

CIRCULAR DE ASESORAMIENTO

CA : CA-AGA-154-004
FECHA : 08/01/15
EDICIÓN : PRIMERA
EMITIDA POR : SRVSOP

ASUNTO: LAR 154 - PARAMETROS DE DESEMPEÑO (PERFORMANCE) DE LOS AVIONES

Sección A – Propósito

La presente circular de asesoramiento sobre los Parámetros de Desempeño (Performance) de los Aviones en Aeródromos constituye un documento cuyos textos contienen métodos, e interpretaciones con la intención de aclarar y de servir de guía a los operadores de aeródromos de los Estados miembros del SRVSOP y para el cumplimiento de los requisitos establecidos en el LAR 154.015 y su Apéndice 2 – Diseño de Aeródromos.

Sección B – Alcance

El alcance está orientado a los siguientes aspectos:

- a. Proporcionar una ayuda a los operadores de aeródromos para la correcta interpretación de los requisitos establecidos en el LAR 154.015 y su Apéndice 2 – Diseño de Aeródromos.
- b. Proporcionar lineamientos de como cumplir de una manera aceptable con los requisitos antes listados.
- c. Un operador de aeródromo puede utilizar métodos alternos de cumplimiento, siempre que dichos métodos sean aceptables a la AAC.
- d. Los requisitos y procedimientos contenidos en la presente Circular de Asesoramiento, en el caso de ser utilizados por el operador de aeródromos, deberían considerarse en forma obligatoria y de implementación completa, no resultando aceptables las implementaciones parciales de los mismos.

Sección C – Introducción

- a. Este circular proporciona lineamientos sobre los Parámetros de Desempeño (Performance) de los Aviones en Aeródromos, sin contravenir las recomendaciones de los fabricantes de los equipos o sistemas instalados, y otras instrucciones establecidas por el operador del aeródromo que sean aceptables a la AAC.

Sección D –Parámetros que Inciden en la Longitud de Pista

1. Términos Operacionales

Antes de examinar la relación entre los parámetros de performance de los aviones y los requisitos de longitud de pista es necesario explicar los términos operacionales siguientes:

- a. La velocidad de decisión (V1) es la velocidad escogida por el explotador en la cual se supone que el piloto, al percatarse del fallo del motor crítico, decide proseguir el vuelo o iniciar la aplicación del primer dispositivo retardador. Si el fallo de los motores ocurre antes de alcanzarse la velocidad de decisión, el piloto Deberá parar; si el fallo ocurre después, el piloto no Deberá detenerse sino proseguir el despegue Como regla general, se selecciona una velocidad de decisión que es inferior o casi equivalente a la velocidad segura de

despegue (V2). No obstante, Deberá ser superior a la velocidad menor en la cual el avión todavía puede ser controlado en tierra o cerca de ella en caso de fallo del motor más crítico; esta velocidad Deberá recogerse en el manual del avión.

- b. La velocidad segura de despegue (V2) es la velocidad mínima a la que se permite ascender al piloto después de alcanzar la altura de 10,7 m (35 ft) para mantener por lo menos la pendiente ascensional mínima requerida sobre la superficie de despegue durante el despegue con un motor inactivo.
- c. La velocidad de rotación (VR) es la velocidad en la que el piloto inicia la rotación del avión a fin de levantar el tren de aterrizaje.
- d. La velocidad en el punto de despegue (VLOF) expresada como velocidad aérea calibrada, es la velocidad en que el avión entra en sustentación en el aire.

2. Longitud de Despegue Requerida por los Aviones

- a. Las limitaciones de utilización de la performance del avión requieren que se disponga de una longitud lo suficientemente grande como para asegurar que, después de iniciar el despegue, pueda detenerse con seguridad el avión o concluir el despegue sin peligro. Para fines de cálculo, se supone que la longitud de la pista, de la zona de parada o de la zona libre de obstáculos que se disponen en el aeródromo son apenas suficientes para el avión que requiera las mayores distancias de despegue y de aceleración parada, teniendo en cuenta su masa de despegue, las características de la pista y las condiciones atmosféricas reinantes. En esas circunstancias, para cada despegue hay una velocidad llamada velocidad de decisión (V1); por debajo de esta velocidad debe interrumpirse el despegue si falla un motor, mientras que por encima de esa velocidad debe continuarse el despegue. Se necesitarían un recorrido y una distancia de despegue muy grande para concluir el despegue, cuando falla un motor antes de alcanzar la velocidad de decisión, debido a la velocidad insuficiente y a la reducción de potencia disponible. No habría ninguna dificultad para detener la aeronave en la distancia de aceleración-parada disponible restante, siempre que se actúe de inmediato. En estas condiciones, la decisión correcta sería interrumpir el despegue.
- b. Por otro lado, si un motor fallara después de haberse alcanzado la velocidad de decisión, el avión tendría la velocidad y potencia suficientes para concluir el despegue con seguridad en la distancia de despegue disponible restante. No obstante, debido a la gran velocidad, sería difícil detener el avión en la distancia de aceleración-parada disponible restante.
- c. La velocidad de decisión no es una velocidad fija para un avión, pero el piloto puede elegirla, dentro de los límites compatibles con los valores utilizables de la distancia disponible de aceleración-parada, la masa de despegue del avión, las características de la pista y las condiciones atmosféricas reinantes en el aeródromo. Normalmente, se elige una velocidad de decisión más alta cuando la distancia disponible de la aceleración-parada es más grande.
- d. Pueden obtenerse diversas combinaciones de la distancia de aceleración-parada requerida y de distancia de despegue requerida que se acomoden a un determinado avión, teniendo en cuenta la masa de despegue del avión, las características de la pista y las condiciones atmosféricas reinantes. Cada combinación requiere su correspondiente longitud de recorrido de despegue.
- e. El caso más corriente es aquél en que la velocidad de decisión es tal que la distancia de despegue requerida es igual a la distancia de aceleración-parada requerida; este valor se conoce como longitud de campo compensado. Cuando no se dispone de zona de parada ni de zona libre de obstáculos, esas distancias son ambas iguales a la longitud de la pista. Sin embargo, si por el momento se prescinde de la distancia de aterrizaje, la pista no debe constituir esencialmente la totalidad de la longitud de campo compensado, ya que el recorrido de despegue requerido es menor, por supuesto, que la longitud de campo

compensado. Por lo tanto, la longitud de campo compensado puede proveerse mediante una pista suplementada por una zona libre de obstáculos y una zona de parada de igual longitud, en lugar de estar constituida en su totalidad por la pista. Si la pista se utiliza para el despegue en ambos sentidos, ha de proveerse en cada extremo de la pista una longitud igual de zona libre de obstáculos y de zona de parada. Por lo tanto, el ahorro de longitud de pista se hace a expensas de una longitud total mayor.

