# 5. ESTUDIO DE NECESIDADES DEL CAMPO DE VUELOS Y DE LA PLATAFORMA

## 5.1 PISTA

### 5.1.1 DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE PISTA

En el presente punto se va a calcular la configuración del campo de vuelos que proporciona la capacidad suficiente para satisfacer de manera segura y eficiente la demanda que se espera que tenga el futuro aeropuerto de Antequera.

Ya en el capítulo anterior de previsión de demanda se determinaron, de acuerdo a una serie de hipótesis, los parámetros de diseño que nos permitirán dimensionar las distintas infraestructuras aeroportuarias. Dada la diferencia entre las distintas previsiones y para permitir un desarrollo acompasado del futuro aeropuerto, dichos parámetros fueron calculados para dos horizontes que aunque fueron definidos en el capítulo de previsión de demanda, volvemos a comentar brevemente:

1. *Horizonte inicial.-* Esta fase comprende desde la apertura al tráfico del aeropuerto hasta alcanzar los 600.000 pasajeros anuales, que en el escenario medio se alcanzarían en el año 2033 y en el caso de que se cumplan las estimaciones más optimistas en el año 2019.

2. *Horizonte de desarrollo.-* Esta fase engloba el desarrollo del aeropuerto comprendido entre los 600.000 y 1.200.000 de pasajeros, que según las previsiones más optimistas no se alcanzaría hasta el año 2035.

La siguiente tabla recoge algunos de los datos más importantes a tener en cuenta:

| | Pasajeros anuales | Aeronaves anuales | PHP | PHD | AHP | AHD |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Horizonte inicial | 600.000 | 8.450 | 1.183 | 946 | 8 | 7 |
| Horizonte de desarrollo | 1.200.000 | 16.901 | 1.705 | 1.364 | 12 | 10 |

Tabla 5.1

El futuro aeropuerto de Antequera debe estar preparado para dar servicio con un buen nivel de calidad a 946 pasajeros/hora, al menos en lo que respecta a las infraestructuras del lado tierra (edificio terminal); y en el lado aire debe dar servicio hasta 8 aeronaves/hora. Eso es en lo que respecta al horizonte inicial. Para el horizonte de desarrollo, el aeropuerto debe satisfacer a 1.364 pax /hora y a 12 aeronaves/hora.

La configuración del campo de vuelos que se propone para el futuro aeropuerto de Antequera está formada por una única pista que utilizarán todas las aeronaves, desde aviación general hasta las de transporte de carga pasando por las comerciales. La configuración de las calles de rodaje se estudiará más adelante, en otro punto, ya que

se considera que el diseño de estas partes del campo de vuelos puede afectar positiva o negativamente a la capacidad global del sistema.

Para determinar, a priori, si la configuración de una sola pista proporciona la suficiente capacidad para satisfacer los parámetros anteriores se ha hecho uso de la *AC[4] 150-5060-5, Airport Capacity and Delay* de la FAA[5], exactamente de las tablas y figuras del capítulo 2, *Capacity and Delay Calculations for Long Range Planning*. Dichas tablas han sido obtenidas a partir del estudio de múltiples aeropuertos estadounidenses y teniendo en cuenta varias hipótesis. Los principales valores que hay que estimar son el ASV[6] (Annual Service Volumen) y la Capacidad Horaria[7] (Hourly Capacity), y ello se hace a través del parámetro Índice de Mezcla (Mix Index) que se define matemáticamente como:

$$Mix\ Index = \mathrm{C}(\%) + 3\mathrm{D}(\%)$$

Donde C y D representan el porcentaje de aeronaves de categoría C y D que se espera que aterricen en el aeropuerto.

En el caso de Antequera: $\boldsymbol{Mix\ Index = 96,3 + 3 \times 1,2 = 99,9}$

Las hipótesis que fueron asumidas a la hora de estimar los valores de capacidad horaria VFR e IFR están comentadas en la mencionada *AC 150-5060-5, Airport Capacity and Delay.* No obstante se comentan brevemente a continuación:

1) Igual porcentaje de operaciones de llegada que de salida (50%).

2) El porcentaje de tomas y despegues está dentro del rango especificado en la tabla adjunta. El mismo se selecciona en función del índice de mezcla.

| Mix Index %(C+3D) | Percent Arrivals | Percent Touch & Go | Demand Ratios | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Annual Demand / Av. Daily Demand* | Av. Daily Demand* / Av. Peak Hour Demand* |
| 0-20 | 50 | 0-50 | 290 | 9 |
| 21-50 | " | 0-40 | 300 | 10 |
| 51-80 | " | 0-20 | 310 | 11 |
| 81-120 | " | 0 | 320 | 12 |
| 121-180 | " | 0 | 350 | 14 |

* In the peak month

Figura 5.1

3) Los aeropuertos cuentan con calles de rodaje de salida y entrada amplias. Además no existen problemas de interferencias entre calles de rodajes.

[4] **AC** (Advisory Circular): Comunicación o publicación realizada por la Federal Aviation Administration para proporcionar directrices sobre un tema, como la forma de cumplir con un reglamento o estatuto. La misma está dirigida generalmente al mundo de la aviación.

[5] **FAA** (*Federal Aviation Administration):* entidad gubernamental responsable de la regulación de todos los aspectos de la aviación civil en los Estados Unidos.

[6] **ASV** es una estimación razonable de la capacidad anual de un aeropuerto. Tiene en cuenta los diferentes usos de las pistas, la mezcla de aeronaves, las condiciones meteorológicas, etc., que podrían darse a lo largo de un año.

[7] La **Capacidad Horaria** es una medida del máximo número de operaciones de aeronaves que pueden ser acomodadas en el aeropuerto o en un componente del aeropuerto durante una hora.

4) No existen en el espacio aéreo del aeropuerto obstáculos que puedan suponer una amenaza para la seguridad de las aeronaves.

5) Los aeropuertos cuentan al menos con un sistema de aterrizaje por instrumentos (ILS) así como instalaciones de radar. Así mismo, las separaciones que se establecen entre operaciones son de 3.400 ft si el aeropuerto cuenta con un equipo PRM (Precision Runway Monitor), y en caso contrario 4.300 ft.

Para la estimación del parámetro ASV, además de las hipótesis comentadas anteriormente se consideró lo siguiente:

6) Las condiciones meteorológicas son adversas el 10 % de las veces.

7) El 80 % del tiempo, el aeropuerto opera con la configuración de pista que proporciona la máxima capacidad horaria.

Volviendo a la estimación de los parámetros, para el Índice de Mezcla estimado y la configuración de pista única, la capacidad horaria máxima (especificada en la tabla) es de 55 ops/hora en VFR y 53 ops/hora en IFR. El Volumen de Servicio Anual (ASV) que proporcionaría la pista es de 210.000 ops.

| NO. | Runway-use Configuration | Mix Index %(C+3D) | Hourly Capacity Ops/Hr VFR | IFR | Annual Service Volume Ops/Yr |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | | 0 to 20 | 58 | 59 | 230,000 |
| | | 21 to 50 | 74 | 57 | 195,000 |
| | | 51 to 80 | 63 | 56 | 205,000 |
| | | 81 to 120 | 55 | 53 | 210,000 |
| | | 121 to 130 | 51 | 50 | 240,000 |

Figura 5.2

Otro parámetro que resulta de interés determinar es el retraso por aeronave (Aircraft Delay). Para el mismo sólo se necesita calcular el cociente entre la demanda prevista y el ASV, y utilizar la figura 5.3

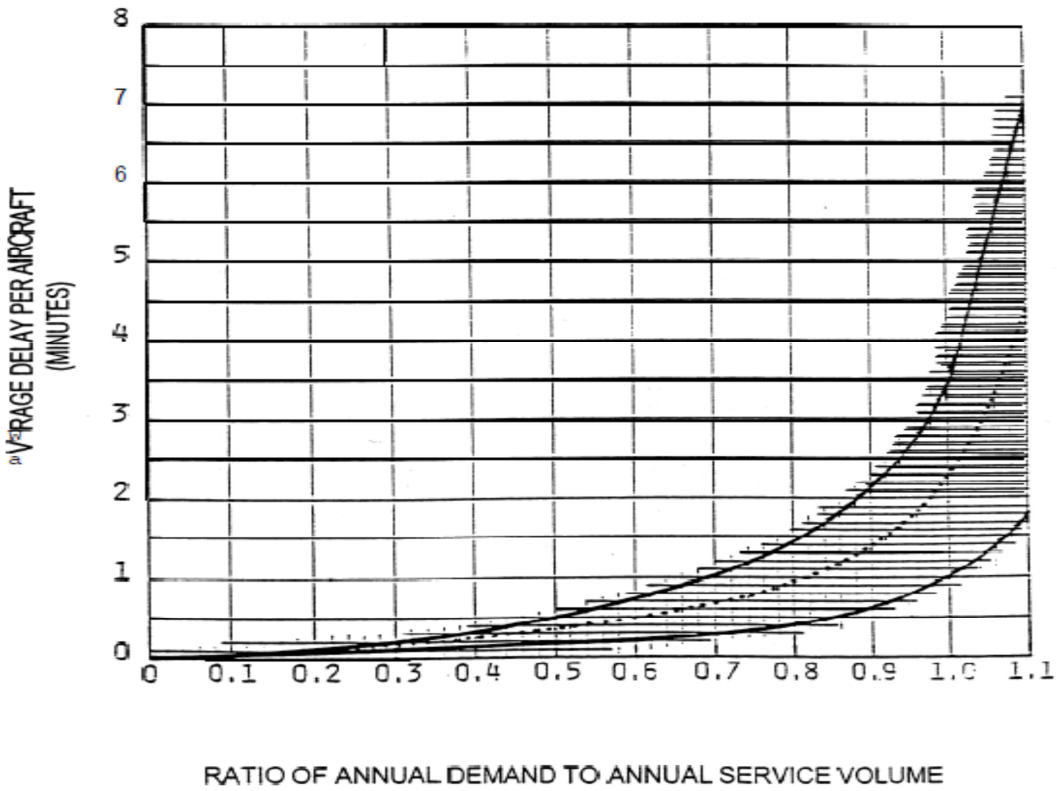



Figura 5.3

En el caso del horizonte 1 se obtiene que:

$$\frac{Demanda\ anual\ horizonte\ inicial}{ASV} = \frac{8.450\ \text{operaciones}}{210.000\ operaciones} = 0{,}040$$

Para este valor, el retraso por aeronave es prácticamente nulo.

En el caso del horizonte de desarrollo, los resultados son los siguientes:

$$\frac{Demanda\ anual\ horizonte\ de\ desarrollo}{ASV} = \frac{16.901\ \text{operaciones}}{210.000\ operaciones} = 0{,}080$$

Retraso por aeronave 0 minutos.

A la vista de los resultados, se concluye que la configuración propuesta de una sola pista proporcionaría la capacidad suficiente para satisfacer con creces la demanda prevista del futuro aeropuerto de Antequera, siempre que la configuración de las calles de rodaje y las restricciones operativas (presencia de obstáculos, control de tráfico, etc.) no limiten esta capacidad. Nótese la diferencia tan grande entre la capacidad, que es de 210.000 operaciones anuales, y la demanda que no llega a las 17.000 operaciones en el caso del horizonte de desarrollo. A nivel puntual, la pista es capaz de dar servicio hasta 53 operaciones IFR en hora punta, muy por encima de las 8 y 12 aeronaves que se espera que hagan uso del futuro aeropuerto en la hora más desfavorable del año en los horizontes inicial y de desarrollo, respectivamente.

Llegados a este punto, hay que comentar que los resultados calculados anteriormente son sólo orientativos y permiten dar una idea de la capacidad que podría proporcionar la configuración de una pista. Los mismos han sido extraídos analizando numerosos aeropuertos estadounidenses y considerando un cierto comportamiento de la demanda. Ahora bien, la demanda del futuro aeropuerto de Antequera no tendrá, en principio, el mismo comportamiento que el que se ha supuesto en la AC.

### 5.1.2 DETERMINACIÓN DE ORIENTACIÓN DE PISTA

La determinación de la orientación más adecuada para una pista constituye una importante decisión que requiere un análisis pormenorizado de diversos aspectos. Esta decisión, por tanto, debe estar respaldada por un estudio previo en el cual se analicen los mencionados factores.

