

X-66A, una antigua idea para la aviación comercial de la próxima década

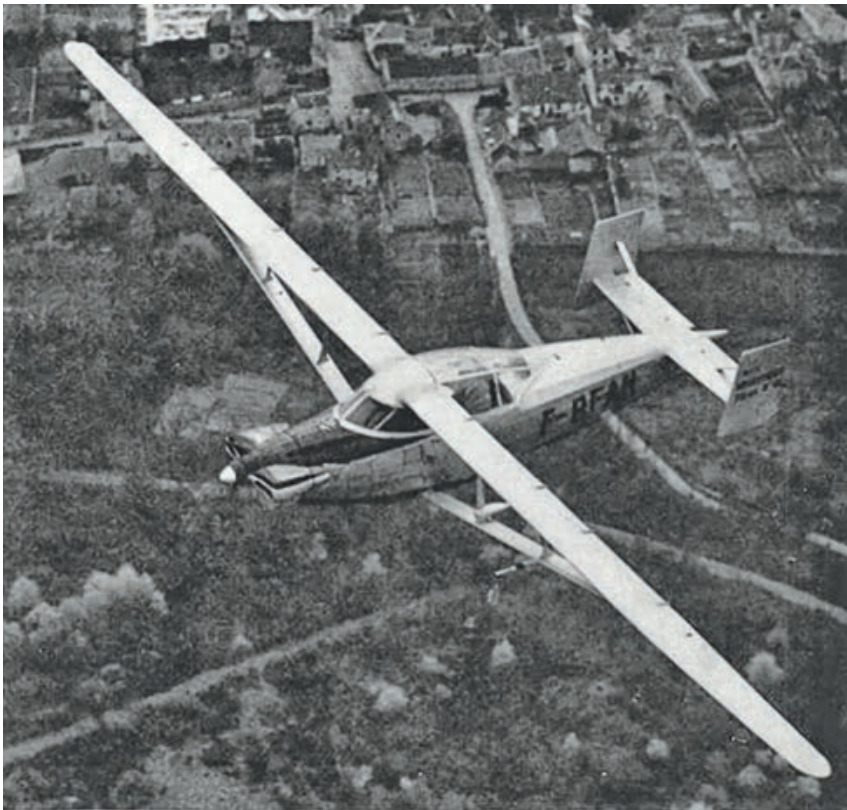
**JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ
CABEZA**
*Ingeniero aeronáutico
Miembro de número
del Consejo Asesor del SHYCEA*



La legendaria estirpe de los aviones X estadounidenses nació a principios de los años cuarenta cuando el NACA, antecesor de la NASA, la USAAF (USAF en 1947) y la U.S. Navy acordaron crear un marco para desarrollar aviones experimentales. Se inició con el Bell X-1, contratado en marzo de 1945, que se convirtió en octubre de 1947 en el primer avión supersónico de la historia. Setenta y cinco años más tarde se ha añadido a ella el X-66A, ahora con un objetivo radicalmente distinto: explorar la aplicación del ala de alargamiento en la aviación comercial.



Concepto artístico del Boeing X-66A



El HD-10 en vuelo

LOS TRABAJOS DE MAURICE HUREL

Los asistentes a la exhibición aérea del 18.º Salón de la Aeronáutica de París, que tuvo lugar en el aeropuerto de Orly el 14 de mayo de 1949, fueron testigos de la presencia del HD-10, un pequeño avión llevado allí por la Société des Avions Hurel-Dubois que destacaba por contar con un ala singular, muy estrecha y de envergadura desproporcionada en apariencia. Se trataba de un ala experimental de alargamiento muy grande, siendo esta característica el parámetro que relaciona la envergadura y la superficie.