- f. En los casos en que por consideraciones de orden económico no pueda disponerse de una zona de parada y, como resultado sólo se disponga de una pista y una zona libre de obstáculos, la longitud de la pista (prescindiendo de los requisitos de aterrizaje) Deberá ser igual a la distancia de aceleración-parada requerida o al recorrido de despegue requerido, eligiéndose de los dos el que resulte mayor. La distancia de despegue disponible será la longitud de la pista más la longitud de la zona libre de obstáculos.
- g. La longitud mínima de pista y la longitud máxima de zona de parada o de zona libre de obstáculos que han de proveerse, pueden determinarse como sigue, a base de los valores contenidos en el Manual de vuelo del avión que se considere más crítico desde el punto de vista de los requisitos de longitud de pista:
 1. si la zona de parada es económicamente posible, las longitudes que han de proveerse son las correspondientes a la longitud de campo compensado. La longitud de pista es igual a la del recorrido de despegue requerido, o a la distancia de aterrizaje requerida, si es mayor. Si la distancia de aceleración-parada requerida es mayor que la longitud de pista determinada de este modo, el exceso pueden disponerse como zona de parada, situada generalmente en cada extremo de la pista. Además, debe proveerse también una zona libre de obstáculos de la misma longitud que la zona de parada;
 2. si no ha de proveerse zona de parada, la longitud de pista es igual a la distancia de aterrizaje requerida, o, si es mayor, a la distancia de aceleración-parada requerida que corresponda al valor más bajo posible de la velocidad de decisión. El exceso de la distancia de despegue requerida respecto a la longitud de pista, puede proveerse como zona libre de obstáculos, situada generalmente en cada extremo de la pista.
 3. Además de la consideración anterior, el concepto de zonas libres de obstáculos puede aplicarse en ciertas circunstancias a una situación en que la distancia de despegue requerida con todos los motores en funcionamiento exceda de la requerida para el caso de falla de motor.
 4. Puede perderse por completo la economía de las zonas de parada, si cada vez que se utilizan tengan que nivelarse y compactarse de nuevo. Por consiguiente, deberán construirse de manera que puedan resistir un número mínimo de cargas del avión para el cual están destinadas, sin ocasionar daños estructurales al mismo.
 5. Tomando como ilustración el diagrama de la **Figura D-1**, que muestra el caso de un avión parado en el extremo A de entrada de una pista, el piloto inicia el despegue, el avión acelera y se aproxima a la velocidad de decisión (V_1) en el punto B. Se supone que sobreviene un fallo repentino y completo de un motor, del que se percata el piloto en el momento de alcanzar la velocidad de decisión (V_1).
 6. El piloto puede:
 - i. frenar hasta que el avión se detenga en el punto Y (la distancia de aceleración-parada); o bien
 - ii. seguir acelerando hasta alcanzar la velocidad rotatoria (VR), en el punto C, empuje con el cual cobra altura a la velocidad del punto de despegue (VLOF), en el punto D, tras lo cual el avión llega al extremo del recorrido de despegue en el punto X y prosigue hasta la altura de 10,7 m (35 ft) al final de la distancia de despegue, en el punto Z.

7. En la **Figura D-2** se ilustra un caso normal con todos los motores en marcha en el que d_1 y d_3 , son análogos a d_1 y d_3 , respectivamente, en la **Figura D-1**.
8. Las distancias de despegue y de aceleración-parada con un motor inactivo variarán según la velocidad de decisión seleccionada (V_1). Si se reduce la velocidad de decisión, también se reduce la distancia al punto B (**Figura D-1**), y lo mismo sucede con la distancia de aceleración-parada; pero las distancias del recorrido de despegue y de despegue propiamente dicho se ven aumentadas puesto que gran parte de la maniobra de despegue se realiza con un motor inactivo. En la **Figura D-3** se ilustran las relaciones que pueden darse entre la distancia de aceleración-parada, la distancia de despegue y los recorridos de despegue con respecto a las variaciones de la velocidad de decisión, (V_1), dentro de los límites señalados en 1.1.
9. Las características de la performance de despegue de un determinado avión no reunirán necesariamente la gama de velocidades de decisión consignadas en la **Figura D-3**. Más bien, en ciertas condiciones, puede suceder que un avión determinado se vea restringido dentro de una de las áreas indicadas en sentido horizontal, *a*, *b* o *c*. En el caso que se ilustra con la letra *a*, la distancia de despegue con un motor inactivo es crítica. La selección lógica de V_1 , punto 1), Deberá ser tal que fuese equivalente a V_2 o V_R según las características de despegue del avión. En el caso ilustrado por la letra *b*, la distancia de aceleración-parada es crítica a partir de la velocidad V_2 hasta un punto en que la posibilidad de mantener el control en tierra pasa a ser crítica. La selección lógica de V_1 sería mantenerla lo más reducida posible, en el punto 2). En el caso ilustrado por la letra *c*, que es el más corriente, la distancia de aceleración-parada es crítica a velocidades V_1 cercanas a la velocidad V_2 y la distancia de despegue es crítica a velocidades próximas a la velocidad mínima de controlabilidad. En este caso, la velocidad V_1 seleccionada puede ser óptima, a saber, la V_1 en la que las dos distancias son iguales en el punto 3). Si la distancia de despegue con todos los motores en marcha es crítica en uno o varios de los casos mencionados, la gama de velocidades V_1 posibles se ve un tanto ampliada porque esa distancia no guarda relación con la velocidad V_1 .