Ya en el apartado de selección de emplazamiento (realizado en el capítulo 3 "Justificación del aeropuerto y análisis de alternativas de ubicación"), se han analizado algunos de estos factores y se han propuesto diversas orientaciones de pista que satisfacen la mayoría de los requisitos. Sin embargo, es necesario contrastar si éstas cumplen con los requisitos impuestos por la OACI en el tema eólico.

En lo que concierne a la acción del viento, en el *Manual de Diseño de Aeródromos, Parte 1, Pistas* en los puntos 2.1.6 y 2.1.7 dice textualmente lo siguiente:

> *2.1.6 El número y orientación de las pistas de un aeródromo deberían ser tales que el coeficiente de utilización del aeródromo no sea inferior al 95% para los aviones que el aeródromo esté destinado a servir.*
>
> *2.1.7 Al aplicar el coeficiente de utilización del 95%, debería suponerse que en circunstancias normales, impide el aterrizaje o despegue de un avión una componente transversal del viento que exceda de:*
>
> > *— 37 km/h (20 kt), cuando se trata de aviones cuya longitud de campo de referencia es de 1500 m o más, excepto cuando se presenten con alguna frecuencia condiciones de eficacia de frenado deficiente en la pista debido a que el coeficiente de fricción longitudinal es insuficiente, en cuyo caso debería suponerse una componente transversal del viento que no exceda de 24 km/h (13 kt);*
> >
> > *— 24 km/h (13 kt) en el caso de aviones cuya longitud de campo de referencia es de 1200 m o mayor de 1200 pero inferior a 1500 m; y*
> >
> > *— 19 km/h (10 kt) en el caso de aviones cuya longitud de campo de referencia es inferior a 1200 m.*

Así mismo, con el fin de limitar los efectos perniciosos de la acción del viento en cola y teniendo en cuenta que la pista va a ser utilizada por una flota de aeronaves variada (desde categoría A hasta categoría D), se limitará la componente máxima de viento en cola a 10 kts (18.52 km/h), siguiendo las recomendaciones de los diversos Airport Planning de aeronaves que se han consultado.

Teniendo en cuenta estos requisitos, a continuación se va a realizar un análisis de vientos (teniendo en cuenta los datos de vientos proporcionados por la estación agroclimática) para cada una de las siguientes configuraciones propuestas en el capítulo 3 "Justificación del aeropuerto y análisis de alternativas de ubicación" a fin de determinar el coeficiente de utilización:

- Pista con orientación 04-22
- Pista con orientación 02-20
- Pista con orientación 14-32
- Pista con orientación 01-19

Se muestran las gráfica de absorción de vientos suponiendo que la componente cruzada máxima de viento es de 13 nudos. Para el caso de componente cruzada máxima de 10 y 20 nudos, el modus operandi es exactamente el mismo.

✈ ***Pista con orientación 04-22***

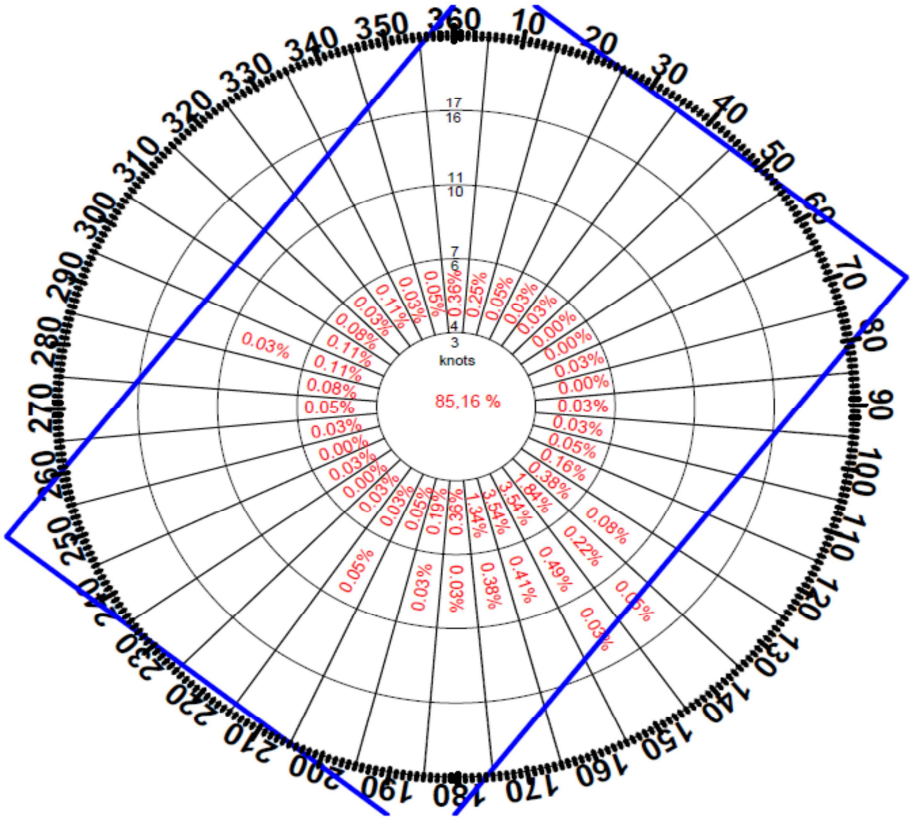



Figura 5.4 Cálculo coeficiente de utilización pista 04-22. Componente transversal máxima de viento: 13 kts.

- ***Pista con orientación 02-20***

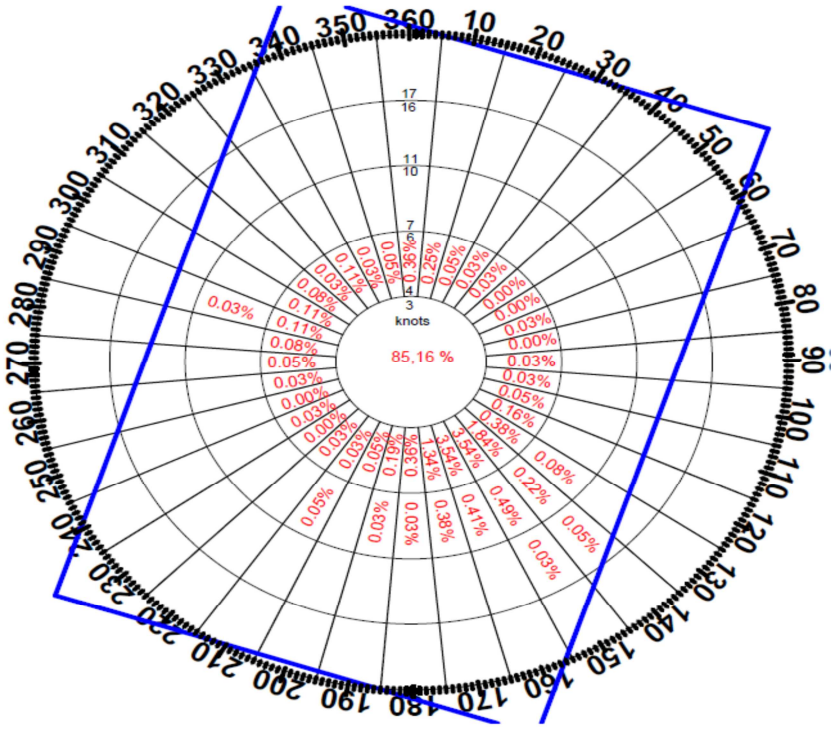



Figura 5.5 Cálculo coeficiente de utilización pista 02-20. Componente transversal máxima de viento: 13 kts.

- ***Pista con orientación 14-32***

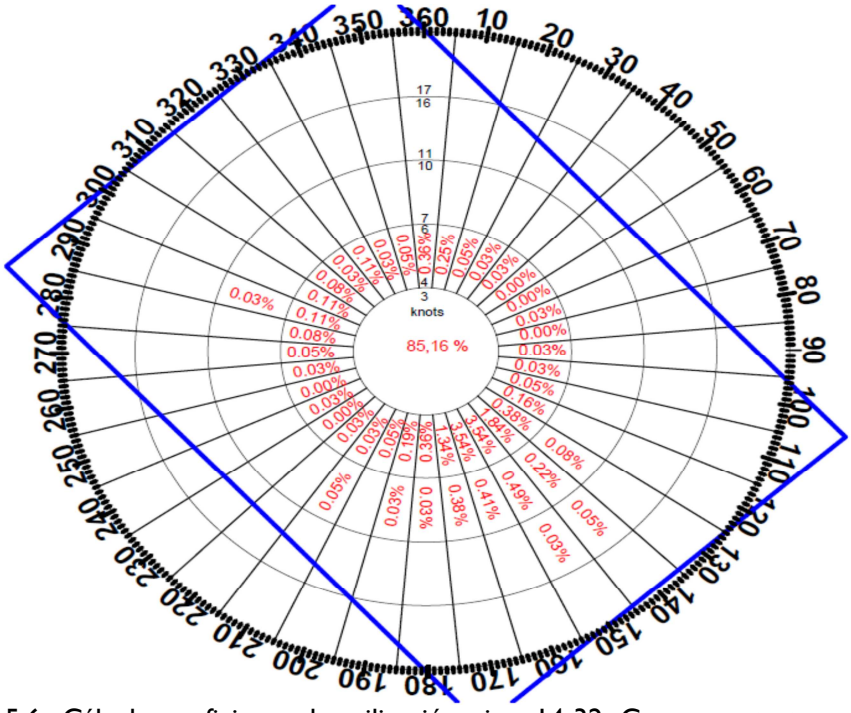



Figura 5.6 Cálculo coeficiente de utilización pista 14-32. Componente transversal máxima de viento: 13 kts.

✈ ***Pista con orientación 01-19***

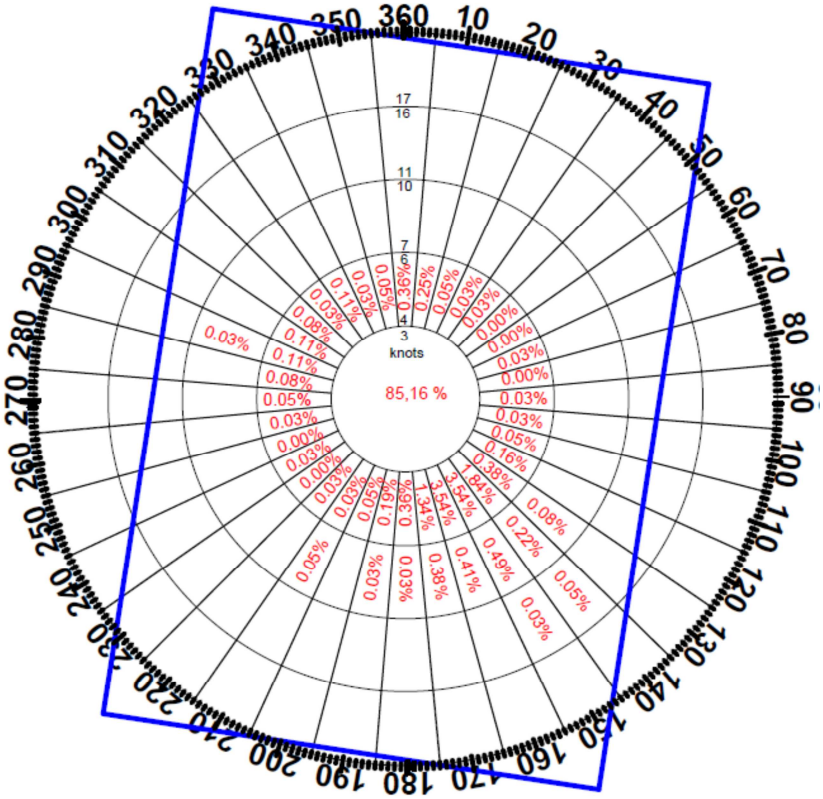



Figura 5.7 Cálculo coeficiente de utilización pista 01-19. Componente transversal máxima de viento: 13 kts.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos:

| | Coeficiente de utilización de orientaciones de pista propuestas | | |
|---|---|---|---|
| **Pista** | **Componente transversal máxima 10 nudos** | **Componente transversal máxima 13 nudos** | **Componente transversal máxima 20 nudos** |
| **04-22** | 99,92 % | 99,96 % | 100 % |
| **02-20** | 99,96 % | 99,92 % | 100 % |
| **14-32** | 100 % | 100 % | 100 % |
| **01-19** | 100 % | 100 % | 100 % |

Tabla 5.2

A la vista de los resultados, se deduce que todas las orientaciones de pista propuestas cumplen los requisitos exigidos por OACI en lo que a porcentaje de utilización y componente transversal se refiere. Por tanto, las pistas pueden ser utilizadas por todo tipo de aeronaves y durante todo el tiempo.