La Société des Avions Hurel-Dubois había sido establecida en noviembre de 1947 por Maurice Hurel y Léon-Joseph Dubois, con el objetivo de desarrollar a nivel industrial aeronaves con alas de alargamiento muy grande. Desde los comienzos de la aviación era conocido que la resis-

tencia inducida de un ala –es decir la debida a la sustentación que genera– es inversamente proporcional a su alargamiento. Hurel piloto naval y di-

El HD-10 destacaba por contar con un ala singular, muy estrecha y de envergadura desproporcionada en apariencia. Se trataba de un ala experimental de alargamiento muy grande, siendo esta característica el parámetro que relaciona la envergadura y la superficie

señador de aviones, el alma mater de la empresa, consideraba que la aplicación de ese principio en los aviones comerciales sería un éxito por esa ra-

zón. El HD-10, construido en los Établissements Pierre Levasseur y volado por vez primera el 25 de agosto de 1948, no era sino una maqueta volante para experimentarlo. La incógnita principal era que la gran envergadura del ala obligaba a su arriostramiento, con la consiguiente influencia negativa en la resistencia parásita total del avión. Así el HD-10 se convirtió en el pionero del concepto TBW, Truss Braced Wing.

Hurel declararía en una entrevista concedida a la publicación L'Air en el curso del mencionado salón, que sus primeros trabajos sobre el HD-10 se habían iniciado en 1945. Indicaría además que, al margen de la importancia de ratificar con ensayos reales la reducción de la resistencia inducida, el resultado más interesante fue la comprobación de que con el diseño aerodinámicamente adecuado de las riostras y sus montantes auxiliares, su resistencia resultaba inferior a la que presentaría el ala configurada con el gran espesor y rigidez que harían innecesarios tales elementos.

El ala arriostrada del HD-10 era recta en su zona central, y se estrechaba ligeramente de manera uniforme hacia sus extremos a partir del punto de anclaje de las riostras en el intradós. Estaba equipada con flaps fowler y se le había dado una ligera torsión, pero no contaba con larguero alguno, de forma que su revestimiento, internamente reforzado, absorbía íntegramente las cargas. Tenía una envergadura de 12 m, una cuerda de 40 cm en su zona recta y una superficie de 4,5 m²; su alargamiento era 32. El HD-10 tuvo en principio un motor Mathis de 40 CV, reemplazado posteriormente por un Praga de 75 CV; pesaba 320 kg en vacío y medía 5,15 m de longitud.

HD-31 y HD-32

Los excelentes resultados del HD-10, unidos a la negociación de un contrato con el Estado francés

para el desarrollo de dos prototipos destinados a ensayar el concepto en condiciones reales, llevaron a la Société des Avions Hurel-Dubois a abrir en julio de 1951 una fábrica en Villacoublay, donde el siguiente 1 de septiembre comenzó la fabricación del primero de ellos, llamado HD-31, que efectuó su vuelo inaugural el 27 de enero de 1953 con seis meses de adelanto sobre la fecha comprometida contractualmente.