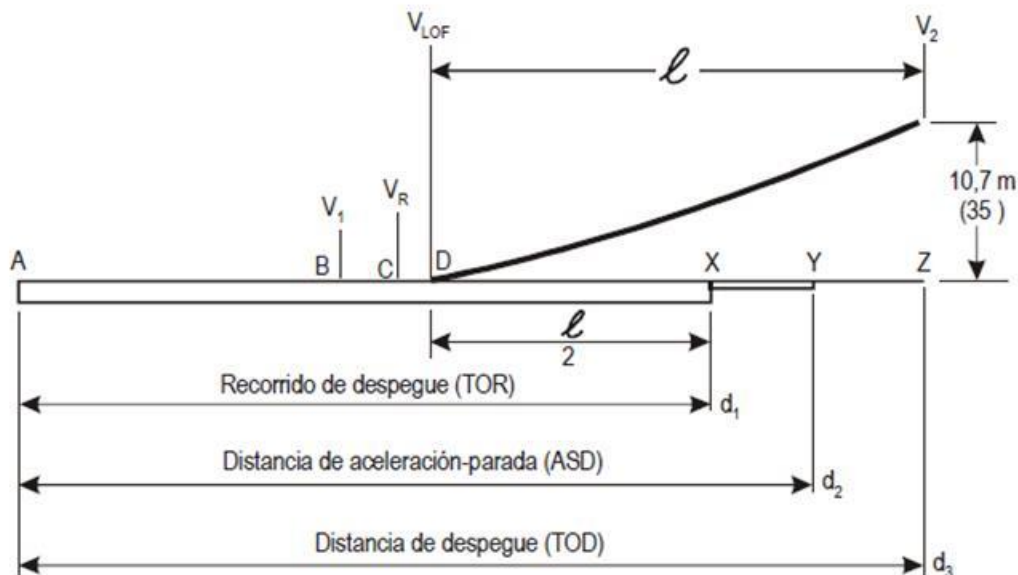


Figura D-1. Motor Crítico Inactivo

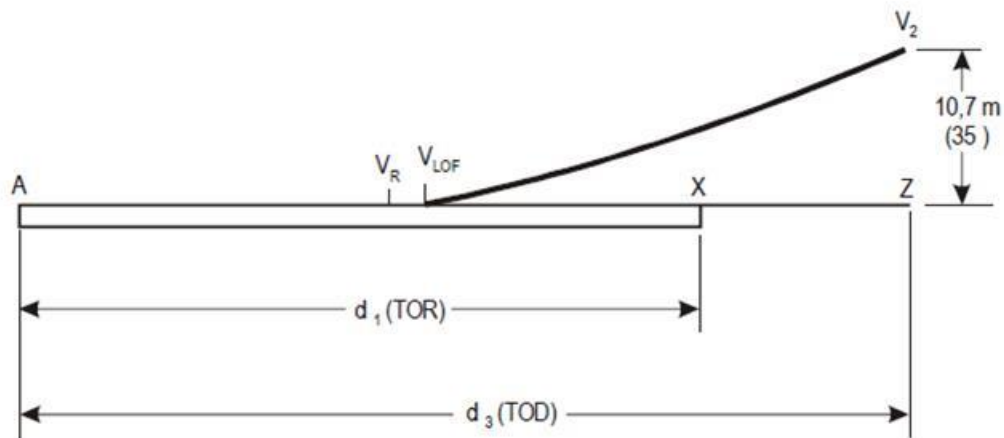


Figura D-2. Todos los motores en marcha

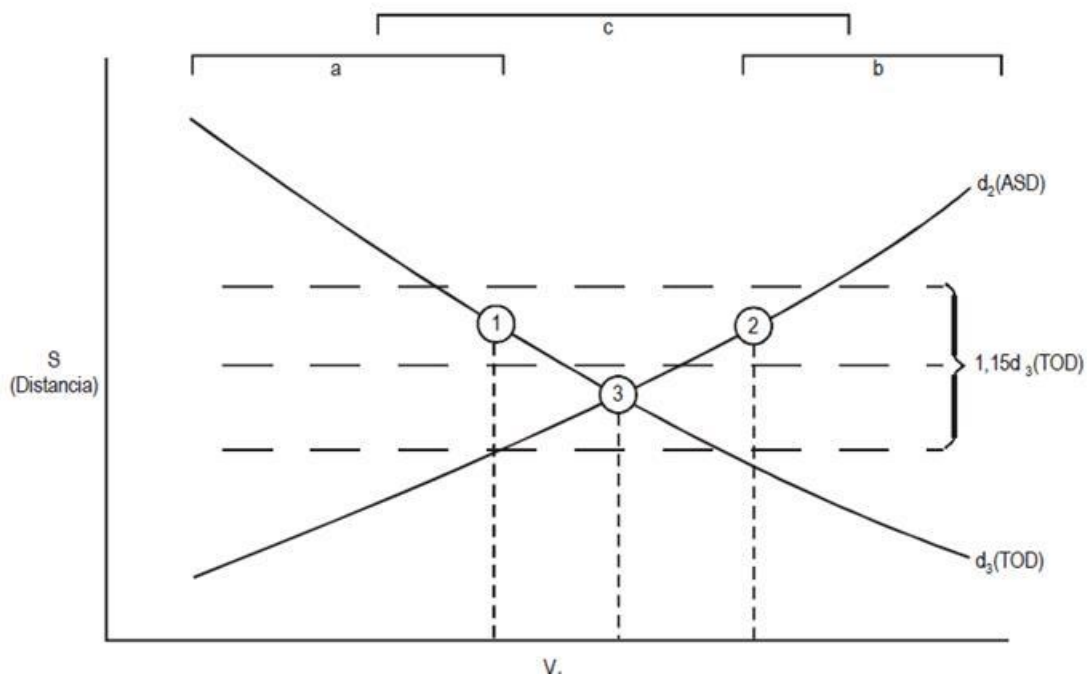


Figura D-3. Características de Desempeño (Performance) de un avión

10. Se advertirá que la distancia total requerida es la mínima en el caso de la velocidad óptima de decisión (V_1), lo cual sucede siempre. Normalmente, por tanto, la pista deberá tener dicha longitud. Sin embargo, la parte de la distancia de aceleración-parada que no se requiere para el recorrido de despegue (la distancia B en las **Figuras D-4 y D-5**) apenas se utilizará por lo que podrá construirse de forma más económica que la parte A requerida para el recorrido de despegue, a saber, la propia pista. Además, durante el despegue, la distancia B + C sólo será sobrevolada durante el ascenso inicial a la altura especificada en el LAR 91 (Operaciones) y no se espera que soporte la masa de la aeronave; sólo es preciso que se halle libre de obstáculos.

11. En determinadas circunstancias, la construcción de pistas con superficies tales como zonas de parada y zonas libres de obstáculos puede resultar más ventajosa que la construcción de pistas convencionales. La elección entre una pista convencional y otra en la que se utiliza una combinación de tales superficies, dependerá de las condiciones económicas y materiales locales: tamaño y franqueamiento de obstáculos del emplazamiento, características del suelo, posibilidad de adquirir terrenos, planes de desarrollo futuro, naturaleza y coste de los materiales disponibles, intervalo de tiempo requerido para realizar las obras, nivel aceptable de costos de mantenimiento, etc. En especial, la construcción de zonas de parada a cada extremo de la pista (ya que el despegue puede realizarse normalmente en dos sentidos) puede resultar con frecuencia una primera etapa económica de la prolongación de una pista existente. Las zonas de parada, que no se utilicen para los aterrizajes y que los aviones utilizan únicamente en casos excepcionales durante el despegue, pueden proveerse con frecuencia sin grandes gastos y, desde el punto de vista de las operaciones, su instalación equivale para los aviones a una prolongación de la pista.

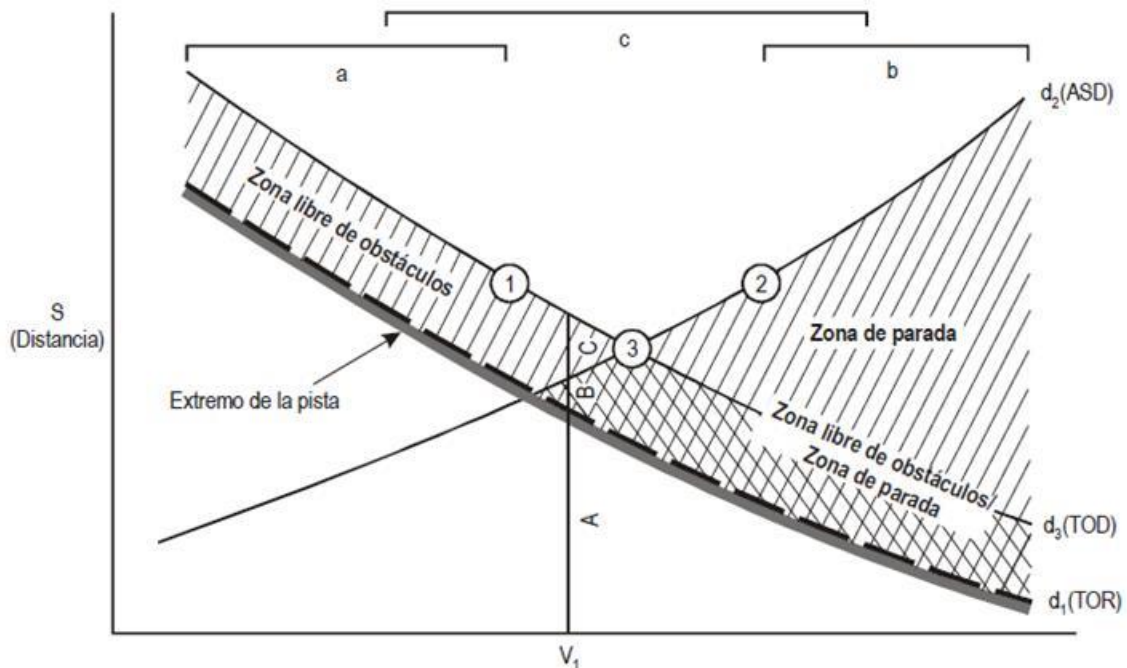


Figura D-4. Características de Desempeño (Performance) de un avión (Motor crítico inactivo)