Ahora bien, dado que en el capítulo 3 "Justificación del aeropuerto y análisis de alternativas de ubicación" se seleccionó el emplazamiento número dos como el

emplazamiento final del aeropuerto, en el cual se proponía como orientación de pista la 01-19, se concluye que la orientación de la pista será definitivamente la 01-19.

### 5.1.3 CÁLCULO DE LONGITUD DE PISTA

#### *5.1.3.1 Introducción*

En el presente punto se va a explicar de manera justificada el cálculo de las longitudes declaradas de pista del futuro aeropuerto de Antequera, teniendo en cuenta la flota de aeronaves que se prevé que hagan uso de las instalaciones en el futuro, a corto y medio plazo.

En primer lugar se procederá a comentar toda la normativa que se ha consultado al respecto y que ha sido considerada para los cálculos, posteriormente se definirán una serie de conceptos que son de gran importancia y en la última parte de este punto, se explicará el procedimiento de cálculo empleado y se extraerán unas conclusiones.

#### *5.1.3.2 Normativa aplicable*

La normativa consultada al respecto para la estimación de las longitudes de pista establece lo siguiente:

- Pistas principales

En el Manual de Diseño de Aeródromo de OACI, Parte 1 "Pistas", concretamente en los puntos 3.2.1 y 3.2.2 se establece, respectivamente, lo siguiente:

- *Salvo cuando una pista vaya asociada con una zona de parada y/o con una zona libre de obstáculos, la longitud verdadera de toda pista principal debería ser adecuada para satisfacer los requisitos operacionales de los aviones para los que se proyecte la pista y no debería ser menor que la longitud más larga determinada por la aplicación a las operaciones de las correcciones correspondientes a las condiciones locales y a las características de performance de los aviones que tengan que utilizarla.*

- *Al determinar la longitud de pista que ha de proporcionarse, es necesario considerar tanto los requisitos de despegue como de aterrizaje, así como la necesidad de efectuar operaciones en ambos sentidos de la pista. Entre las condiciones locales que pueden considerarse figuran la elevación, temperatura, pendiente de la pista, humedad y características de la superficie de la pista.*

Por otra parte, en el punto 3.1.6 del Anexo 14 de OACI se aclara que, a la hora de determinar las longitudes de la pista no es obligatorio contemplar el avión crítico de cálculo con la masa máxima al despegue.

- Requisitos sobre diagramas de performance de despegue

En el Manual de Diseño de Aeródromo de OACI, Parte 1 "Pistas", concretamente en el punto 4.2.18, se comenta los condicionantes que son necesarios tener en cuenta a la hora de calcular las longitudes de pistas utilizando los diagramas de performance de despegue que proporcionan los fabricantes de aeronaves. Concretamente dice lo siguiente:

*La longitud de pista, que se determinará a partir de los diagramas de performance de despegue, será la mayor de las siguientes:*

*a) 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*

*b) El 115 % de la distancia de despegue con todos los motores en funcionamiento.*

### *5.1.3.3 Conceptos a tener en cuenta para el cálculo de la longitud de pista*

En el presente punto, se pretende introducir y definir todos aquellos conceptos y variables que van a ser necesarios para estimar la longitud de pista, así como las relaciones existentes entre los mismos.

- Pesos de las aeronaves

Para el cálculo de la longitud de una pista es fundamental el conocimiento del peso del avión, que es un conjunto de numerosas partes que se combinan en diferentes grupos según los criterios del diseñador de aeronaves. El peso de dichos grupos es de vital importancia tanto para el diseño, certificación y operación de la aeronave, como para el cálculo de la longitud de la pista en la cual se prevé que la aeronave operará.

- OEW (Operational Empty Weight): Se define como el peso de la aeronave sin carga de pago ni combustible, pero incluyendo a la tripulación.

- Gross Weight: Es el peso total del avión en cualquier momento del vuelo. Evidentemente disminuye durante el desarrollo del mismo, debido al consumo de combustible y aceite. En la aviación militar puede variar también en vuelo debido al lanzamiento de la carga de pago, o por el reabastecimiento de combustible.

- PL (Pay Load): Es todo tipo de carga de naturaleza comercial, incluyendo a los pasajeros y su equipaje, las mercancías y el correo. Tiene dos limitaciones fundamentales, la capacidad volumétrica de las bodegas de

carga del avión y la resistencia estructural del mismo, que determinan entre ambas la máxima carga de pago admisible MPL.

- FW (Fuel Weight): Peso de combustible, del que destacan dos grandes contribuciones:
  - El combustible necesario para el viaje TF (Trip Fuel).
  - El combustible establecido como reservas, RF (Reserve Fuel).
- TOW (Take Off Weight): Es el peso de la aeronave en el momento de soltar frenos, al inicio de la carrera de despegue. No debe superar el máximo, MTOW, impuesto, bien por razones de tipo operacional (tales como la posición del centro de gravedad) o bien por razones de tipo estructural.
- OLW (Operational Landing Weight): Es el peso de la aeronave en el momento del "touchdown", es decir en el instante en el que el tren principal de la aeronave entra en contacto con la superficie de la pista de vuelos. También puede verse limitado por diversas razones, dando lugar al denominado MLW (Maximum Landing Weight).

### ✈ Datos sobre el emplazamiento

Anteriormente se ha comentado que longitudes de pista tenían que ser estimadas teniendo en cuenta las características locales del emplazamiento del futuro aeropuerto. A continuación se detallan cuáles son las condiciones a tener en cuenta:

- Elevación de aeródromo: Elevación del punto más alto del área de aterrizaje.
- Temperatura de referencia del aeródromo: Es la media mensual de las temperaturas máximas diarias correspondiente al mes más caluroso del año (siendo el mes más caluroso aquél que tiene la temperatura media mensual más alta). Esta temperatura debería ser el promedio de observaciones efectuadas durante años.
- Pendiente longitudinal de pista: En el Manual de Diseño de Aeródromos, Parte 1, se define como la pendiente obtenida al dividir la diferencia entre la elevación máxima y la mínima a lo largo del eje de la pista por la longitud de esta. Se especifica que no debería exceder del 1%.

### ✈ Distancias declaradas

En el Anexo 14 de OACI, Volumen I, se exige calcular las distancias declaradas de una pista prevista para ser utilizada por el transporte aéreo comercial internacional, y en el Anexo 15 se exige la notificación de las distancias declaradas para cada sentido de la

pista en la publicación de información aeronáutica (AIP) del Estado. Estas distancias son las siguientes:

a) Recorrido de despegue disponible (TORA), es decir, la longitud de la pista que se ha declarado disponible y adecuada para el recorrido en tierra de un avión que despegue.

b) Distancia de despegue disponible (TODA), es decir, la longitud del recorrido de despegue disponible más la longitud de la zona libre de obstáculos.

c) Distancia de aceleración-parada disponible (ASDA), es decir, la longitud del recorrido de despegue disponible más la longitud de zona de parada.

d) Distancia de aterrizaje disponible (LDA), es decir, la longitud de la pista que se ha declarado disponible y adecuada para el recorrido en tierra de un avión que aterrice.

#### *5.1.3.4 Cálculo detallado*

En este punto se va a proceder a calcular las longitudes de pista necesarias para permitir las operaciones de las aeronaves con seguridad y eficacia. Lo que se va a calcular se conoce como TORL (Take Off Runway Length) y se define para cada una de las aeronaves usuarias y con unas determinadas condiciones de operación. No debe confundirse este término con las distancias declaradas definidas anteriormente.

La metodología de cálculo se encuentra explicada detalladamente en la *Advisory Circular 150/5325-4B* de la FAA. Básicamente consiste en 5 pasos que a continuación se comentan brevemente:

1) Realización de una lista en la que se incluya todas las posibles aeronaves que van a hacer uso del aeropuerto en un periodo establecido de tiempo de al menos 5 años.

2) Identificación dentro de la lista, de las aeronaves que a priori necesitan mayor longitud de despegue con el MTOW (Maximum certificated Take Off Weight). Dichas aeronaves serán consideradas como aeronaves críticas de diseño.

3) Empleando la Tabla 1.1 *Airplane Weight Categorization for Runway Length Requirements* de la citada AC, para cada una de las aeronaves de diseño se determina el método que hay que emplear para estimar la longitud de pista recomendada. En nuestro caso, dado que la mayor parte de las aeronaves que van a hacer uso de la pista son de categoría C (por ejemplo, A-320, A-319, B-737), el procedimiento a emplear estará basado en el uso de los Airport Planning que los fabricantes de aeronaves proporcionan.

4) Calcular la longitud de pista requerida para cada una de las aeronaves. En nuestro caso, se estimará la longitud de pista requerida por cada aeronave empleando para ello su correspondiente Airport Planning.

5) Corregir las longitudes estimadas con los factores de temperatura, gradiente y elevación (según corresponda). Posteriormente se toma como longitud de pista la mayor de todas las longitudes calculadas.

Las condiciones de referencia que se han considerado para estimar los factores de corrección son las siguientes:

- Temperatura de referencia: 35 ° C (Este valor ya fue calculado en el apartado de meteorología, Capítulo 2 "El aeropuerto y su entorno").
- Elevación de referencia[8]: 420 m
- Pendientes de pista[9]: $P_{med}$(Cabecera 01)= + 0,3%
  $P_{med}$(Cabecera 19)= - 0,3%

Y las expresiones de los factores de corrección, extraídas del Manual de Diseño de Aeródromos, Parte I "Pistas", son:

- Factor de elevación: $F_H = 1 + 0{,}07 \times \frac{H}{300}$
- Factor de temperatura: $F_T = 1 + 0{,}01 \times \left[T_{ref} - (15 - 0{,}0065 \times H)\right]$
- Factor de pendiente: $F_P = 1 + 0{,}1 \times P_{media}(\%)$

Sin más dilación, se empieza con el cálculo. En primer lugar será necesario identificar la flota de aeronaves. Para ello, se va a estudiar la flota que opera tanto en los aeropuertos más cercanos a Antequera (como es el caso de Sevilla, Granada, Málaga, Jerez de la Frontera, Almería) como la que opera en otros aeropuertos que se consideran que tiene una tipología y/o demanda de tráfico similar a la que va a tener el futuro aeropuerto de Antequera (Santander, Vigo). Se ha comenzado identificando las principales compañías aéreas que operan en los citados aeropuertos:

| Compañía | Sevilla | Granada | Málaga | Jerez de Fra. | Almería | Santander | Vigo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Iberia | x | x | x | x | x | x | x |
| Ryanair | x | x | x | x | x | x | |
| EasyJet | x | | x | | | | |
| Air Berlin | x | | x | x | | | |
| Air | x | | | | | | |

[8] Dato extraído de "Propuesta de Plan Director del aeropuerto de Antequera" (Estudio independiente realizado por empresa promotora y presentado en el Ministerio de Fomento).
[9] Datos extraídos de "Propuesta de Plan Director del aeropuerto de Antequera" (Estudio independiente realizado por empresa promotora y presentado en el Ministerio de Fomento).

| Compañía | Sevilla | Granada | Málaga | Jerez de Fra. | Almería | Santander | Vigo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nostrum | | | | | | | |
| British Airways | x | | x | | | | |
| Vueling | x | x | x | x | | | x |
| Air Europa | x | | x | | x | | x |
| Bmibaby | | | x | | | | |
| Flybe | | | x | | | | |
| Monarch | | | x | | x | | |
| Thomsonfly | | | x | | | | |

Tabla 5.3 **NOTA**: Datos pertenecientes al año 2010.

Se puede comprobar en esta tabla que Ryanair e Iberia son las compañías aéreas que operan en la mayoría de los citados aeropuertos. La primera es una compañía Low Cost mientras que la segunda se engloba dentro de las compañías conocidas como tradicionales. También se extrae de la tabla que los aeropuertos que son utilizados por un mayor de número de compañías son Málaga y Sevilla.