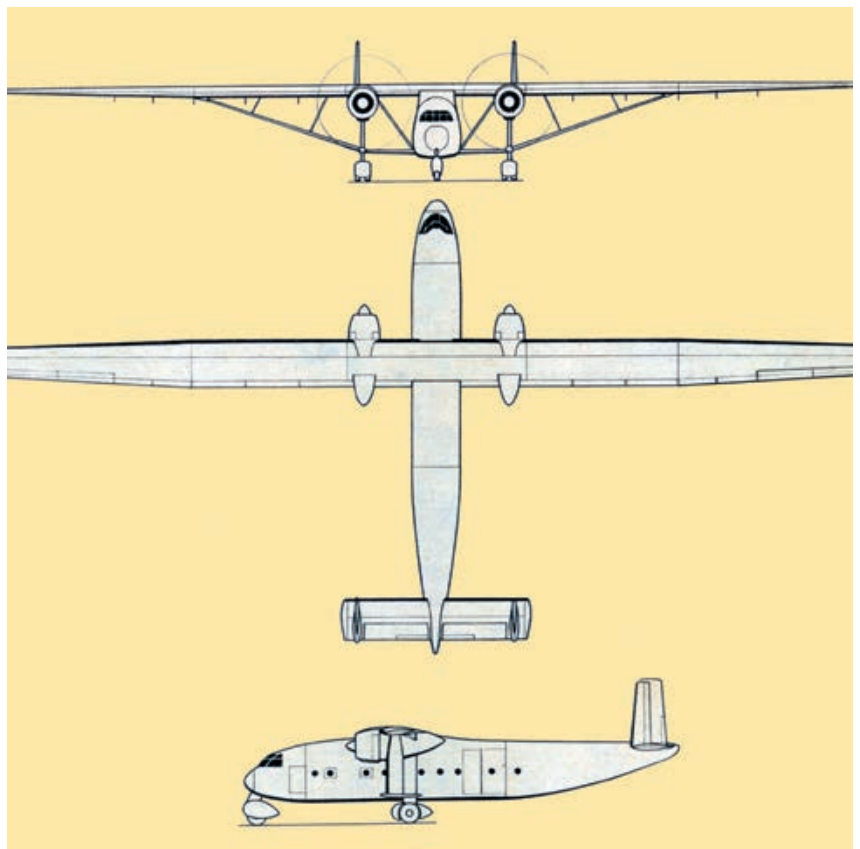
El HD-31 fue equipado con dos motores Wright C7BA1 de 800 CV, y en su fuselaje no presurizado de 21,95 m de longitud podían instalarse un máximo de 36 pasajeros o carga diversa, aprovechando sus 50 m³ de volumen utilizable. Su ala contaba con un solo larguero, tenía una envergadura de 45 m, y estaba dividida en cinco secciones de 9 m cada una, dos de ellas al exterior de las riostras, que como en el caso del HD-10 tenían un ligero estrechamiento. La cuerda en las tres secciones centrales era de 2,4 m y la superficie total del ala era 100 m², que daba como resultado un alargamiento de 20,2.

El segundo prototipo se construyó como el HD-32, similar al HD-31 pero con motores Pratt & Whitney R-1830-92 de 1200 CV. Pretendía representar una hipotética versión de serie, y voló el 29 de diciembre de 1953. Su peso máximo de despegue era de 17.500 kg.

A finales de noviembre de 1953 Air France había encargado la construcción de 24 aviones HD-32, cuyas entregas debían comenzar dos años más tarde, pero canceló el compromiso posteriormente, tal parece que a consecuencia de las expectativas despertadas por el Caravelle, lanzado industrialmente en diciembre de 1952 y cuyo vuelo inaugural tuvo lugar el 27 de mayo de 1955. El Caravelle ofrecía mayor velocidad y una cabina presurizada, donde el HD-32 carecía de presurización, tenía una velocidad de crucero de 290 km/h y, eso sí, una velocidad mínima de 107 km/h.



El HD-31 en vuelo



Tres vistas del HD-32



La maqueta del TTBW a escala 4,5% en el túnel aerodinámico de 11x11 ft del Ames Research Center, ensayada hasta mach 0,745 durante la tercera fase del SUGAR (4 de febrero de 2016)

Solo se llegó a construir una serie de ocho unidades designadas HD-34, configuradas para misiones de fotografía aérea, cuyo destinatario fue el Institut Géographique National. Ya en 1961 Hurel-Dubois presentó el proyecto HD-130, equipado con turbohélices Astazou II, con una capacidad de 12 a 15 pasajeros o 1000-1300 kg de carga útil en rutas de 500-1000 km, pero no consiguió venta alguna.