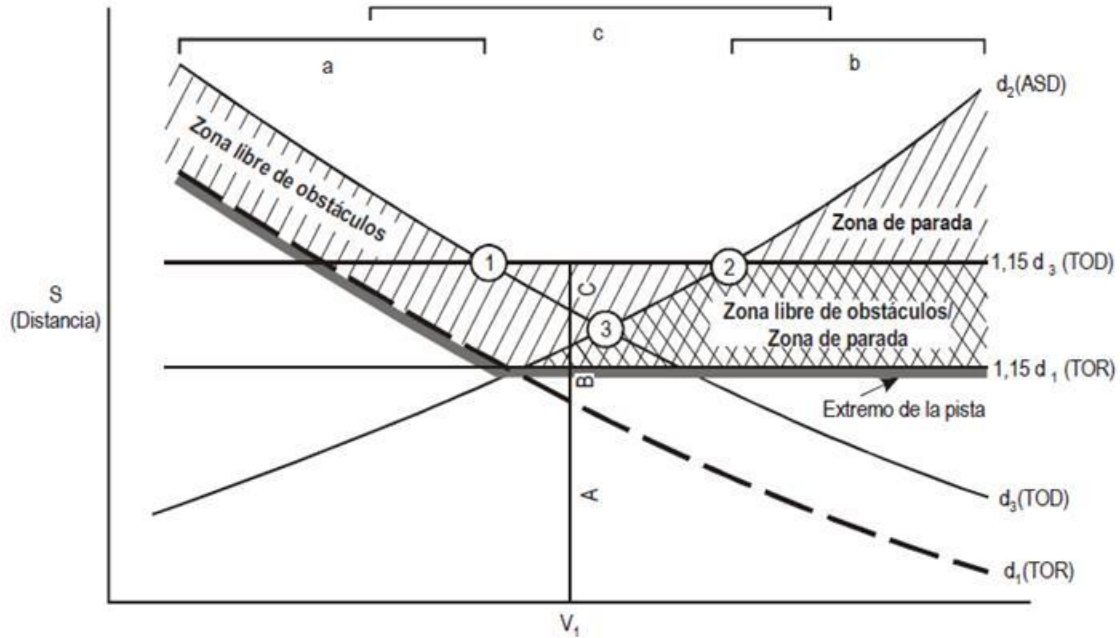


Figura D-5. Características de Desempeño (Performance) de un avión (Todos los motores críticos en marcha)

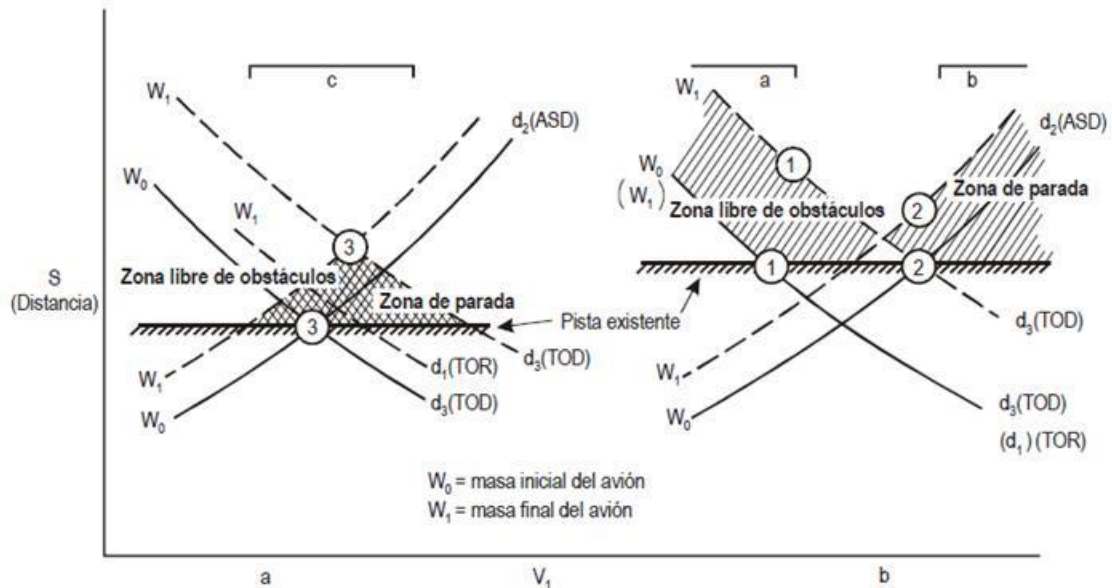


Figura D-6. Ampliación de Pista

12. A fin de escoger entre una pista no convencional y la pista convencional que goza de preferencia, es necesario determinar las proporciones de la zona libre de obstáculos o de la zona libre de obstáculos/zona de parada que habrá de habilitarse. En la **Figura D-4 y D-5** se ilustra cómo hacerlo en el caso de un determinado avión y dadas ciertas condiciones de altitud, temperatura, despegue, masa, etc. Como se indicó anteriormente, la distancia del recorrido de despegue, la distancia de despegue y la distancia de aceleración-parada de un determinado avión durante el despegue dependerán de la velocidad de decisión V_1 elegida. Dentro de una cierta gama (como se indica en **D.1.a**) puede elegirse cualquier valor V_1 y, por consiguiente, serían viables muchas combinaciones de pista, zona de parada y zona libre de obstáculos. Los

requisitos mínimos para proyectar una pista no convencional normalmente incluirán una pista y una zona libre de obstáculos o bien una pista y una combinación de zona libre de obstáculos/zona de parada, según las velocidades de V_1 . Esto se ilustra en las **Figuras D-4 y D-5**.

13. La ampliación de una pista convencional para que pase a ser una pista no convencional y resista al aumento de masa del avión crítico se ilustra en el **Figura D-6**. En la **Figura D-6 a)**, la aeronave crítica utiliza la velocidad óptima V_1 , punto 3 con la masa W_0 sobre la pista existente. Cuando la masa se aumenta a W_1 , la velocidad óptima V_1 se aumenta ligeramente al punto 3'. El aumento de masa se limita al que se traduce en un recorrido de despegue (d_1) equivalente a la longitud de la pista. La distancia adicional de despegue y la distancia de aceleración-parada pueden tener cabida en una combinación de zona libre de obstáculos/zona de parada. En la **Figura D-6 b)**, se ilustran dos casos. En el primero, la velocidad V_1 del avión se encuentra en el punto 1. La nueva velocidad, V_1 en el punto 1', aumentaría si la velocidad inicial de ascenso (V_2) se aumentase en vista del cambio de masa. El aumento de masa se limita al que resultaría en un recorrido de despegue (d_1) con el peso W_1 equivalente a la distancia de despegue (d_3) con la masa W_0 .
14. El aumento de la distancia de despegue puede ser absorbido si existe una zona libre de obstáculos. En el segundo caso, la velocidad V_1 del avión incide en el punto 2. La velocidad V_1 en el punto 2', se mantendría probablemente constante. El aumento de masa quedaría limitado por la mayor distancia posible de despegue d_3 con la masa W_1 si no fuera a proporcionarse una zona libre de obstáculos. El aumento de la distancia de aceleración-parada puede absorberse dentro de una zona de parada. Nótese que todo incremento ulterior de masa requerirá la utilización de una combinación de zona libre de obstáculos/zona de parada. El efecto ocasionado en el caso en que todos los motores se encuentren en marcha puede percibirse inmediatamente comparando las **Figuras D-4 y D-5**. Los valores inferiores de V_1 carecen de interés puesto que se traducen tanto en un mayor recorrido de despegue como en una mayor distancia de despegue.
15. La longitud de pista, que se determinará a partir de los diagramas de performance de despegue, será la mayor de las siguientes:
 - i. la longitud de campo compensado, es decir, la longitud de pista requerida cuando la distancia de despegue con un motor inactivo y la distancia de aceleración-parada sean equivalentes; o bien
 - ii. el 115% de la distancia de despegue con todos los motores en funcionamiento

3. Requisitos de Distancia para el Aterrizaje

Aunque normalmente las distancias de aterrizaje no son críticas, deberán consultarse los diagramas de performance de aterrizaje de los aviones para comprobar qué requisitos de longitud de pista para el despegue garantizan una longitud adecuada para el aterrizaje. Por lo general, la distancia para el aterrizaje se determina de modo que el avión pueda aterrizar después de haber salvado, con un margen de seguridad, todos los obstáculos situados en la trayectoria de aproximación con la seguridad de que podrá detenerse sin peligro. Se tendrán en cuenta las variaciones previstas en las técnicas de aproximación y aterrizaje de determinadas aeronaves si no se tuvieron ya al indicar los datos relativos a la performance. La longitud de pista determinada a partir de un diagrama de performance de aterrizaje es la distancia de aterrizaje requerida dividida por 0,6. Cuando la longitud de la pista requerida para el aterrizaje es superior a la requerida para el recorrido de despegue, este factor determinará la longitud mínima de pista requerida.