Analizando la flota de aviones con la que cuenta cada una de las anteriores compañías aéreas, se ha realizado a priori una preselección de aeronaves que pueden ser candidatas a convertirse en aeronave de diseño a efecto de cálculo de longitud de pista. Las aeronaves preseleccionadas han sido: B 737-800, B 737-700, B 737-300, A-320, A-319, A-321, MD-83, B-717, B-757-200 y MD-87. De todas las aeronaves preseleccionadas, se va a identificar aquellas cuatro que son más utilizadas en todos los aeropuertos anteriores. Para ello, se ha analizado el número de operaciones de cada avión en cada aeropuerto, obteniendo lo siguiente (datos pertenecientes al año 2010):

| | B-737-800 | B-737-700 | B-737-300 | A-320 | A-319 | A-321 | MD-83 | B-717 | B-757-200 | MD-87 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sevilla | 10.758 | 633 | 328 | 15.438 | 1.462 | 878 | 326 | 0 | 20 | 40 |
| Granada | 1.423 | 0 | 0 | 3.537 | 2.151 | 0 | 86 | 348 | 2 | 22 |
| Málaga | 24.642 | 3.208 | 4.766 | 23.072 | 12.146 | 5.845 | 536 | 500 | 2.882 | 1.124 |
| J. de la Fra. | 2.302 | 82 | 62 | 3.136 | 1.782 | 230 | 40 | 0 | 48 | 0 |
| Almería | 1.528 | 86 | 34 | 734 | 524 | 0 | 44 | 0 | 34 | 0 |
| Santander | 4.740 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46 | | 12 | 0 |
| Vigo | 778 | 0 | 0 | 4.107 | 1.094 | 236 | 116 | 336 | 0 | 36 |

Tabla 5.4

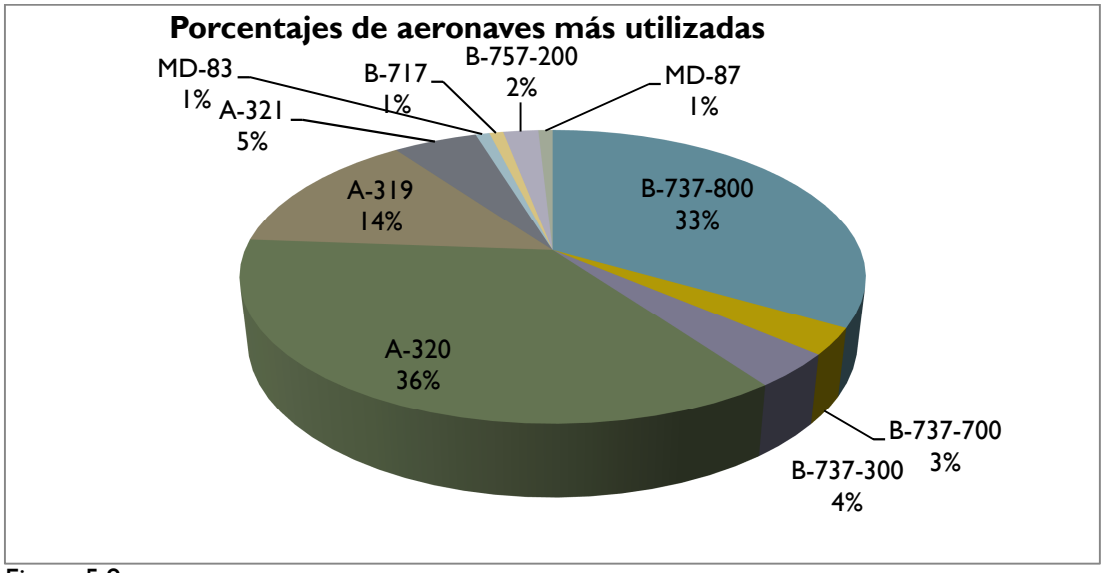



Figura 5.8

Se concluye que las aeronaves más utilizadas en los mencionados aeropuertos son: B-737-800, A-320, A-319 y A-321. Estas van a ser las aeronaves que se considerarán para estimar la longitud de pista.

Por otra parte, a la hora de calcular la longitud de pista se debe tener en cuenta el alcance de las aeronaves. Tomando como base cada uno de los aeropuertos considerados hasta ahora, se ha realizado una lista con los principales destinos y estos se han clasificado según la distancia a la que se encuentran de Antequera (en millas náuticas NM). Esta lista constituye pues, todos los posibles destinos con los que podría operar Antequera en algún momento dado. Sin embargo, esto no guarda ninguna relación con los destinos y rutas considerados en el capítulo 4 "Previsión de la demanda". A continuación se muestran varias tablas con los destinos:

- Destinos que se encuentran a menos de 500 NM de Antequera.

| Destino | Distancia (NM) | Destino | Distancia (NM) |
|---|---|---|---|
| **Girona** | 440,3 | **Madrid** | 192,1 |
| **La Coruña** | 415,7 | **Fez (Marruecos)** | 146,5 |
| **Santiago** | 394,7 | **Sevilla** | 60,3 |
| **Barcelona** | 393,6 | **Granada** | 26,4 |
| **Santander** | 386,4 | **Bilbao** | 384,2 |
| **Zaragoza** | 319,9 | **Palma de Mallorca** | 362,7 |
| **Oporto (Portugal)** | 316,6 | **Reus** | 356,7 |
| **Ibiza** | 288,1 | **Marrakech (Marruecos)** | 331,1 |
| **Valencia** | 234 | | |

Tabla 5.5

- Destinos que se encuentran entre 500 y 1000 NM de Antequera.

| Destino | Distancia (NM) | Destino | Distancia (NM) |
|---|---|---|---|
| **Doncaster (UK)** | 998,6 | **Eindhoven** | 961,4 |

| Destino | Distancia (NM) | Destino | Distancia (NM) |
|---|---|---|---|
| | | (Holanda) | |
| Amsterdan (Holanda) | 996,4 | Dusseldorf (Alemania) | 977 |
| Bournemouth (UK) | 834 | Cardiff (UK) | 864,7 |
| Roma (Italia) | 830 | Southampton (UK) | 847,1 |
| Dublín (Irlanda) | 987,6 | Basel (Francia) | 823,8 |
| Manchester (UK) | 984,7 | Bergamo (Italia) | 816,2 |
| Liverpool (UK) | 982 | Maastricht (Holanda) | 941 |
| Shannon (Irlanda) | 959,6 | Francfort (Alemania) | 925,2 |
| Bruselas (Bélgica) | 916,7 | Malta (Malta) | 897,9 |
| Londres Stansted (UK) | 914,6 | Londres Gatwick (UK) | 867,9 |
| Londres Luton (UK) | 908,8 | Bristol (UK) | 865,8 |
| Venecia (Italia) | 905,1 | Roma Fuimicino (Italia) | 515,3 |
| Marsella (Francia) | 582,3 | Milán (Italia) | 781,8 |
| Sicilia (Italia) | 793,1 | Tenerife Sur | 780,4 |
| Paris CDG (Francia) | 782,1 | Pisa (Italia) | 780 |
| Paris Orly (Francia) | 763,2 | Fuerteventura | 663,4 |
| Tenerife Norte | 753,6 | Cagliari (Italia) | 638,9 |
| Gran Canaria | 740,6 | Sardinia (Italia) | 623,9 |
| Ginebra (Suiza) | 724,8 | Beauvais | 799 |

Tabla 5.6

- ✈ Destinos que se encuentran entre 1000 y 1500 NM de Antequera.

| Destino | Distancia (NM) | Destino | Distancia (NM) |
|---|---|---|---|
| Glasgow (UK) | 1131,9 | Berlín (Alemania) | 1079,3 |
| Glasgow Prestwick (UK) | 1109,8 | Belfast (Irlanda) | 1061,2 |
| Bremen (Alemania) | 1109,2 | Dortmund (Alemania) | 1009,2 |
| Varsovia (Polonia) | 1400,3 | Blackpool (UK) | 1007,7 |
| Gotthenburg (Suecia) | 1402,5 | Edinburgh (UK) | 1137,6 |
| Bratislava (Eslovaquia) | 1156,7 | Newcastle (UK) | 1087,9 |

Tabla 5.7

✈ Destinos que se encuentran entre 1500 y 2000 NM de Antequera.

| Destino | Distancia (NM) |
|---|---|
| **Trondheim (Noruega)** | 1682,9 |
| **Estocolmo (Suecia)** | 1548,2 |
| **Oslo (Noruega)** | 1512,8 |

Tabla 5.8

Como se aprecia, la mayoría de los destinos de los vuelos con origen en los aeropuertos de Sevilla, Málaga, Granada, Almería, J. de la Frontera, Vigo y Santander se encuentran a menos de 1.500 NM de Antequera. Sólo tres destinos se encuentran a más de 1.500 NM y además no son destinos de alta prioridad. Por tanto, a efectos de cálculo se considerará que el alcance de las aeronaves será 1.500 NM. Para los tres destinos más alejados se considerará la correspondiente penalización en la carga de pago.

Una vez seleccionadas las aeronaves de diseño y el alcance de cálculo, ya sólo queda calcular las longitudes de pista para cada aeronave, corregirlas con los factores de corrección y tomar la mayor longitud. Como se dijo anteriormente las aeronaves de diseño son el B 737-800, A-319, A-320 y A-321. Los datos más relevantes de estas aeronaves en lo que respecta a pesos y motorización son los siguientes:

| Aeronave | Motorización | MTOW (Kg) | OEW (Kg) | MPL (Kg) | MLW (Kg) |
|---|---|---|---|---|---|
| **B 737 -800** | CFM 56 | 79.016 | 41.413 | 21.319 | 66.361 |
| **A-319** | CFM 56 | 75.500 | 39.725 | 18.775 | 62.500 |
| **A-320** | CFM 56 | 73.500 | 41.244 | 19.256 | 64.500 |
| **A-321** | CFM 56 | 93.500 | 46.856 | 26.944 | 77.800 |

Tabla 5.9

Hay que comentar, llegados a este punto, que para estimar la longitud de pista es necesario estudiar separadamente el despegue y el aterrizaje, pues las hipótesis que se asumen en ambas operaciones son distintas.

✈ ***DESPEGUE***

Para el caso del despegue, según las indicaciones y recomendaciones de la Parte I del *Manual de Diseño de Aeródromo* de OACI y de la *Advisory Circular 150/5325-4B* de la FAA, se toman las siguientes hipótesis de partida:

| | |
|---|---|
| **Carga de pago** | Máxima carga de pago (MPL) |
| **Factores de corrección a considerar** | Corrección por temperatura<br>Corrección por elevación de aeródromo<br>Corrección por pendientes |
| **Alcance de cálculo** | 1.500 NM |
| **Estado superficial de la pista** | Pista seca |

Tabla 5.10

A continuación se muestran los cálculos que se han realizado empleando las gráficas de los Airport Planning de las aeronaves.

El modus operandi ha sido, en primer lugar, determinar en la gráfica *carga de pago – alcance* el peso al despegue de la aeronave (TOW). Dicho valor se obtiene trazando una recta oblicua (paralela a la de MTOW) por el punto resultante de la intersección entre la recta horizontal de máxima carga de pago con la recta vertical correspondiente a un alcance de 1.500 NM e interpolando entre los valores que proporcionan las curvas del diagrama alcance-carga de pago. El siguiente boceto permite visualizar lo explicado:

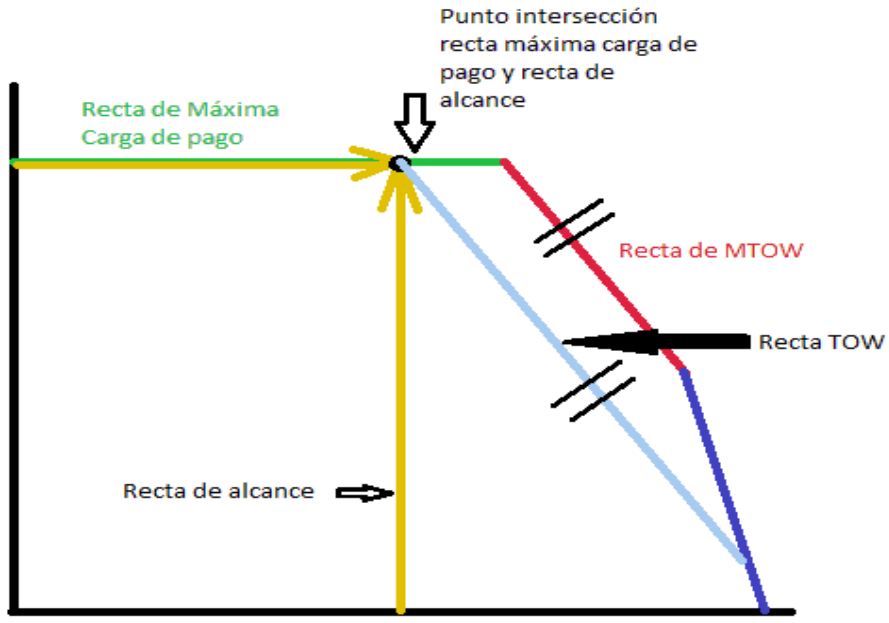



Figura 5.9

Una vez determinado el TOW, se calcula la longitud de pista necesaria para el despegue en condiciones estándar teniendo en cuenta dicho peso. Posteriormente, será corregida utilizando los factores de corrección por elevación, temperatura y pendiente.