SUGAR, SUBSONIC ULTRA GREEN AIRCRAFT RESEARCH

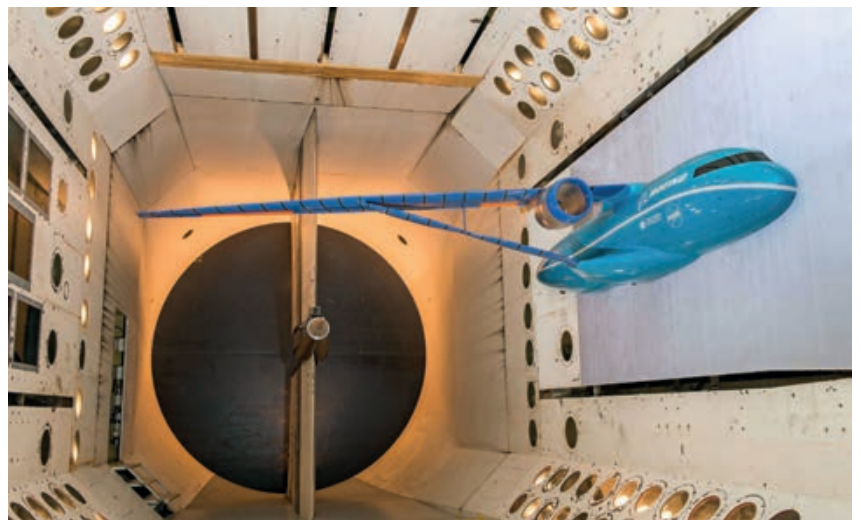
El concepto de Hurel-Dubois aunque teóricamente correcto, había mostrado sus puntos débiles cuando se llevó a escala real en los HD-31 y HD-32, lastrado además por las limitaciones tecnológicas de la época. En efecto, el ala de los HD-31 y HD-32 acabó teniendo un peso superior al previsto, y la circulación del aire en las zonas de unión de riostras y montantes al intradós del ala, a diferencia del HD-10, creaba interferencias que supusieron una inesperada e indeseada fuente de resistencia. Aunque nada se dijo al respecto que sepamos, es muy posible que el cambio a un motor más potente en el HD-32 fuera fundamentalmente por esa causa.

Así pues, y aunque el beneficioso efecto del incremento del alargamiento en la reducción de la resistencia inducida siempre estuvo ahí, pasaron muchos años sin que la industria siguiera el ejemplo de Hurel-Dubois en la creación de aeronaves comerciales.

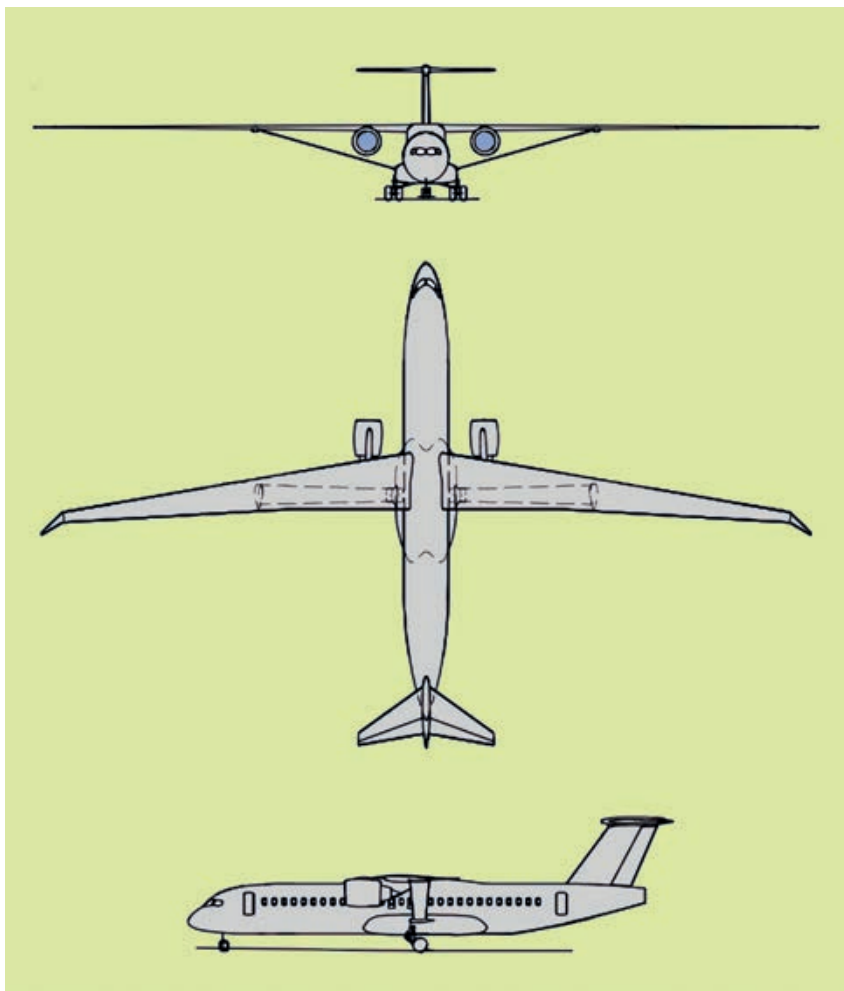
En 2008, la NASA puso en marcha un programa identificado como ERA, Environmentally Responsible Aviation, cuya financiación corrió a cargo de los presupuestos del año fiscal 2010. Estaba dirigido a la industria con el objetivo genérico

