajeros, aproximadamente 3 veces la población de Madrid y han acumulado 324.921 horas de vuelo.

Todos los aviones 747, existentes hasta Octubre de 1993, acumularon 37,08 millones de horas de vuelo y 8,68 millones de aterrizajes, equivalente a unos 1000 diarios.

Un 747 ha acumulado 97.794 horas de vuelo, otro ha efectuado 30.715 aterrizajes. Ambos aviones siguen prestando servicio.

El vuelo mas largo realizado por un 747 fue de Londres a Sidney, el día 21 de agosto de 1989. La distancia recorrida fue de 18.001 kilómetros y la cubre en 20 horas de vuelo. Esta distancia es 2,5 veces superior a la recorrida por el aeroplano español «Cuatro Vientos», desde Sevilla a Cuba, en junio de 1933.

La marca mundial de carga la tiene un 747-400, que despegó con un peso de 410.527 kilogramos, 1.200 veces el peso del aeroplano de los hermanos Wright.

La envergadura de un 747 mide 64 metros. La mitad de esta longitud o 32 metros es la carrera de despegue del primer aeroplano con motor que vuela en España el 5 de setiembre de 1909 en Paterna (Valencia).

La hora de vuelo de un 747 cuesta medio millón de pesetas aproximadamente (Datos de las Compañías U.S.A.-1989) que puede dividirse así: combustible 200.000; tripulación 77.000; mantenimiento 100.000; seguro 2.500 y el resto 178.000 gastos de la compañía (gestión, depreciación, intereses, alquileres y otros).

Avión 747-256B perteneciente a la flota de Iberia.

El camino no ha sido fácil, pues a la primera ala, la del B-47, le han dedicado 5 años y 3.000 horas de túneles aerodinámicos. Han tenido que resolver problemas de «flutter», balanceo holandés y las interferencias entre las barquillas de los motores y el ala.

A pesar de toda la experiencia de Boeing, el 747 necesita 14.000 horas de pruebas en túneles para el diseño del ala, adaptación al fuselaje y compatibilidad con los motores colgados en pilones exteriores al ala.

El ala en flecha, como es sabido, consigue eliminar los graves efectos de la compresibilidad en vuelo subsónico, ya que retrasa la aparición de las ondas de choque que tanto perturbaban el flujo aerodinámico.

En el ala en flecha, solo se aprovecha la sustentación producida por la componente de la velocidad de vuelo perpendicular al borde de ataque del

CARACTERÍSTICAS DEL ALA DEL 747

Tabla II

La envergadura es de 59,64 metros (747-100) y la superficie alar es de 510,97 metros cuadrados.

Tiene un alargamiento (relación de la envergadura a la cuerda media) de 6,96. La cuerda en el encastre mide 16,56 metros y en la punta 4,06 metros. Las relaciones espesor del perfil a la cuerda, valen 13,44, 7, 8 y 8,0 para las zonas interior, media y exterior del ala respectivamente.

El diedro mide 7 grados, la incidencia 2 grados y la flecha 37 grados y 30 minutos, medida en los puntos a 1/4 de la cuerda.

El ala está dotada de alerones exteriores e interiores para baja y alta velocidades. Flaps con triple ranura; siete «spoilers», cinco en la zona exterior y dos en la interior; ocho ranuras de borde de ataque, cinco exteriores y tres «Krueger», interiores.

En el modelo -400, se ha perfeccionado el ala y se ha añadido un ala adicional (Winglet) en los extremos de la misma.

ala; así se retrasa la aparición de las ondas de choque. Por ejemplo, en el 747 con una flecha de 37,5 grados, los efectos de la compresibilidad y por tanto la aparición de la velocidad crítica se disminuyen un 40 por ciento o lo que es lo mismo se alcanza aquella con una velocidad del avión 40 por ciento mayor.

El ala del 747 está optimizada para una velocidad de crucero de $M=0.875$ y trabaja razonablemente bien para el aterrizaje debido a los numerosos dispositivos hipersustentadores.

MOTORIZACION DEL 747

La elección del motor «turbofan» JT9D planteó numerosos problemas. En los años 60 los modelos «turbofan» están en pleno desarrollo y las exigencias del 747, alto empuje, bajo consumo y poco ruido puso a prueba la capacidad de la Pratt & Whitney.

Cuando Boeing elige el PW JT9D(-), solo existen dos motores, uno de General Electric (TF-39) y otro de Rolls Royce (RB-207), pero el de la PW representa la culminación de 5 años de investigación y una inversión de 100 millones de dólares. Es el que ofrece el mas alto factor de derivación, 5/1 y que puede instalarse en las barquillas del 707 y en las del B-52 para las pruebas en vuelo.