✈ **B 737-800**

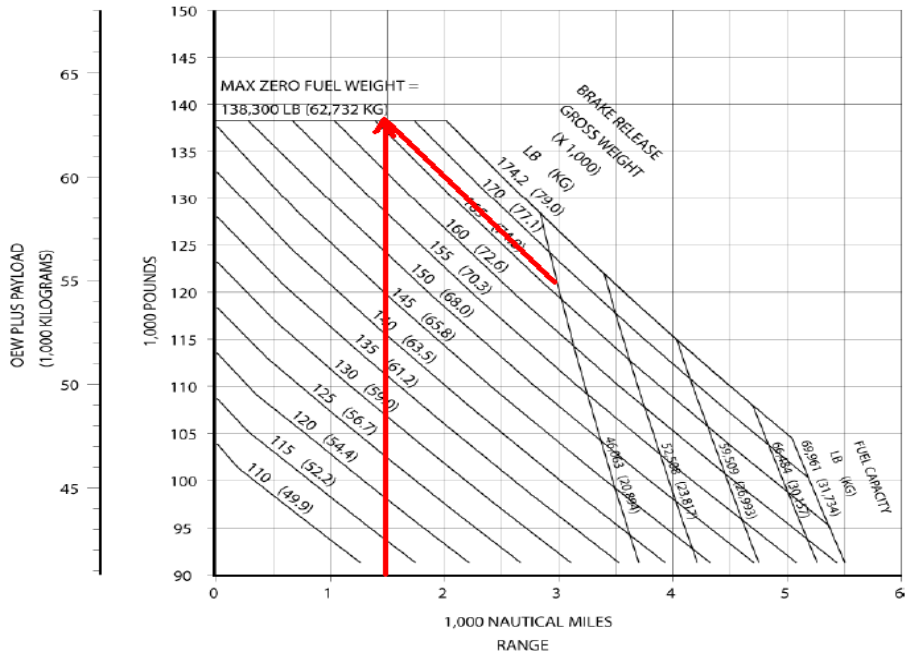



Figura 5.10

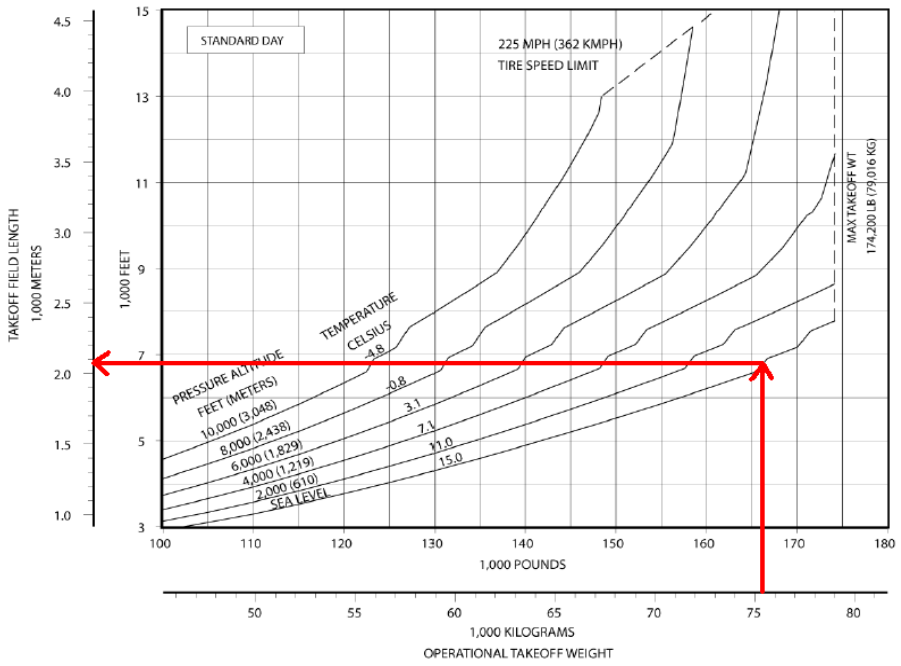



Figura 5.11

## ✈ A-319

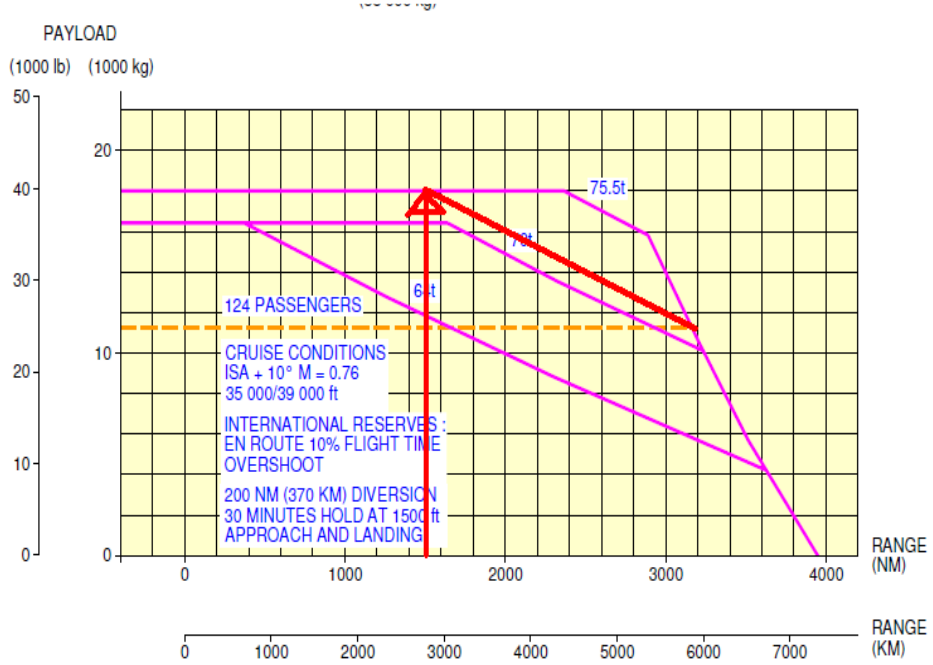



Figura 5.12

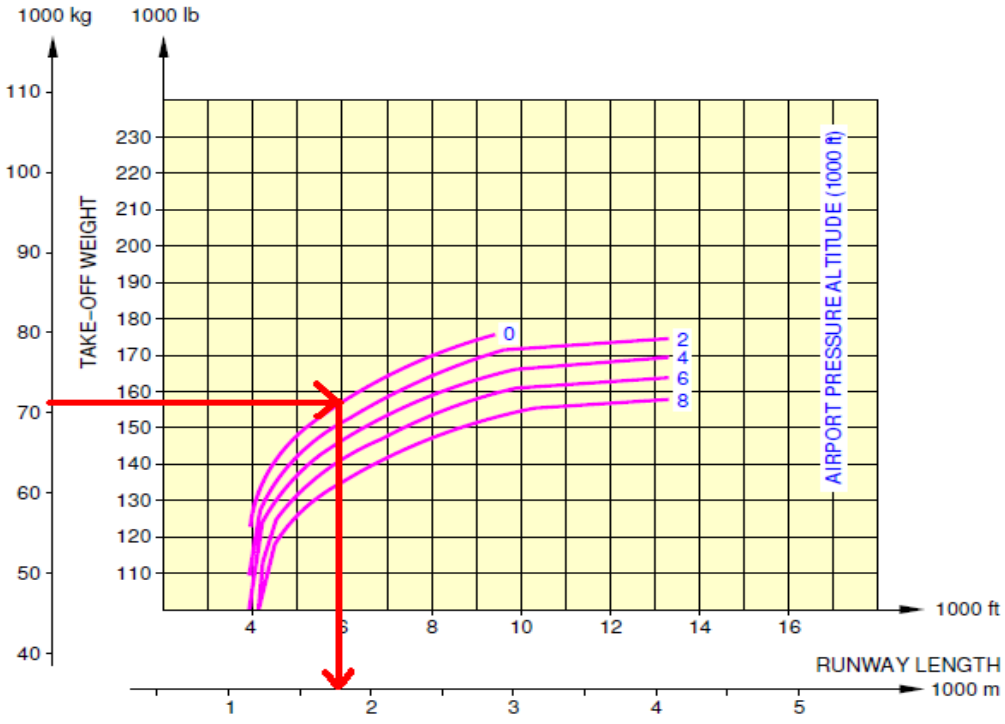



Figura 5.13

## ✈ A-320

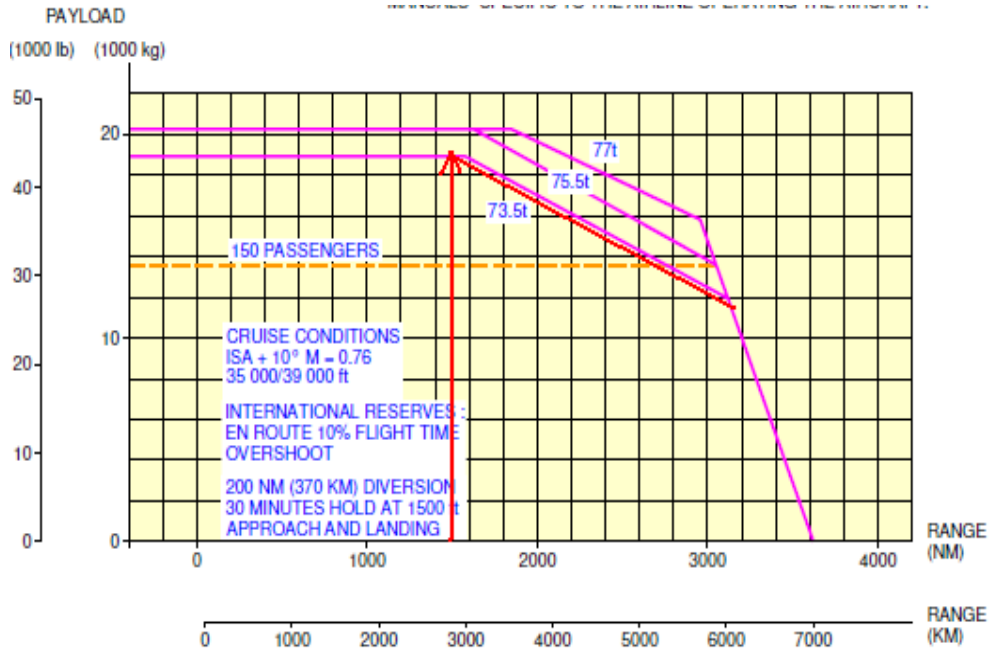



Figura 5.14

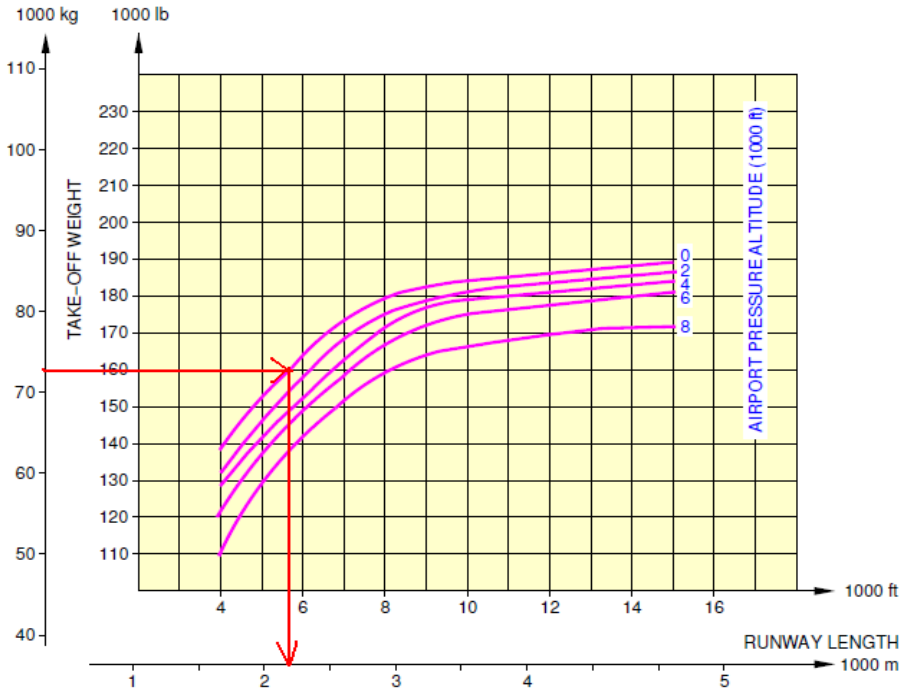



Figura 5.15

## ✈ A-321

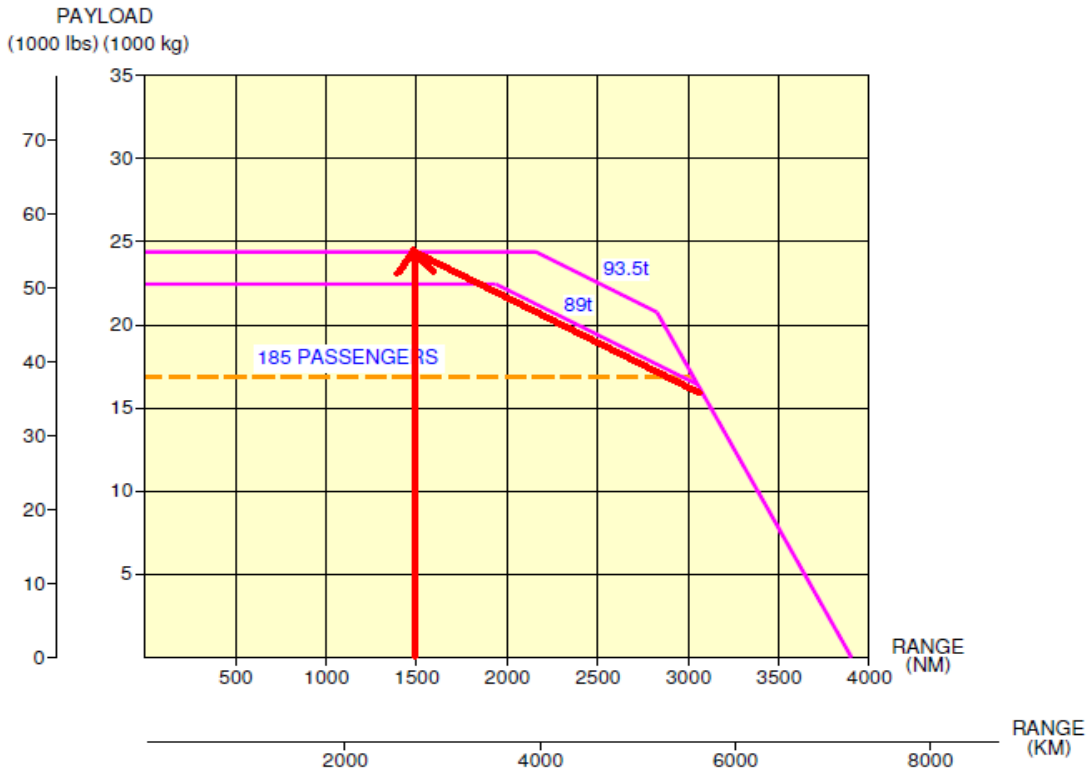



Figura 5.16

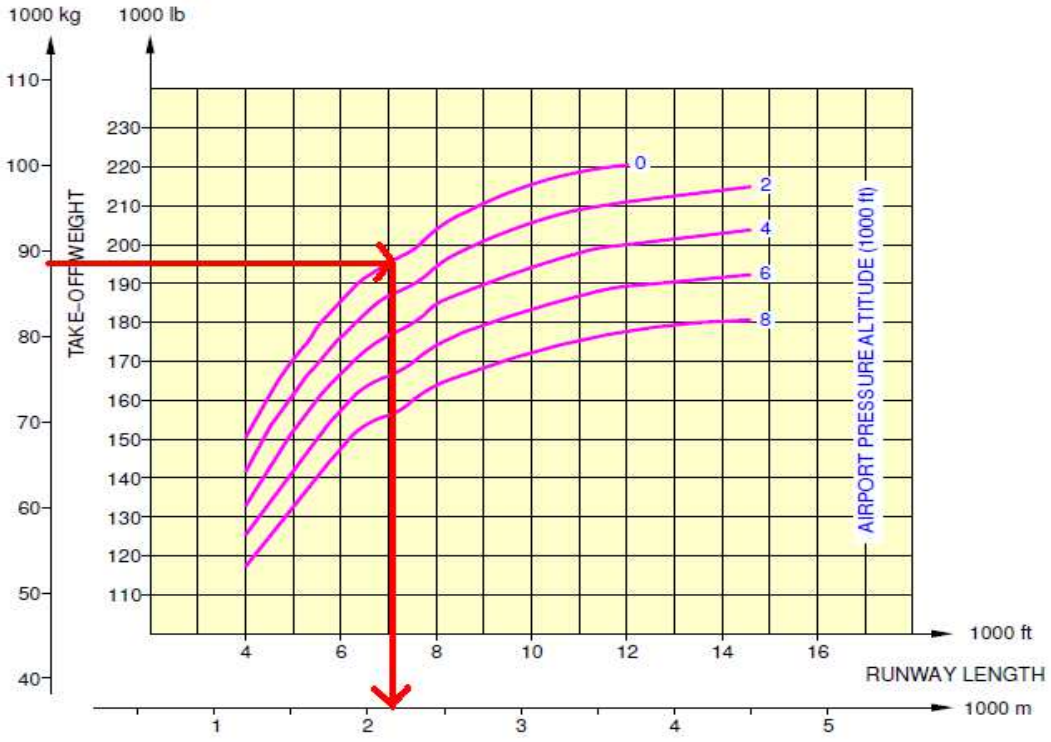



Figura 5.17

Los resultados han sido recogidos en la siguiente tabla:

| Aeronave[10] | TOW (Kg) | TORL estándar (m) | TORL corregida (m) |
|---|---|---|---|
| B 737 -800 | 75.400 | 2.075 | 2.880 |
| A-319 | 71.000 | 1.829 | 2.539 |
| A-320 | 73.000 | 1.707 | 2.370 |
| A-321 | 88.300 | 2.150 | 2.985 |

Tabla 5.11

Se puede apreciar como la aeronave que más longitud de pista requiere para el despegue es el A-321 con 2.985 m.