de explorar y documentar la factibilidad, beneficios y riesgos tecnológicos de nuevos conceptos de aeronaves que redujeran el impacto ambiental de la aviación, identificando las tecnologías que serían necesarias. Boeing, Lockheed Martin y Northrop Grumman, presentaron propuestas al final de 2012. Boeing, que había formado equipo con Pratt & Whitney, Rolls-Royce, Cranfield Aerospace y el Massachusetts Institute of Technology, MIT, propuso entonces un BWB, Blended Wing Body. Sugirió además construir un demostrador de vuelo a escala 65% que podría ser fabricado en 2017.

Como otro más de los diversos programas de la NASA dirigidos a crear aviones comerciales más eficientes, también en 2008 lanzó el programa SUGAR, Subsonic Ultra Green Aircraft Research. En este caso el objetivo concreto era definir aeronaves muy eficientes para la década de los veinte. La primera fase de este programa, que con el paso del tiempo se prolongaría sucesivamente en cinco fases como enseguida se verá, se centró en los diseños conceptuales. Boeing presentó dos, uno de ellos era de nuevo un BWB; el otro era un avión



La maqueta de medio avión TTBW a escala 15% ensayada en el Langley Research Center en la segunda fase del SUGAR (11 de diciembre de 2013)



El concepto Boeing 765-095 presentado en abril de 2011

TBW, de tamaño comparable con el 737, cuya ala tenía un alargamiento del orden de 23 y espesor muy reducido. Este último podía eventualmente permitir una mayor velocidad de vuelo, por lo que se adoptó a posteriori la definición actual TTWB, Transonic Truss Braced Wing.

En el informe final de esa fase del SUGAR, publicado en abril de 2011, Boeing se decantó definitivamente por un concepto TTBW en detrimento del BWB. Identificado como Boeing 765-095/096 por tener dos posibilidades de propulsión, el TTBW en cuestión incorporaba estabilizador en T, su fuselaje estaba dimensionado para 154 pasajeros, y tenía una longitud

total de 40,34 m, una envergadura de 61,56 m, una superficie alar de 164,2 m² y un alargamiento de 23 (todo ello sin *winglets* en los extremos del ala).

Las conclusiones de Boeing razonaban que una ventaja importante en favor del concepto TTBW sería la facilidad de crear una familia de aviones a partir de un diseño básico, simplemente alargando o acortando el fuselaje, pero desde luego no faltaban las incógnitas, las más de ellas relacionadas con la disposición del arriostamiento del ala y los efectos aeroelásticos fruto de su gran envergadura.

Con la información obtenida en la primera fase del SUGAR, la NASA abordó una segunda fase a finales de

2013, financiando estudios estructurales y ensayos en túnel del TTBW propuesto por Boeing. En concreto se probó en túnel aerodinámico, hasta febrero de 2014, una maqueta representativa de medio avión a escala 15 % en el Langley Research Center, para el análisis aeroelástico del ala y su arriostado.

La tercera fase del SUGAR se desarrolló en el Ames Research Center a partir de finales de 2014 y hasta los primeros meses de 2016. Allí el TTBW se evaluó en el túnel aerodinámico de alta velocidad. Como consecuencia de los resultados obtenidos en la segunda fase, el concepto había sufrido algunos cambios reflejados en la maqueta utilizada, que representaba el avión completo modelizado a una escala del 4,5 %. Tenía una envergadura de 2,35 m, equivalente en el avión real a unos 52 m, y la superficie alar rondaba los 138 m², de manera que el alargamiento era del orden de 19,55. Además ahora el ala tenía una ligera flecha de 12,5°. Se exploró el comportamiento del avión hasta velocidades de vuelo de mach 0,745, y se hicieron cálculos muy detallados de la distribución de pesos esperable en el ala por su especial importancia en su comportamiento aeroelástico.