Sección E – Tablas de Performance de Los Aviones a Efectos de Planificación de las Pistas

1. Introducción

- a. Los criterios en materia de longitud de la pista a efectos de información general para la planificación de aeropuertos, se han elaborado en forma de curvas y tablas de performance de los aviones en sus operaciones de aterrizaje y despegue. Una curva de performance de aterrizaje de avión es un diagrama correspondiente a un avión determinado, basado en sus capacidades de performance, donde se establece la relación entre la masa de aterrizaje del avión y la elevación del aeródromo, y la longitud de pista requerida para el aterrizaje. Una curva de performance de despegue de avión es un diagrama correspondiente a un avión determinado, basado en sus capacidades de performance, donde se establece la relación entre la masa o distancia de vuelo de despegue del avión, la elevación y la temperatura del aeródromo, y la longitud de pista requerida para el despegue.
- b. La tabla de performance del avión tiene una finalidad similar a la de la curva de performance del avión. En tanto que en las curvas de performance la relación entre los factores operacionales y la longitud de pista requerida se expresa en forma gráfica, en las tablas de performance dicha relación se expresa en forma tabular.
- c. En la Circular de Asesoramiento AC 150/5325-4B, Requisitos en materia de longitud de pista para el proyecto de aeródromos (Runway Length Requirements for Airport Design) preparada por la Administración Federal de Aviación (FAA) de los Estados Unidos, figuran datos de planificación sobre los requisitos para el aterrizaje y el despegue de los aviones de uso corriente. Los datos se presentan en forma de curvas y tablas de performance. En la Circular se incluyen ejemplos con instrucciones sobre la utilización de las curvas y tablas de performance, y se examinan los factores tomados en cuenta para su preparación. La relación entre elevación, temperatura, masa de la aeronave y longitud de pista que se presentan en las curvas y tablas de performance, se basa en datos sobre ensayos en vuelo y operacionales, excepto en aquellos casos en que se han elaborado datos preliminares de performance, basados en datos operacionales calculados.
- d. Las curvas de performance de avión a efectos de planificación de las pistas figuran también en los documentos sobre características de las aeronaves destinadas a los planificadores de aeropuertos. Estos documentos contienen información básica de planificación sobre las aeronaves, que los fabricantes de aeronaves publican en formato uniforme con la ayuda de las líneas aéreas y de las autoridades aeroportuarias. En los documentos se incluyen los datos sobre aquellos tipos de aviones actuales que se prevé representarán la mayor parte de la flota internacional durante los próximos años.

2. Parámetros Considerados en las Curvas y Tablas de Performance

- a. **Generalidades.** Además de las consideraciones básicas de diseño, incluyendo las características aerodinámicas y del sistema motopropulsor de las aeronaves, los factores que inciden en la longitud requerida de pista comprenden la configuración y la masa del avión, la atmósfera (presión, temperatura y humedad relativa ambientes), la pendiente y el estado de la pista, y el viento. Sin embargo, en la elaboración de curvas y tablas de performance de despegue y de aterrizaje, lo corriente es relacionar tales factores con una humedad relativa fija normalizada y suponer pistas sin pendiente.
- b. **Tipos de avión.** Las diferencias en cuanto a los requisitos en materia de certificación y utilización existentes entre los diversos tipos de aviones actuales, exigen que se estudie por separado la longitud de pista que necesita cada aeronave en cada aeródromo. Deben considerarse las longitudes de pista que se requieren, tanto para el despegue como para el aterrizaje, con objeto de determinar la mayor de las dos.

- c. **Configuración del avión.** La configuración del avión se refiere a la posición de los diversos elementos que afectan a sus características aerodinámicas. En la performance del avión influyen los elementos siguientes:
1. **Flaps y otros dispositivos hipersustentadores.** En la elaboración de las curvas de performance de avión de la FAA (con relación a la distancia de despegue y de aterrizaje) se ha escogido la posición de los flaps (y de otros dispositivos hipersustentadores como son las aletas de ranura de ala, los bordes de ataque abatibles, etc., cuando vengan al caso) empleada normalmente en la combinación de masa del avión, temperatura y altitud.
 2. **Frenos aerodinámicos y otros dispositivos para aumentar la resistencia al avance.** Para **realizar** las curvas y tablas de performance de aterrizaje de avión de la FAA se ha elegido la posición de los frenos aerodinámicos, y de otros dispositivos destinados a aumentar la resistencia al avance, si es que se emplean, corrientemente utilizada para la combinación escogida de masa de la aeronave y altitud.
 3. **Otras instalaciones.** El empleo de instalaciones antihielo y de limpiaparabrisas, la **posición** de las aletas de capó, etc., pueden igualmente influir en la longitud de pista necesaria. Al elaborar las curvas y tablas de performance de avión de la FAA, se ha supuesto que estos sistemas se encuentran en la posición en que requieran la menor distancia de pista.
- d. **Atmósfera**
1. La atmósfera es un elemento muy importante en la determinación de la longitud de pista requerida.
 2. Es la combinación de presión, temperatura y densidad.
 - i. **Altitud.** Generalmente, a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar, la presión y la densidad del aire disminuyen. La consecuencia de estos factores en la performance de las aeronaves se traduce en una disminución de la sustentación correspondiente a una determinada velocidad verdadera, y en la reducción de potencia y de la eficacia de la hélice, si es el caso. El resultado de la combinación de estas reducciones es que se necesita más tiempo para alcanzar la velocidad de avance necesaria para producir la sustentación requerida, con lo que la longitud de pista necesaria para el despegue de una aeronave determinada aumenta progresivamente a medida que se eleva la altitud del aeródromo en que opera. De igual manera, a altitudes superiores, las velocidades verdaderas de aterrizaje son mayores, y el aire menos denso reduce la resistencia al avance con que cuenta la aeronave para contribuir a la deceleración durante el recorrido de aterrizaje. En las curvas y tablas de performance de avión se da la longitud de pista requerida en función de la altitud de presión (definida en la atmósfera tipo de la OACI), al igual que se hace en los manuales de vuelo de los aviones, pero las líneas de altitud de presión vienen designadas como elevación de aeródromo. Se justifica esta sustitución por el grado de semejanza que existe entre la altitud de presión media y la elevación de un lugar. Además, dado que es muy remota la probabilidad de que se presenten simultáneamente la altitud de presión máxima (presión mínima) y la temperatura máxima media (temperatura de referencia del aeródromo), el empleo de la altitud y temperatura máximas podría resultar en una longitud de pista poco económica.
 - ii. **Temperatura.** La performance de una aeronave depende de varios factores, entre los que cabe destacar la temperatura. A una presión dada, el aumento de la temperatura resulta en una reducción de la densidad del aire, lo que tiene un efecto adverso sobre las aeronaves, tanto las de motores de émbolo como las de reacción. Este efecto es generalmente más intenso durante el despegue, especialmente en el caso de los aviones equipados con turborreactores. La eficacia de un turborreactor depende en parte de la diferencia entre la temperatura del aire exterior y la máxima

temperatura que pueda obtenerse en la cámara de combustión. A medida que la temperatura exterior aumenta por encima de cierto valor dependiendo de la altitud, la eficacia del motor disminuye y, por lo tanto, se reduce la performance de la aeronave. Deberá emplearse una temperatura no inferior a la temperatura de referencia del aeródromo, tal como se define en el LAR 154. El efecto de la temperatura es considerablemente mayor en la distancia de despegue (y en el recorrido de despegue) que en la de aterrizaje. Además, la distancia de aterrizaje que figura en el manual de vuelo está generalmente multiplicada por un coeficiente de índole operativa, del orden del 1,67. Dado que la influencia de la temperatura por sí sola en la distancia de aterrizaje es considerablemente menor, usualmente sólo se tiene en cuenta la influencia de la presión atmosférica ambiente (con temperaturas que correspondan a la atmósfera tipo) en la distancia de aterrizaje. Sin embargo, las distancias (y los recorridos) de despegue se determinan teniendo en cuenta la influencia de la temperatura ambiente.