### ✈ ***ATERRIZAJE***

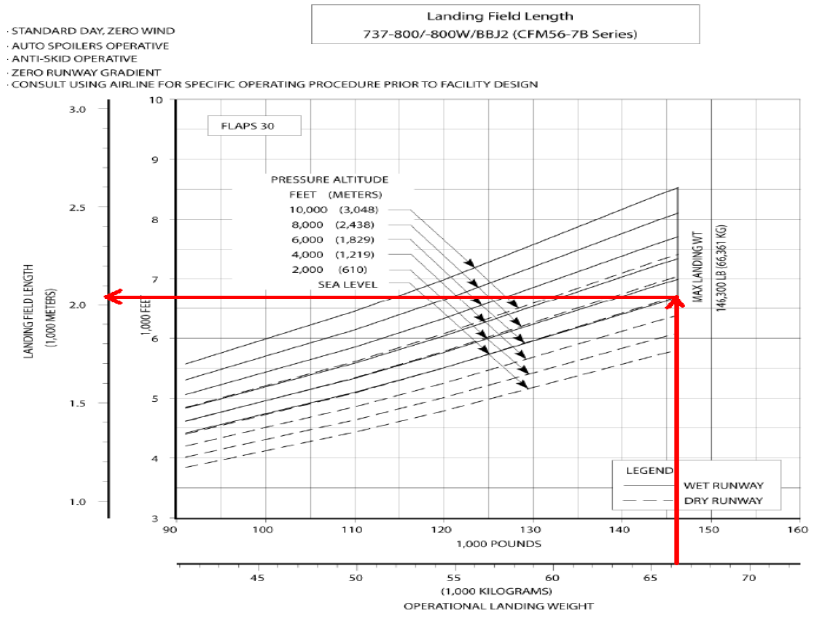
En lo que respecta al aterrizaje, según las indicaciones y recomendaciones de la Parte 1 del *Manual de Diseño de Aeródromo* de OACI y de la *Advisory Circular 150/5325-4B* de la FAA, se han considerado las siguientes hipótesis de partida:

| | |
|---|---|
| Carga de pago | Máxima carga de pago (MPL) |
| Factores de corrección a considerar | Corrección por elevación de aeródromo |
| Alcance de cálculo | 1.500 NM |
| Estado superficial de la pista | Pista mojada |

Tabla 5.12

De igual forma que se procedió para el caso de despegue, se han calculado las distancias requeridas para el aterrizaje utilizando nuevamente los Airport Planning de las citadas aeronaves. En este caso se ha considerado que las aeronaves realizan el aterrizaje con el máximo peso permitido para dicha fase, esto es el MLW.

#### ✈ **B-737-800**




[10] La motorización considerada para todas las aeronaves ha sido CFM 56.