UEST, ULTRA-EFFICIENT SUBSONIC TECHNOLOGY DEMONSTRATOR

Con el paso de los meses los trabajos de investigación patrocinados por la NASA en cuanto a los aviones comerciales de los años treinta condujeron al establecimiento de la New Aviation Horizons Initiative en 2016, donde se planteó la conveniencia de crear un avión «X» que sería lanzado bajo el epígrafe de UEST, Ultra-Efficient Subsonic Technology demonstrator. A esta iniciativa concurrieron cinco proyectos candidatos, dos de Boeing -de nuevo sendos BWB y TTBW- y los tres restantes concebidos por Aurora Flight Sciences, Dzyne Technologies y Lockheed Martin.



Maqueta del TTBW en el túnel aerodinámico de 14x22 ft del Langley Research Center usada para evaluar el comportamiento en vuelo a bajas velocidades y el efecto suelo. El sistema de montaje permite variar de manera independiente su posición en altura y su ángulo de ataque

Llegado este punto se debe indicar que Aurora Flight Sciences fue adquirida por Boeing el 5 de octubre de 2017.

La NASA solicitó a las cuatro compañías análisis de riesgos de sus propuestas, tras los cuales quedaron al parecer mejor posicionadas Aurora Flight Sciences y Boeing. Se pidieron además los presupuestos para la construcción de los correspondientes prototipos, de las que se seleccionarían dos finalistas para dar paso a la elección del concepto UEST ganador. El propósito era de nuevo ponerlo en vuelo a mediados de la década de los veinte, y no se descartaba la posibilidad de construir a posteriori el segundo concepto finalista.

Como parte de los procedimientos para reducir riesgos en su propuesta TTBW, Boeing expuso una fórmula que evitaría el desarrollo de un avión entero. Se trataba de partir de un MD-80 o un 717 existente y modificarlo para montar el ala arriostrada y demás elementos necesarios. Desde luego los cambios en el avión serían extensos, pero habría un importante ahorro en tiempo y dinero frente a la construcción de un avión enteramente nuevo, y permitiría



Ensayo en el túnel aerodinámico de 11x11 ft del Ames Research Center de una maqueta a escala 9% del TTBW en régimen transónico, durante la quinta fase del SUGAR (3 de febrero de 2022)

ensayar el concepto a escala 90% del avión originalmente propuesto hasta velocidades de mach 0,8. Sin embargo, las restricciones económicas obligaron a la NASA a renunciar por el momento a la construcción del UEST en espera de una coyuntura presupuestaria más favorable.

Mientras tanto el SUGAR continuó su andadura. Su cuarta fase comenzó con el año 2017 y el objetivo expreso fue examinar la posibilidad de aumentar la velocidad de vuelo del TTBW analizado hasta mach 0,8. De nuevo el Ames Research Center sería el encargado de realizar los indispensables ensayos en túnel aerodinámico, de los que surgiría un nuevo cambio de configuración.

En el curso del congreso SciTech organizado por el American Institute of Aeronautics and Astronautics, AIAA, celebrado en San Diego a comienzos de 2019, Boeing presentó la nueva configuración del TTBW optimizada para la velocidad de vuelo de mach 0,8, mediante la aplicación

de los resultados preliminares de los ensayos realizados dentro de la cuarta fase. Aparecieron cambios de cierta importancia. El ala pasó a tener una flecha de 20° y su espesor se redujo ligeramente, se adelantó su posición y se cambió la ubicación del tren de aterrizaje con el fin de situar adecuadamente el centro de gravedad de la aeronave. La envergadura del ala no varió, manteniéndose su valor ya mencionado cercano a los 52 m y el alargamiento de 19,55.