e. Masa del avión

1. Cuanto mayor sea la masa de la aeronave, mayor será la longitud de pista que necesitará, tanto para el aterrizaje como para el despegue. La masa de un avión se compone de tres elementos principales:
 - i. masa del avión preparado para el servicio (APS) (o masa de operación en vacío) que generalmente incluye:
 - A. masa del avión en vacío;
 - B. masa de la tripulación, masa del equipaje de la tripulación, del aceite del motor y del equipo de emergencia amovible;
 - C. masa del combustible no utilizable;
 - D. carga de pago; y
 - E. carga de combustible.
 - ii. Los elementos B y C se explican por sí mismos.
2. El total de la masa APS y la carga de pago variarán, y quizá haya que considerarlas localmente en cada caso. Es frecuente, para fines operativos, aludir a esta masa como la "masa sin combustible", y su valor máximo figura como una limitación estructural en el manual de vuelo.
3. En las tablas de performance de avión de la FAA, las longitudes de pista requeridas guardan relación directa con la masa de operación de los aviones. Ahora bien, en las curvas de performance de avión de la FAA, las longitudes de pista requeridas pueden guardar relación con las longitudes de las etapas de vuelo. En las curvas se ha supuesto que los aviones despegan con la máxima carga de pago permisible según las circunstancias. Si la masa de despegue no está limitada por ninguna de las condiciones enumeradas más adelante, la carga de pago puede ser toda la que permita la estructura del avión, a saber, la masa máxima sin combustible, menos la APS. Si por otra parte se limita la masa de despegue por obra de cualquiera de las condiciones, será preciso reducir la carga de pago. Las curvas prevén este factor.
4. En el LAR 91, Parte I, Capítulo D, se especifica la cantidad de combustible que ha de llevarse a bordo de las aeronaves en los dos casos siguientes:
 - i. cuando se requiera aeródromo de alternativa de destino; y
 - ii. cuando no se requiera un aeródromo de alternativa de destino.
5. En la performance de avión de la FAA se ha tenido en cuenta sólo el caso ii). De conformidad con el LAR, en este caso no se iniciará ningún vuelo si, teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas y todo retraso que se prevea en vuelo, el avión no lleva

suficiente combustible ni aceite para poder completar el vuelo sin peligro. Además, se llevará una reserva para prever contingencias y para que la aeronave pueda llegar a un aeródromo de alternativa. A fin de satisfacer estos requisitos, la cantidad de combustible será por lo menos la suficiente para que el avión pueda:

- i. en el caso de *aviones propulsados por hélice*, volar hasta el aeródromo proyectado para el vuelo, de ahí al aeródromo de alternativa que resulte más crítico (en términos de consumo de combustible) especificado en el plan operacional de vuelo y después durante un período de 45 minutos;
 - ii. en el caso de *aviones equipados con turborreactores*, volar hasta el aeródromo al cual se proyectó el vuelo, efectuar una aproximación y una aproximación frustrada y desde allí:
 - A. volar hasta el aeródromo de alternativa especificado en el plan de vuelo; y luego
 - B. volar durante 30 minutos a la velocidad de espera a 450 m (1 500 ft) por encima del aeródromo de alternativa, en condiciones normales de temperatura, efectuar la aproximación y aterrizar; y
 - C. disponer de una cantidad adicional de combustible suficiente para compensar el aumento de consumo que se produciría si surgiera alguna de las contingencias especificadas por el explotador a satisfacción del Estado del explotador:
 - (1) las condiciones meteorológicas pronosticadas;
 - (2) los encaminamientos del control de tránsito aéreo y las demoras de tránsito que se esperan;
 - (3) una aproximación por instrumentos en el aeródromo de destino, incluso una aproximación frustrada;
 - (4) los procedimientos prescritos en el manual de operaciones respecto a pérdidas de presión en la cabina o paradas de uno de los motores mientras vuele en ruta; y
 - (5) cualesquier otras condiciones que puedan demorar el aterrizaje del avión o aumentar el consumo de combustible y/o aceite.
6. En el LAR 91 se especifica igualmente la cantidad de combustible necesaria en caso de que el avión vuele directamente al aeródromo de alternativa sin sobrevolar el aeródromo al cual se proyecta el vuelo. Este caso no es de primordial importancia para los ingenieros de aeródromo, y no se tuvo en cuenta al preparar las curvas de performance de avión de la FAA.
 7. A fin de determinar la cantidad necesaria de combustible, en las curvas de performance de avión de la FAA se obtuvo estadísticamente la media representativa del régimen de consumo de combustible para cada tipo de avión, estableciendo al efecto el promedio del combustible consumido por unidad de distancia y por unidad de tiempo de vuelo. El empleo de este promedio, se justifica a los fines de diseño de aeródromos, teniendo en cuenta que el régimen de consumo es casi constante para cada tipo de avión y que no hay grandes divergencias en toda una amplia gama de diferentes distancias de etapa. La escala de distancias de las curvas de performance de despegue se ha establecido sobre la base de la media representativa del régimen de consumo de combustible.
 8. En las curvas de performance de avión de la FAA, la distancia desde el aeródromo de destino hasta un aeródromo de alternativa se ha supuesto uniformemente como equivalente a 30 minutos de vuelo. Además, se ha tomado en cuenta la cantidad de combustible necesaria para 45 minutos de vuelo a una altitud media. La cantidad de combustible requerida para que un avión de reacción vuele durante 45 minutos a la

altitud y velocidad medias se considera que es casi equivalente a la que se necesita para 30 minutos de vuelo a la velocidad de espera, a 450 m (1 500 ft) por encima de un aeródromo. Por otra parte, la media representativa del régimen de consumo de combustible se ha obtenido dividiendo el consumo real de combustible por la distancia volada y por el tiempo de vuelo entre calzos, por lo que ésta comprende, en promedio, los factores enumerados precedentemente