Figura 5.18

## ✈ A-319

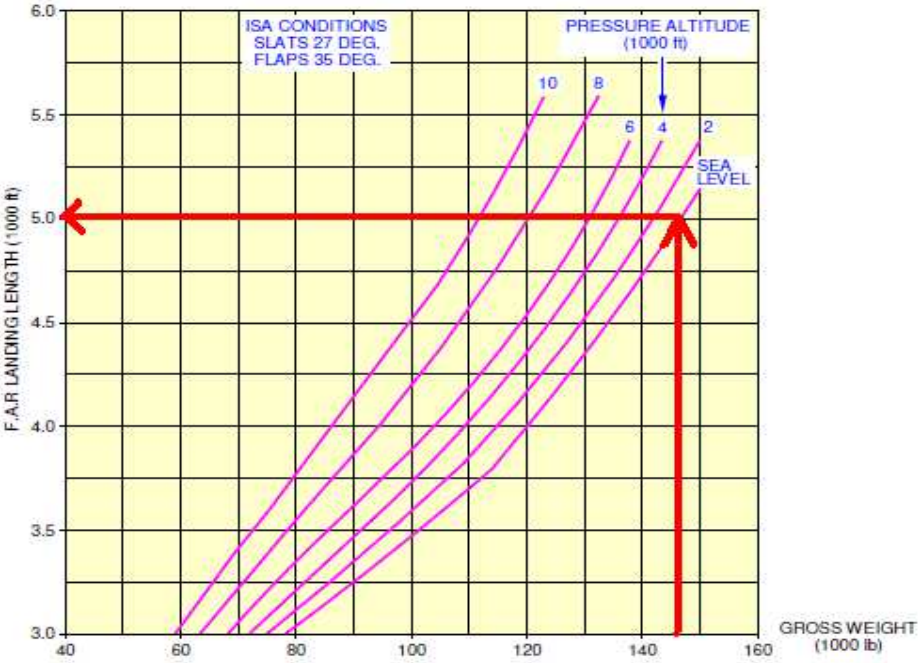



Figura 5.19

## ✈ A-320

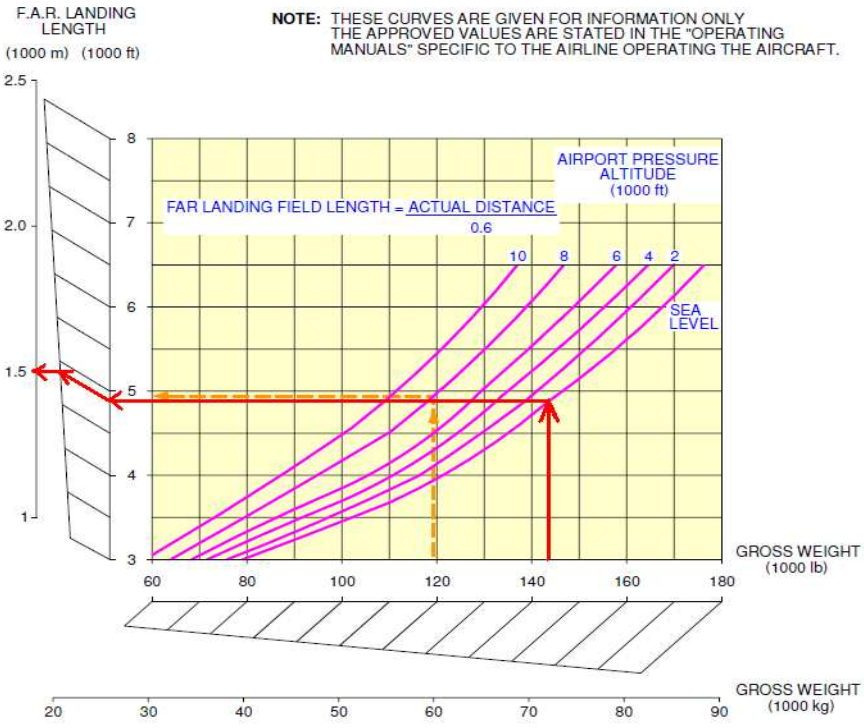


Figura 5.20

✈ **A-321**

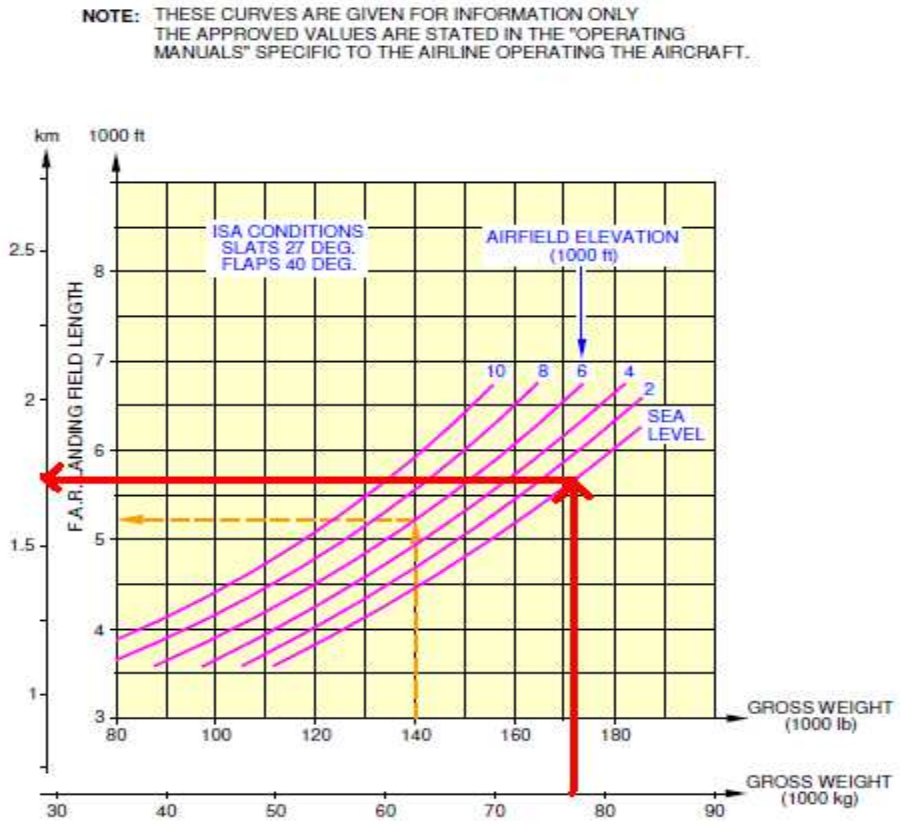



Figura 5.21

Los resultados se muestran a continuación:

| Aeronave[11] | MLW (Kg) | LDA estándar (m) | LDA corregida (m) |
|---|---|---|---|
| B 737 -800 | 66.361 | 2.040 | 2.240 |
| A-319 | 62.500 | 1.524 | 1.674 |
| A-320 | 64.500 | 1.500 | 1.647 |
| A-321 | 77.800 | 1.700 | 1.867 |

Tabla 5.13

En este caso, la aeronave más crítica es el B 737-800, el cual requiere una distancia de 2.240 metros. Nótese que dicha distancia es bastante inferior que las calculadas en el caso de despegue. Por tanto, desde el punto de vista de diseño de la longitud de pista, se concluye que la fase de despegue es la operación más crítica.

## Transporte de Mercancías

Hasta ahora, todos los cálculos que se han realizado para determinar la longitud de pista, han estado basados en aeronaves típicas de transporte de pasajeros. Sin embargo, el transporte aéreo de mercancías, que ya había sido mencionado en el capítulo 3

[11] La motorización considerada para todas las aeronaves ha sido CFM 56.

*"Justificación del aeropuerto y análisis de alternativas de ubicación"*, podría constituir una importante fuente de ingresos para el futuro aeropuerto de Antequera. Este tipo de transporte se ve claramente favorecido además por la posición estratégica de Antequera dentro del panorama andaluz, la existencia de un centro logístico en el municipio, así como de las buenas comunicaciones terrestres existentes entre Antequera y las principales capitales de provincia.

Todo ello, hace necesario considerar que en el futuro aeropuerto van a operar, presumiblemente, aeronaves de transporte. Por tanto, lo que se pretende en este punto es comprobar que la longitud de pista estimada anteriormente es suficiente para permitir la operación de aeronaves de transporte de mercancías. Para ello, se considerará una aeronave bastante utilizada en este tipo de labores, y unos posibles destinos de la mercancía (aeropuertos destinos u origen de la carga). Como aeronave de diseño se ha considerado el Boeing 767-300 (en su configuración de carguero), y como posibles destinos de la carga figuran todos los aeropuertos españoles, destacando entre ellos Barajas (Madrid) y El Prat (Barcelona); Heathrow (Londres), Schiphol (Amsterdan) y Francfort. De los mencionados aeropuertos, el que se encuentra más alejado de Antequera es Schiphol, exactamente a 996,4 NM, por tanto, a efectos de cálculo se considerará un alcance de la aeronave de 1.000 NM.

A continuación se muestran datos del B 767-300 así como los cálculos realizados con las gráficas del Airport Planning del mismo:

- Datos aeronave

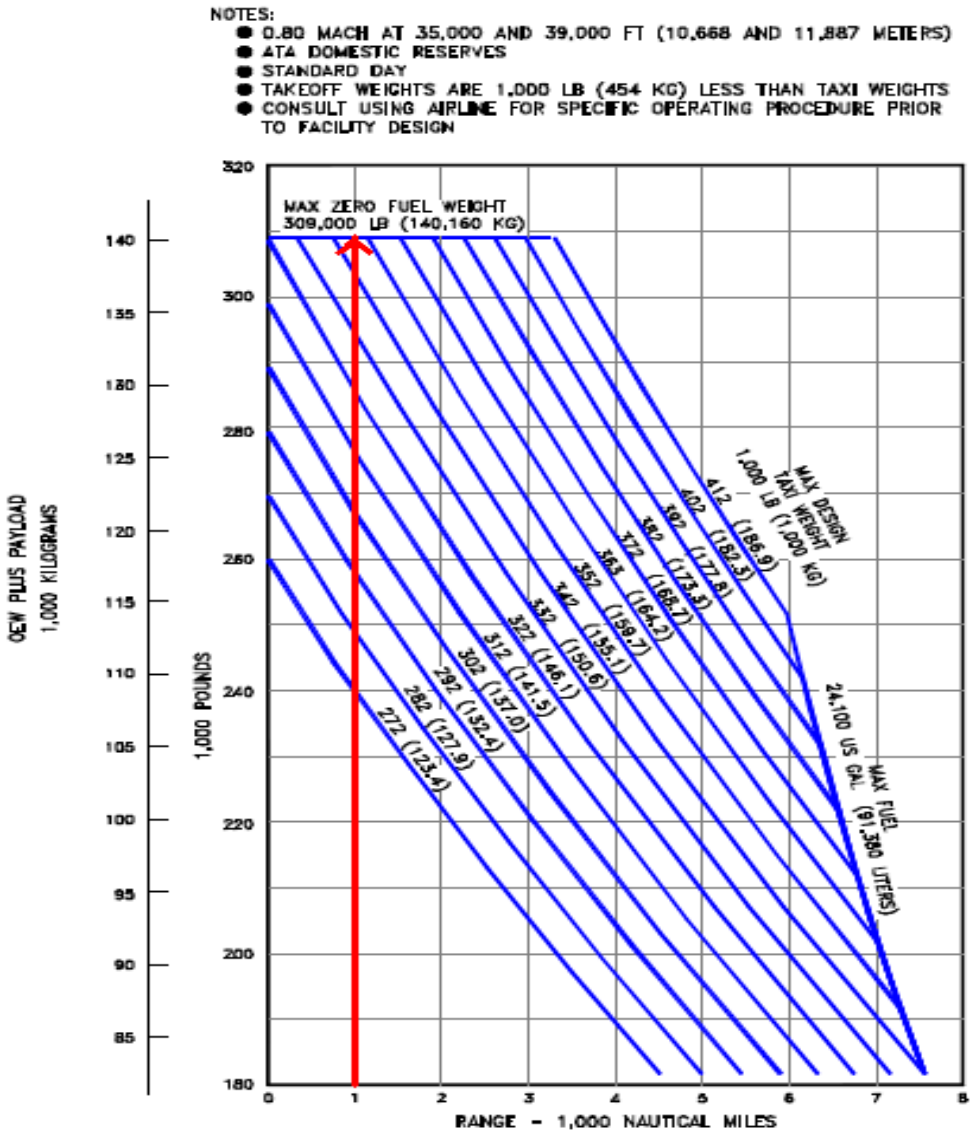
| Aeronave | Motorización | MTOW (Kg) | OEW (Kg) | MPL (Kg) | MLW (Kg) |
|---|---|---|---|---|---|
| B 767 -300 Freighter | CF6-80C2F | 185.066 | 85.275 | 54.885 | 147.871 |

Tabla 5.14

- Cálculos para el caso de despegue

  En este caso se ha considerado que el peso de despegue de la aeronave (TOW) es la suma de tres componentes: el OEW, la MPL y la carga de combustible necesaria para cubrir una distancia de 1.000 NM. Dicho valor de TOW se obtiene interpolando, entre los valores que proporcionan las curvas del diagrama alcance-carga de pago (curvas oblicuas), el punto intersección de la recta horizontal de máxima carga de pago con la recta vertical correspondiente a un alcance de 1.000 NM.