Con esa nueva configuración como punto de partida, continuaron en el Ames Research Center los ensayos de vuelo a mach 0,8 a partir de julio de 2019, y entre septiembre y noviembre de ese mismo año, ya de regreso al Langley Research Center, se investigó la configuración de los elementos hipersustentadores que permitirían su vuelo a bajas velocidades. La cuarta fase del programa SUGAR concluyó en marzo de 2020, para dar paso a la quinta fase concluida en marzo de 2022, donde la investigación en Langley se

centró en el vuelo a baja velocidad, en el efecto suelo y en la formación de hielo. En paralelo se realizaron en el Ames Research Center pruebas para evaluar el comportamiento en vuelo transónico por encima de mach 0,8 y estimar la velocidad crítica de aparición del *drag rise* –el brusco aumento de la resistencia aerodinámica producido por la formación de zonas con velocidad supersónica sobre el ala al volar en las cercanías de mach 1–. La extensa experimentación acumulada con el programa SUGAR a lo largo de más de una década, mostraba que el lanzamiento del avión UEST podía pasar de aplazado sine die a ser una simple cuestión de tiempo.

SFD, SUSTAINABLE FLIGHT DEMONSTRATOR

Una vez concluida la quinta y última fase del SUGAR, se realizaron durante unos meses nuevos estudios de riesgos y factibilidad acerca de la realización de un SFD, Sustainable Flight Demonstrator, versión actualizada del

Concepto artístico de dos variantes del avión TTBW con diferentes longitudes del fuselaje dado a conocer por Boeing en enero de 2023



UEST de 2016 cuyo único aspirante era ya desde años atrás el TTBW de Boeing, que estaba ahora avalado por el Sustainable Flight National Partnership, SFNP, organizado a comienzos de 2020 para integrar y coordinar las múltiples actividades de la NASA acerca de la aviación sostenible. El propósito declarado del SFD era determinar, a partir de la operación de una aeronave experimental, las tecnologías clave para crear una próxima generación de aviones de fuselaje estrecho, y para ello se consideraba indispensable contar con la colaboración de la industria aeronáutica, organizaciones gubernamentales y universidades.

Como resultado el SFD es un cajón de sastre donde tienen cabida además del propio avión los sistemas de propulsión, los materiales avanzados y las diferentes instalaciones. La NASA

investigación invertidos, y que viene a dejar las dos terceras partes del objetivo en números redondos en manos de los avances tecnológicos en el resto de las disciplinas.

A pesar de ello, la NASA consideró que el esfuerzo realizado sobre el TTBW merece ser verificado en vuelo. Y así en septiembre de 2022 se iniciaron los trámites para la construcción del SFD, solicitándose a Boeing la oferta económica que estableció siguiendo la misma fórmula propuesta seis años atrás, es decir, modificar un avión MD-80 o 717 ya existente para convertirlo en el demostrador TTBW.

POR FIN, EL X-66A

El 18 de enero de 2023 la NASA dio a conocer la elección de Boeing como la empresa que liderará la producción y experimentación del SFD TTBW,

SFD TTBW, como reconocimiento a su importancia para la investigación sobre el futuro de la aviación.

El X-66A recibió el apoyo de las principales compañías aéreas de Estados Unidos durante la celebración en Oshkosh de la AirVenture organizada por la EAA, Experimental Aircraft Association, a mediados del mes de julio. American Airlines, Delta Air Lines, United Airlines, Alaska Airlines y Southwest Airlines acordaron colaborar en el desarrollo del programa aportando ayuda sobre operaciones, mantenimiento, *handling* y operación aeroportuaria. En su momento se construirá un simulador de vuelo para que los pilotos de esas compañías se familiaricen con las características de vuelo del X-66A.

El avión seleccionado para convertirse en el X-66A ha resultado ser un



considera posible conseguir a través del SFD un avión de fuselaje estrecho operativo en 2030-2035, que reduciría sus emisiones hasta en un 30% con relación a los aviones equivalentes más eficientes de hoy día. Los resultados obtenidos con el programa SUGAR, auguran que de ese porcentaje del orden de un 9% del ahorro en consumo de combustible se debería a la configuración TTBW, una cifra que parece modesta en proporción a los años de

algo esperado desde mucho tiempo atrás y que por ello no sorprendió a nadie. La financiación será mixta. La NASA aportará un total de 425 millones de dólares, mientras Boeing y el grupo de compañías subcontratistas contribuirán con 725 millones de dólares. En las cinco fases del programa SUGAR Boeing había contribuido con 110 millones de dólares. La United States Air Force concedió el 12 de junio de 2023 la designación X-66A al