9. Las masas de aterrizaje y de despegue del avión así calculados no deberían exceder de los límites siguientes:
- i. **Masa de aterrizaje.** Los aviones aterrizan con una masa que puede llegar hasta la masa de aterrizaje máxima, la cual está incluida en una de las dos categorías siguientes:
 - A. **Limitación estructural.** La masa máxima de aterrizaje basada en limitaciones estructurales es constante y no guarda relación con los parámetros operacionales, como son la temperatura y el viento.
 - B. **Performance de subida.** La masa máxima de aterrizaje basada en las limitaciones de subida varía con la altitud de presión y la temperatura. El aumento de la altitud de presión y/o la temperatura hace disminuir la masa máxima permisible de aterrizaje.
 - ii. **Masa de despegue.** Los aviones despegan con una masa que puede llegar hasta la masa máxima de despegue, que puede estar incluida en una de las cinco categorías siguientes:
 - A. **Limitaciones estructurales.** La masa de despegue basada en las limitaciones estructurales en el ascenso es constante y no guarda relación con la altitud de presión, la temperatura, el viento ni la pendiente de la pista.
 - B. **Performance de ascenso.** La masa máxima de despegue basada en las limitaciones de ascenso varía con la altitud de presión y la temperatura del aeródromo. El aumento de la altitud de presión y/o la temperatura hace disminuir la masa de despegue permisible.
 - C. **Velocidad por razón de los neumáticos.** La masa máxima de despegue basada en las limitaciones de velocidad a causa de los neumáticos varía con la altitud de presión, la temperatura y el viento de cola. El aumento de cualquiera de estos factores, aisladamente o en combinación, disminuye la masa máxima de despegue permisible.
 - D. **Masa máxima de aterrizaje.** La masa de despegue menos la masa del combustible consumido para volar hasta el aeródromo al cual se proyecta el vuelo no debería exceder de la masa máxima de aterrizaje en dicho aeródromo, a fin de garantizar un aterrizaje en condiciones de seguridad, tras su vuelo normal. (Véase el LAR 91, Parte I).
 - E. **Franqueamiento de obstáculos.** La masa máxima de despegue basada en la limitación relativa al franqueamiento de obstáculos depende del emplazamiento y altura de los obstáculos situados en la vecindad del extremo de la pista. En la preparación de las curvas de performance de avión de la FAA se ha supuesto que no existen obstáculos que puedan afectar adversamente a las operaciones de aeronaves.
- f. **Estado de la superficie de la pista.** Una superficie de pista cubierta de nieve, nieve fundente, hielo o agua requerirá una mayor longitud de pista para el despegue y para el aterrizaje. En las curvas de performance de avión de la FAA, a menos que se indique lo contrario, se ha supuesto una superficie de pista dura y seca; sin embargo, en las tablas, las longitudes de aterrizaje suponen una pista húmeda no requiriéndose otra corrección en cuanto a longitud para las pistas húmedas. Las curvas de performance de aterrizaje que

figuran en los documentos sobre características de los aviones, destinados a los planificadores de aeropuertos, se han establecido para condiciones de superficie de pista seca y húmeda.

APÉNDICE 1 - CLASIFICACION DE AVIONES POR NUMERO Y LETRA DE CLAVE

<i>Fabricante</i>	<i>Modelo</i>	<i>Clave</i>	<i>Longitud de campo de referencia del avión (m)</i>	<i>Envergadura (m)</i>	<i>Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal (m)</i>
DeHavilland Canada	DHC2	1A	381	14,6	3,3
	DHC2T	1A	427	14,6	3,3
Britten Norman	BN2A	1A	353	14,9	4,0
Cessna	152	1A	408	10,0	—
	172 S	1A	381	11,0	2,7
	180	1A	367	10,9	—
	182 S	1A	462	11,0	2,9
	Stationair 6	1A	543	11,0	2,9
	Turbo 6	1A	500	11,0	2,9
	Stationair 7	1A	600	10,9	—
	Turbo 7	1A	567	10,9	—
	Skylane	1A	479	10,9	—
	Turbo Skylane	1A	470	10,9	—
	310	1A	518	11,3	—
	310 Turbo	1A	507	11,3	—
	Golden Eagle 421 C	1A	708	12,5	—
	Titan 404	1A	721	14,1	—
	Piper	PA28-161	1A	494 ²	10,7
PA28-181		1A	490 ²	10,8	3,2
PA28R-201		1A	487 ²	10,8	3,4
PA32R-301		1A	539 ²	11,0	3,5
PA32R-301T		1A	756 ²	11,0	3,5
PA34-220T		1A	520 ²	11,9	3,5
PA44-180		1A	671 ²	11,8	3,2
PA46-350P		1A	637 ²	13,1	3,9
Raytheon/Beechcraft	A24R	1A	603	10,0	3,9
	A36	1A	670	10,2	2,9

<i>Fabricante</i>	<i>Modelo</i>	<i>Clave</i>	<i>Longitud de campo de referencia del avión (m)</i>	<i>Envergadura (m)</i>	<i>Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal (m)</i>
Bombardier Aero.	CRJ 100	3B	1 470	21,2	4,0
	CRJ 100ER	3B	1 720	21,2	4,0
	CRJ 200	3B	1 440	21,2	4,0
	CRJ 200ER	3B	1 700	21,2	4,0
Dassault Aviation	Falcon 20	3B	1 463	16,3	3,7
	Falcon 200	3B	1 700	16,3	3,5
	F50/F50EX	3B	1 586	18,9	4,5
	Falcon 900	3B	1 504	19,3	4,6
	Falcon 900EX	3B	1 590	19,3	4,6
	F2000	3B	1 658	19,3	5,0
	Embraer	EMB-135 LR	3B	1 745	20,0
Fokker	F28-1000	3B	1 646	23,6	5,8
	F28-2000	3B	1 646	23,6	5,8
I.A.I.	SPX	3B	1 644	16,6	—
	Galaxy	3B	1 798	17,7	—
Gulfstream Aero.	G IV-SP	3B	1 661	23,7	4,8
Nord	262	3B	1 260	21,9	3,4
Antonov	AN24	3C	1 600	29,2	8,8
Boeing	B717-200	3C	1 670	28,4	5,4
	B737-600	3C	1 690	34,3	7,0
	B737-700	3C	1 598	34,3	7,0
Convair	240	3C	1 301	28,0	8,4
	440	3C	1 564	32,1	8,6
	580	3C	1 341	32,1	8,6
	600	3C	1 378	28,0	8,4
	640	3C	1 570	32,1	8,6
Douglas	DC3	3C	1 204	28,8	5,8
	DC4	3C	1 542	35,8	8,5
	DC6A/6B	3C	1 375	35,8	8,5
	DC9-20	3C	1 551	28,5	6,0
Embraer	EMB-120 ER	3C	1 481	19,8	6,6
Fokker	F27-500	3C	1 670	29,0	7,9
	F27-600	3C	1 670	29,0	7,9

<i>Fabricante</i>	<i>Modelo</i>	<i>Clave</i>	<i>Longitud de campo de referencia del avión (m)</i>	<i>Envergadura (m)</i>	<i>Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal (m)</i>
	76	1A	430	11,6	3,3
	B55	1A	457	11,5	2,9
	B60	1A	793	12,0	3,4
	B100	1A	579	14,0	4,3
Cessna	525	1B	939	14,3	4,1
DeHavilland Canada	DHC3	1B	497	17,7	3,7
	DHC6	1B	695	19,8	4,1
LET	L410 UPV	1B	740	19,5	4,0
Pilatus	PC-12	1B	452	16,2	4,5
Raytheon/Beechcraft	E18S	1B	753	15,0	3,9
	B80	1B	427	15,3	4,3
	C90	1B	488	15,3	4,3
	200	1B	579	16,6	5,6
Short	SC7-3/SC7-3A	1B	616	19,8	4,6
DeHavilland Canada	DHC7	1C	689	28,4	7,8
Lear Jet	24F	2A	1 005	10,9	2,5
	28/29	2A	912	13,4	2,5
LET	L410 UPV-E	2B	920	20,0 ¹	4,0
	L410 UPV-E9	2B	952	20,0 ¹	4,0
	L410 UPV-E20	2B	1 050	20,0 ¹	4,0
	L420	2B	920	20,0 ¹	4,0
Shorts	SD3-30	2B	1 106	22,8	4,6
Dassault Aviation	Falcon 10	3A	1 615	13,1	3,0
Hawker Siddley	HS 125-400	3A	1 646	14,3	3,3
	HS 125-600	3A	1 646	14,3	3,3
	HS 125-700	3A	1 768	14,3	3,3
Lear Jet	24D	3A	1 200	10,9	2,5
	35A/36A	3A	1 287/1 458	12,0	2,5
	54	3A	1 217	13,4	2,5
	55	3A	1 292	13,4	2,5