Motor de poca longitud, accesible, fácil de mantener y bajas interferencias aerodinámicas, lo que significa menor resistencia al avance y ruido muy aceptable, en

las tres categorías exigidas por la FAA. Boeing y PW firman en 1966 un contrato de 531 millones de dólares para entrega de los prototipos en 1968. El empuje pactado es de 18.573 kilogramos al despegue y 4530 en crucero a 10.670 metros de

altitud. El consumo específico se estima en un 25 por ciento inferior a los del 707.

El motor esta compuesto de un gran ventilador de 2,44 metros de diámetro, unido por un solo eje a la etapa baja del compresor. El 70 por ciento del empuje lo proporciona el aire derivado. El compresor esta formado por 14 etapas, tres en baja y once en alta y la turbina de seis etapas, dos de alta unidas a la parte de alta del compresor y cuatro de baja que van unidas al ventilador.

El prototipo tiene una longitud de 3,17 metros, un peso de 3.533 kilogramos y da un flujo total de aire de 662 kilogramos/segundo.

Los principales problemas que se presentan en este motor -que son probados en una de las barquillas dobles del avión B-52- consisten en: deformaciones (ovalización), que se resuelven con unos refuerzos; paradas con viento lateral, que se resuelven con unas trampillas laterales y poco empuje en las primeras unidades, aunque después cumple con creces, ya que consigue 21.300 kilogramos al despegue.

ASPECTOS ADICIONALES

La velocidad y altitud de crucero son importantes pues aparte de la rapidez, se intenta que el 747 vuele en niveles de vuelo mas altos, menos ocupados, lo que significa disminución de demoras del control del tráfico aéreo y menor consumo de combustible.

Volar mas alto plantea un fustaje mas resistente a la compresión. Hay que proporcionar una atmósfera vital a 400 pasajeros a 12.000 metros de altitud, donde la presión atmosférica relativa es 0,19 de la normal y la temperatura exterior de 56,5 grados centígrados negativos. Esto significa acondicionar una tonelada de aire con una presión equivalente a 2000 metros de altitud, una temperatura de 24 grados centígrados y 30 por ciento de humedad relativa. La eficacia del diseño se comprueba con unas pruebas de 20.000 ciclos alternativos de descompresión y presurización.

CARACTERÍSTICAS Y ACTUACIONES DEL 747

Tabla III

Modelo	747-400	747-100
Envergadura (m)	64,31	59,64
Flecha (grados)	37,50	37,50
Longitud (m)	70,66	70,66
Altura (m)	19,33	19,33
Área alar (m ²)	524,9	510,97
Anchura fuselaje (m)	6,13	6,13
Pasajeros (max)	660	550
Planta motriz:		
Fabricante	P&W	P&W
Modelo	P&W 4000	JT9D-1
Empuje (kgs)	25.740	21.300
Peso (kgs)	4.196	3.533
Actuaciones:		
Veloc. crucero (MPH)	630	630
Techo crucero (m)	13.000	10.600
Radio de acción (kms)	14.000	8.000
Peso despegue (kgs)	395.990	334.800
Peso combustible (kgs)	204.360	179.170
Carga (ton)	100	76,9
Consumo (gr/kora/kg.e)	308	350

FLOTA 747 DE IBERIA (ESPAÑA)

Tabla IV

(Todos del modelo -256B)

MATRICULA	Nº FABRICA	RECEPCION	EN SERVICIO
BRQ	20137	19-01-72	09-02-72
DIA	22238	01-05-80	06-05-80
DIB	22239	22-05-80	24-05-80
DLC	22454	19-02-81	11-03-81
DLD	22455	24-03-81	26-03-81
DNP	22764	27-02-82	06-03-82
EEK	24071	07-04-88	10-04-88

Datos: Dirección de Material. Subd Gestión y Ventas. 17-11-93.



Cabina de pilotaje digital del 747-400.

Para construir y diseñar este avión gigante Boeing necesita una nueva fábrica. Después de visitar 50 lugares eligen los terrenos de «Paine Field», antigua base aérea McChord, en Everett, condado de Snohomish, a unos 45 kilómetros al norte de Seattle. Allí se construye la fábrica cuyo volumen es el más grande del mundo, con seis millones de metros cúbicos. Se inaugura en mayo de 1967.

En cuanto a la cabina de pilotaje, se acuerda que no lleve navegante, por lo tanto hay que proporcionar a los pilotos un sistema de navegación autónomo, fiable y que pudiesen manejar sin carga adicional. Se elige el sistema inercial (INS). Es la primera vez que se usa en un avión comercial lo que viene a complicar el problema de su integración y funcionamiento. Se prueba a fondo en un

Tabla 1

DATOS COMPARATIVOS DE DISEÑO, CONTRATO Y PRIMER AVION 747

	DISEÑO	CONTRATO	PRIMER AVION
Acuerdo	22-12-65	---	
Contrato	---	13-4-66P.O.189	22-1-1979P.O.189-7
Pasajeros	350-400	370	370
Radio de Acción (Millas Náuticas)	5.100	4.462	4.600
Velocidad (Mach)	0.9	0.877	0.890+/- 2%
Longitud de Despegue (m)	2.439	3.018	3.582+/- 228
Altitud de Crucero (m)	10.670	10.060	9.634+/- 457
Peso Bruto al Despegue (kgs)	249.150	296.715	321.630
Peso vacío del Fabricante (kgs) (1)	108.720	124.164	130.053
Motores	---	JT9D-(1)	JT9D-(3)
Empuje (kgs) (2)	18.573	18.573	18.753
Ruido (PNdb)	---	117	115 +/- 3

(1) En marzo de 1967 el MEW había aumentado en 5 toneladas.