MD-90-30 cuya matrícula es N931TB, pertenece a la propia Boeing, salió de fábrica en 1998 y está equipado con motores IAE V2528-D5. Fue llevado en vuelo desde Victorville a Palmdale el 15 de agosto de 2023, ciudades separadas por menos de 100 km de distancia. En Palmdale se realizará todo su proceso de modificación, y será en la base Edwards donde tendrá lugar el programa de ensayos en vuelo.

Sus dos motores serán desmontados y suprimidas las instalaciones asociadas para posteriormente cerrar el fuselaje posterior. No se ha indicado si los dos IAE V2528-D5 se instalarán provisionalmente en la nueva posición bajo el ala, entre la fijación de las riostras en el intradós y el fuselaje, o si desde el principio serán reemplazados por otros motores distintos, en todo caso indefinidos por el momento. Una ventaja del ala alta del X-66A es que permitirá probar todo tipo de motores por la distancia al suelo, incluidos los del tipo Open Rotor.

El ala será construida haciendo uso extensivo de materiales compuestos, se unirá al fuselaje por encima de él, pero no hay detalles por el momento acerca de cuál será el sistema empleado. Sí parece decidido que, a la luz de los resultados obtenidos en las fases

ha producido por el momento cambio alguno en la superficie alar, mantenida en unos 138 m². También se conserva la posición del punto de unión de las riostras en el intradós del ala, situado aproximadamente en el 58% de la semienvengadura. Está confirmado que los extremos del ala serán equipados con un mecanismo similar al empleado en el Boeing 777-9 que permitirá su plegado hacia arriba, con el fin de permitir la operación aeroportuaria en igualdad de condiciones con los aviones actuales de fuselaje estrecho.

El fuselaje se acortará suprimiendo algunas cuadernas por delante y por detrás de la posición del ala, puesto

X-66A un equipo de control de mandos de vuelo electrónico específico *-fly-by-wire-*, que controlará el funcionamiento de las superficies aerodinámicas de mando y la actuación de los dispositivos hipersustentadores. También se ha indicado que se instalará un sistema hidráulico adicional. Obviamente el interior civil del MD-90-30 será adaptado en lo necesario con el fin de situar los equipos y puestos de tripulantes requeridos para la realización de los ensayos en vuelo.

La NASA fue intencionadamente ambigua cuando se limitó a afirmar en enero de 2023 que el vuelo inaugural del X-66A no tendrá lugar antes



El MD-90-30 matrícula N931TB que va a ser convertido en el X-66A

cuarta y quinta del SUGAR, tendrá *slats* en el borde de ataque a lo largo de toda la envengadura y flaps de ranura simple en el borde de salida, acompañados por alerones de alta y baja velocidad en los extremos.

Las dimensiones principales del ala se mantienen por el momento en las cifras reproducidas a escala en los ensayos en túnel aerodinámico, es decir, una envengadura de unos 52 m y un alargamiento de 19,55, por lo que no se

que la longitud del fuselaje del MD-90-30 es de 43,03 m. En su zona central deberá ser ampliamente modificado y reforzado, en su parte superior para el montaje de la nueva ala y en la parte inferior para fijar las riostras e incorporar el tren de aterrizaje, que deberá ser reubicado totalmente en cuanto a anclajes y alojamiento al desaparecer el ala baja del MD-90-30 original.

En cuanto a sistemas se refiere, al parecer se va a desarrollar para el

de 2027. Sin embargo algunos documentos circulados en internet sitúan la fecha de ese acontecimiento hacia septiembre de 2028, partiendo de la base de que los ensayos previos de integración comenzarán en el segundo trimestre de 2027. Esas mismas fuentes indican que los ensayos del X-66A durarán un año y concluirán en septiembre de 2029. Es pues mucho el trabajo que se deberá realizar antes de que ese avión esté en el aire. ■