<i>Fabricante</i>	<i>Modelo</i>	<i>Clave</i>	<i>Longitud de campo de referencia del avión (m)</i>	<i>Envergadura (m)</i>	<i>Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal (m)</i>
Bombardier Aero.	CRJ 100	3B	1 470	21,2	4,0
	CRJ 100ER	3B	1 720	21,2	4,0
	CRJ 200	3B	1 440	21,2	4,0
	CRJ 200ER	3B	1 700	21,2	4,0
Dassault Aviation	Falcon 20	3B	1 463	16,3	3,7
	Falcon 200	3B	1 700	16,3	3,5
	F50/F50EX	3B	1 586	18,9	4,5
	Falcon 900	3B	1 504	19,3	4,6
	Falcon 900EX	3B	1 590	19,3	4,6
	F2000	3B	1 658	19,3	5,0
Embraer	EMB-135 LR	3B	1 745	20,0	4,1
Fokker	F28-1000	3B	1 646	23,6	5,8
	F28-2000	3B	1 646	23,6	5,8
I.A.I.	SPX	3B	1 644	16,6	—
	Galaxy	3B	1 798	17,7	—
Gulfstream Aero.	G IV-SP	3B	1 661	23,7	4,8
Nord	262	3B	1 260	21,9	3,4
Antonov	AN24	3C	1 600	29,2	8,8
Boeing	B717-200	3C	1 670	28,4	5,4
	B737-600	3C	1 690	34,3	7,0
	B737-700	3C	1 598	34,3	7,0
Convair	240	3C	1 301	28,0	8,4
	440	3C	1 564	32,1	8,6
	580	3C	1 341	32,1	8,6
	600	3C	1 378	28,0	8,4
	640	3C	1 570	32,1	8,6
Douglas	DC3	3C	1 204	28,8	5,8
	DC4	3C	1 542	35,8	8,5
	DC6A/6B	3C	1 375	35,8	8,5
	DC9-20	3C	1 551	28,5	6,0
Embraer	EMB-120 ER	3C	1 481	19,8	6,6
Fokker	F27-500	3C	1 670	29,0	7,9
	F27-600	3C	1 670	29,0	7,9

Fabricante	Modelo	Clave	Longitud de campo de referencia del avión (m)	Envergadura (m)	Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal (m)
	F28-3000	3C	1 640	25,1	5,8
	F28-4000	3C	1 640	25,1	5,8
	F28-6000	3C	1 400	25,1	5,8
	F50	3C	1 355	29,0	8,0
McDonnell Douglas	MD90	3C	1 798	32,9	6,2
SAAB	340A	3C	1 220	21,4	7,3
	340B	3C	1 220	22,8 ³	7,3
	SAAB 2000	3C	1 340	24,8	8,9
BAe	ATP	3D	1 540	30,6	9,3
DeHavilland Canada	DHC5D	3D	1 471	29,3	10,2
Airbus	A300 B2	3D	1 676	44,8	10,9
Bombardier Aero.	CRJ 100LR	4B	1 880	21,2	4,0
	CRJ 200LR	4B	1 850	21,2	4,0
Dassault Aviation	Falcon 20-5 (Retrofit)	4B	1 859	16,3	3,7
Embraer	EMB-145 LR	4B	2 269	20,0	4,1
Airbus	A320-200	4C	2 480	33,9	8,7
BAC	1-11-200	4C	1 884	27,0	5,2
	1-11-300	4C	2 484	27,0	5,2
	1-11-400	4C	2 420	27,0	5,2
	1-11-475	4C	2 286	28,5	5,4
	1-11-500	4C	2 408	28,5	5,2
Boeing	B727-100	4C	2 502	32,9	6,9
	B727-200	4C	3 176	32,9	6,9
	B737-100	4C	2 499	28,4	6,4
	B737-200	4C	2 295	28,4	6,4
	B737-300	4C	2 160	28,9	6,4
	B737-400	4C	2 550	28,9	6,4
	B737-500	4C	2 470	28,9	6,4
	B737-800	4C	2 090	34,3	7,0
	B737-900	4C	2 240	34,3	7,0
Fokker	F100	4C	1 840	28,1	6,0
Gulfstream Aero	G V	4C	1 863	28,5	5,1

<i>Fabricante</i>	<i>Modelo</i>	<i>Clave</i>	<i>Longitud de campo de referencia del avión (m)</i>	<i>Envergadura (m)</i>	<i>Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal (m)</i>
Douglas	DC9-10	4C	1 975	27,2	5,9
	DC9-15	4C	1 990	27,3	6,0
	DC9-20	4C	1 560	28,4	6,0
	DC9-30	4C	2 134	28,5	5,9
	DC9-40	4C	2 091	28,5	5,9
	DC9-50	4C	2 451	28,5	5,9
McDonnell Douglas	MD81	4C	2 290	32,9	6,2
	MD82	4C	2 280	32,9	6,2
	MD83	4C	2 470	32,9	6,2
	MD87	4C	2 260	32,9	6,2
	MD88	4C	2 470	32,9	6,2
Airbus	A300 B4	4D	2 605	44,8	10,9
	A300-600	4D	2 332	44,8	10,9
	A310	4D	1 845	44,8	10,9
Boeing	B707-300	4D	3 088	44,4	7,9
	B707-400	4D	3 277	44,4	7,9
	B720	4D	1 981	39,9	7,5
	B757-200	4D	1 980	38,1	8,6
	B757-300	4D	2 400	38,1	8,6
	B767-200	4D	1 981	47,6	10,8
	B767-300ER	4D	2 540	47,6	10,9
	B767-400ER	4D	3 130	51,9	10,8
	Canadair	CL44D-4	4D	2 240	43,4
Ilyushin	18V	4D	1 980	37,4	9,9
	62M	4D	3 280	43,2	8,0
Lockheed	L100-20	4D	1 829	40,8	4,9
	L100-30	4D	1 829	40,4	4,9
	L188	4D	2 066	30,2	10,5
	L1011-1	4D	2 426	47,3	12,8
	L1011-100/200	4D	2 469	47,3	12,8
Douglas	L1011-500	4D	2 844	47,3	12,8
	DC8-61	4D	3 048	43,4	7,5
	DC8-62	4D	3 100	45,2	7,6

<i>Fabricante</i>	<i>Modelo</i>	<i>Clave</i>	<i>Longitud de campo de referencia del avión (m)</i>	<i>Envergadura (m)</i>	<i>Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal (m)</i>
	DC8-63	4D	3 179	45,2	7,6
	DC8-71	4D	2 770	43,4	7,5
	DC8-72	4D	2 980	45,2	7,6
	DC8-73	4D	3 050	45,2	7,6
McDonnell Douglas	DC10-10	4D	3 200	47,4	12,6
	DC10-30	4D	3 170	50,4	12,6
	DC10-40	4D	3 124	50,4	12,6
Tupolev	TU134A	4D	2 400	29,0	10,3
	TU154	4D	2 160	37,6	12,4
Boeing	B747-100	4E	3 060	59,6	12,4
	B747-200	4E	3 150	59,6	12,4
	B747-300	4E	3 292	59,6	12,4
	B747-400	4E	2 890	64,9 ⁴	12,6
	B747-SR	4E	1 860	59,6	12,4
	B747-SP	4E	2 710	59,6	12,4
	B777-200	4E	2 390	61,0	12,9
	B777-200ER	4E	3 110	61,0	12,9
	B777-300	4E	3 140	60,9	12,9
	B777-300ER	4E	3 120	64,8	12,9
McDonnell Douglas	MD11	4E	3 130	52,0 ⁴	12,6
Airbus	A380	4F	3 350	79,8	14,3

1. Con los tanques de extremo de ala instalados.
2. Sobre un obstáculo de 15 m.
3. Con los extremos de ala extendidos.
4. Con planos verticales en los extremos de ala.