(2) La P & W fabricante de los motores, cuyo primer contrato había sido de 500 millones de dólares se comprometió en que el empuje inicial sería de 18.573, que aumentaría hasta 19.932 en tres años y a 21.291 en 6 años.



707 comprobándose que podía cumplir las especificaciones impuestas a la navegación y recalada en vuelos intercontinentales.

Otro aspecto singular de este proyecto es que solo se construye un prototipo del 747, que sigue prestando sus servicios como tal. Se convierte en el avión más modificado del mundo.

Y siguiendo con el desarrollo: en una maqueta —«mock-up»— se realizan miles de instalaciones y se resuelven otros tantos problemas. Dos de ellos dan bastantes quebraderos de cabeza.

Veamos esos problemas. Uno se refiere a los servicios al pasajero (audio, TV, llamadas, ventilación, iluminación, etc..) y otro referente a la evacuación en caso de accidente o abandono del avión por una emergencia.

Al asiento de cada pasajero hay que dotarle de dispositivos para enviar y recoger las diferentes señales mencionadas. Los cables necesarios para 400 asientos hacen prohibitivo por peso y volumen el sistema de cableado usual. Entonces se idea un sistema de transmisión de señales en tiempo compartido o «multiplex». Este consiste en que cada sección del avión se une al sistema por un solo cable, que va conectado a un rastreador que almacena las señales, desde o hacia el pasajero y las procesa cuando el sistema le da paso. El pasajero ni se entera del posible retraso pues se trata de milisegundos. Se ahorran con este sistema más de 300 kilogramos.

La evacuación necesita 24 puertas normales de emergencia para poder

evacuar el pasaje en los 90 segundos que exigen las normas internacionales. Como era imposible aumentar la velocidad de salida de los pasajeros, se llega a la conclusión que hay que aumentar la anchura de las puertas. Un nuevo diseño las reduce a 10. El avión pasa las pruebas.

La maqueta es aceptada el 30 de setiembre de 1968, lo que significa un paso muy importante. Los sistemas del prototipo son activados en enero de 1969. Se han consumido 14.000 horas de pruebas en túneles aerodinámicos, 10 millones de horas/hombre y cuatro años de continuo trabajo, de las 50.000 personas, de ellas 6.000 ingenieros.

El avión sale del hangar, el día 30 de septiembre de 1968. El vuelo de



pruebas tiene lugar el día 2 de febrero de 1969. El avión despegó a las 11:34 y después de varias pruebas aterrizó sin problemas. Los pilotos califican al 747 como «el sueño de un piloto».

La FAA le concede el certificado de aeronavegabilidad el 30 de diciembre de 1969 con las siglas N 733 PA.

El 747 entra en servicio comercial con un vuelo de Nueva York a Londres el 22 de enero de 1970. Se reciben 5.000 reservas para el vuelo inaugural.

EL ÉXITO DEL SIGLO

En 1978 se habían vendido 407 aviones y entregados 329 en siete diferentes versiones: -100, -200, -200F, -200C, -SR, -200 Combi y -SP. Esto

representa que Boeing ha alcanzado con creces el punto donde la compañía ya no pierde dinero.

Los aviones a través de los años han acumulado horas, al igual que los motores, demostrando ser el mejor avión comercial del mundo y el más rentable.

El presidente de Pan AM ya había vaticinado en 1971, «Estamos seguros y lo probaremos que el 747 será el avión más eficiente de la historia de la aviación».

En 1992 el avión 747, proporcionó empleo a 80.000 personas, de las cuales 10.400 eran de países diferentes de Estados Unidos.

El 747 versión 400 que hacia el número mil de los construidos, se entregó en una ceremonia a la SINGAPO-

Un avión 747-400 despegando de la pista de vuelo.

RE AIRLINES el 12 de octubre de 1993.

Se espera que sigan fabricándose estos gigantes hasta el año 2020.

Nuestra compañía de bandera IBERIA tiene actualmente 7 aviones 747 de la versión 256B.

EPÍLOGO

El avión 747 ha contribuido más que ningún otro a la unión entre los pueblos del mundo transportando personas y mercancías, con SEGURIDAD, ECONOMÍA Y RAPIDEZ, los tres requisitos esenciales del transporte aéreo ■