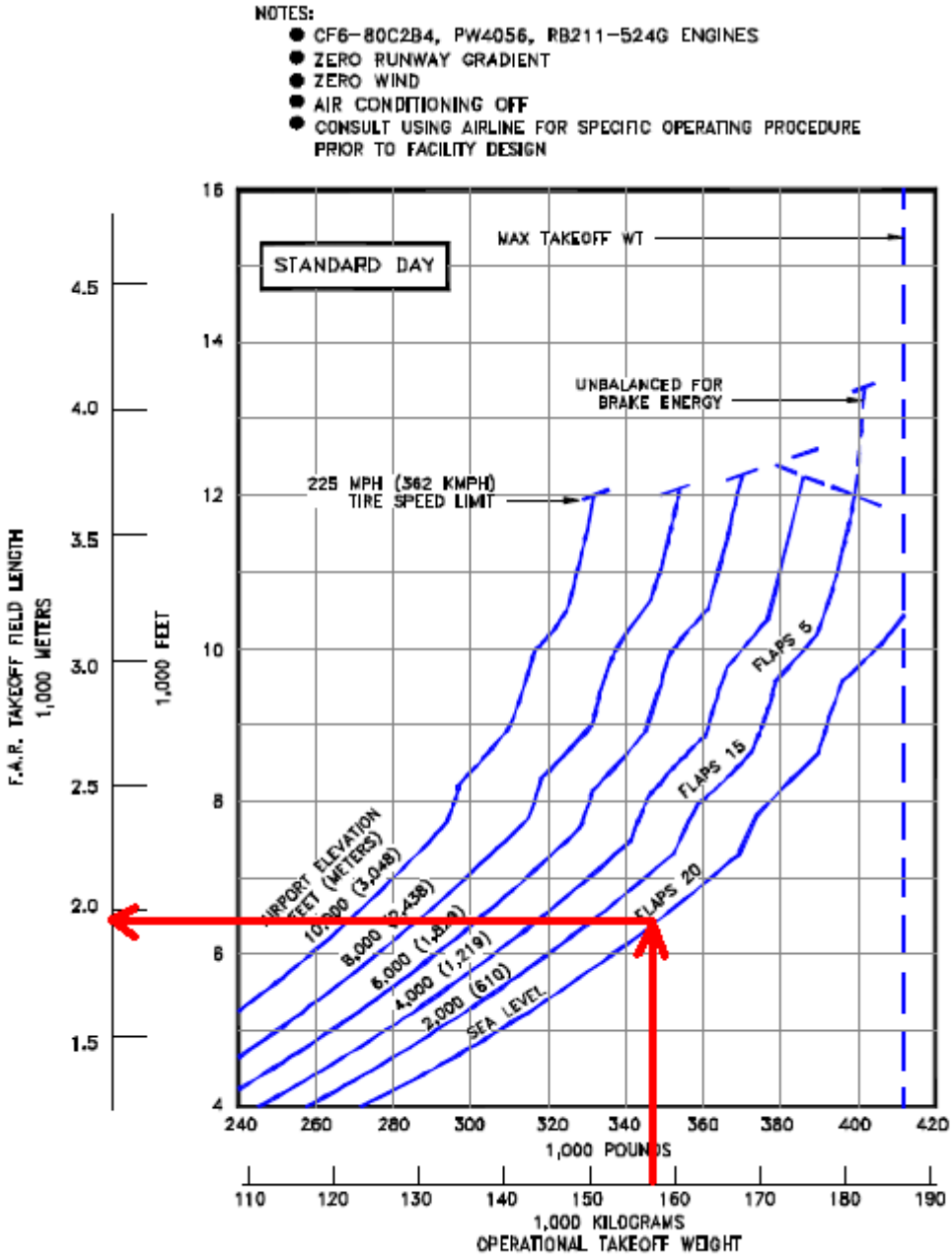
  Todo ello se puede apreciar con mayor claridad en las siguientes figuras:




**3.2.7 PAYLOAD/RANGE FOR LONG-RANGE CRUISE**

*MODEL 767-300 FREIGHTER (CF6-80C2B7F1 ENGINES)*

Figura 5.22




3.3.13 F.A.R. TAKEOFF RUNWAY LENGTH REQUIREMENTS - STANDARD DAY

*MODEL 767-300ER, -300 FREIGHTER (CF6-80C2B4, PW4056, RB211-524G ENGINES)*

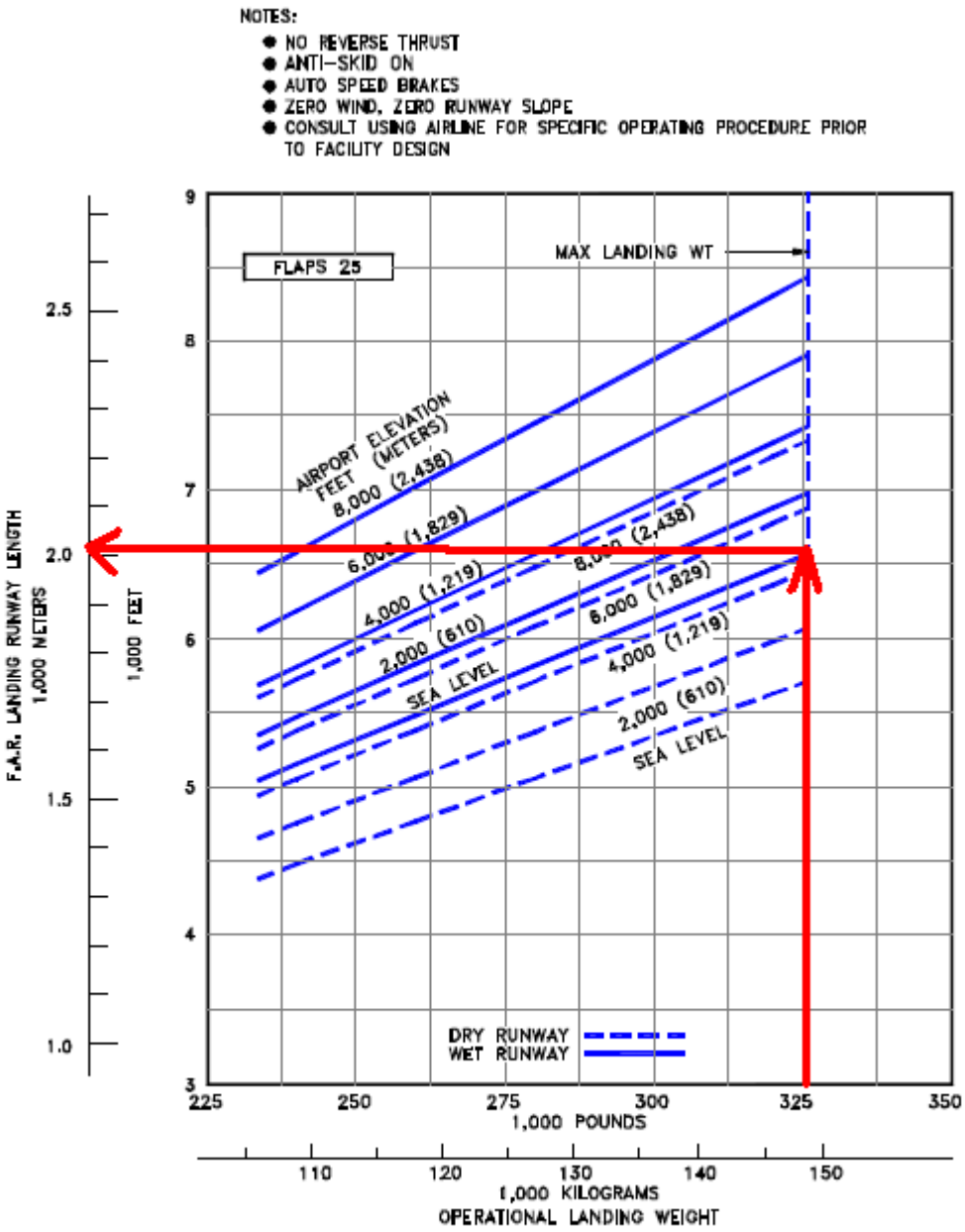
Figura 5.23

| Aeronave | TOW (Kg) | TORL estándar (m) | TORL corregida (m) |
|---|---|---|---|
| B 767 -300 Freighter | 157.400 | 1.970 | 2.735 |

Tabla 5.15

- Cálculos para el caso de aterrizaje.

  Se han supuesto las mismas hipótesis de cálculo que en el caso de las aeronaves comerciales, esto es, máximo peso en aterrizaje de la aeronave (MLW), pista mojada y corrección por elevación de la longitud estándar calculada.




3.4.7 FAA LANDING RUNWAY LENGTH REQUIREMENTS - FLAPS 25

*MODEL 767—300 FREIGHTER*

Figura 5.24

| Aeronave | MLW (Kg) | LDA estándar (m) | LDA corregida (m) |
|---|---|---|---|
| **B 767 -300 Freighter** | **147.871** | **2.010** | **2.206** |

Tabla 5.16

Al igual que ocurría con las aeronaves comerciales, la operación de despegue es la más crítica para el caso del B 767-300 Freighter. Como se puede apreciar, éste requiere una distancia de 2.735 m, esto es, 250 m menos que la distancia requerida por la aeronave comercial crítica, el A-321. En consecuencia, se puede garantizar que el B 767-300 puede realizar las operaciones de despegue y aterrizaje con suficiente margen de seguridad.

#### *5.1.3.5 Conclusiones*

Una vez analizados todos los diferentes escenarios de explotación propuestos para el futuro aeropuerto de Antequera, se concluye que la mayor longitud de pista requerida es de 2.985 m. Dicha distancia es requerida por un Airbus A-321 que despega con la máxima carga de pago y con la carga de combustible necesaria para cubrir una distancia 1.500 NM.

Ahora bien, dado que el porcentaje de operaciones del A-321 en los aeropuertos analizados es del 5%, valor muy por debajo del 33 % que posee el B-737-800, se ha considerado como aeronave comercial crítica en la fase de despegue la segunda que más distancia requería, que era el citado B-737-800. Por tanto, se considerará como longitud de pista la determinada para el B-737-800. Dicha distancia era de 2.880 metros aunque para cálculos posteriores será redondeada a **2.900 metros**.

## 5.2 CALLES DE RODAJE

### 5.2.1 INTRODUCCIÓN

La máxima utilización de la capacidad y eficacia de un aeródromo sólo puede conseguirse logrando un equilibrio apropiado entre las necesidades relativas a pistas, terminales para pasajeros y mercancías; y áreas de aparcamiento y servicio de aeronaves. Estos elementos funcionales de aeródromo separados y distintos están enlazados por el sistema de calles de rodaje. Por lo tanto, los componentes del sistema de calles de rodaje sirven para establecer el enlace con las funciones del aeródromo y son necesarios para alcanzar la utilización óptima del mismo.

El diseño del sistema de calles de rodaje debería ser tal que redujera al mínimo las restricciones a los movimientos de aeronaves entre las pistas y las plataformas. En un sistema con el diseño adecuado debería mantenerse un flujo uniforme y continuo del tráfico de aeronaves en tierra a la velocidad máxima factible con un mínimo de aceleración o desaceleración. Este requisito garantiza que el sistema de calles de rodaje funcionará con los más elevados grados tanto de seguridad como de eficacia.

Como bien es sabido, las pistas y calles de rodaje constituyen el sistema menos flexible del aeródromo y, por lo tanto, deben tenerse en cuenta en primer lugar cuando se planifica la construcción de un aeropuerto. Los pronósticos sobre las actividades futuras deberían identificar las variaciones en el ritmo de los movimientos de aeronaves, la modalidad del tráfico, el tipo de aeronaves y otros factores que inciden en la configuración y las dimensiones de los sistemas de pistas y calles de rodaje. Debería tenerse cuidado de que la atención que se preste a las necesidades actuales

del sistema no haga que se descuiden las etapas ulteriores de desarrollo, que tienen igual o mayor importancia.

### 5.2.2 NORMATIVA APLICABLE

Todos los conceptos, fórmulas, ecuaciones y recomendaciones que han sido empleados para la realización de este punto se han extraído de los siguientes manuales y regulaciones:

- Manual de Planificación de Aeropuertos, Doc. 9184-AN 1902 Parte 1, OACI
- Manual de diseño de Aeródromos, Parte 2, Calles de rodaje, plataformas y apartaderos de espera.
- AC 150 5060-5 Capacity and Delay, FAA

A continuación se va a comentar algunos de los aspectos más destacados:

✈ **Principios de planificación.**

Al planificar la configuración general del sistema de calles de rodaje, deberían tenerse presentes los siguientes principios:

a) el trayecto descrito por las calles de rodaje debería conectar los diversos elementos del aeródromo utilizando las distancias más cortas, para reducir al mínimo el tiempo de rodaje y el coste;

b) el trayecto descrito por las calles de rodaje debería ser lo más sencillo posible, con objeto de evitar confundir al piloto y la necesidad de tener que dar instrucciones complicadas;

c) siempre que sea posible, deberían utilizarse tramos rectos de pavimento. Cuando los cambios de dirección sean necesarios, se diseñarán curvas con radio adecuado, así como superficies de enlace o calles de rodaje más anchas, a fin de permitir el rodaje a la máxima velocidad que sea posible.

d) debería evitarse que las calles de rodaje crucen las pistas u otras calles de rodaje, siempre que sea posible, en interés de la seguridad y para reducir la posibilidad de que ocurran demoras importantes en el rodaje.

e) las calles de rodaje deberían tener tantos tramos unidireccionales como sea posible, para reducir al mínimo los conflictos de tráfico de aeronaves y las demoras. Deberían analizarse los movimientos de aeronaves en los tramos de las calles de rodaje respecto a cada configuración en la que se utilizará la pista o pistas;

f) el sistema de calles de rodaje debería planificarse de modo que se logre la máxima vida útil de cada componente, a fin de que en las futuras etapas de ampliación se incluyan elementos del sistema existente.

g) en el fondo, un sistema de calles de rodaje funcionará únicamente con la eficacia de su componente menos adecuado. Por lo tanto, en la etapa de planificación deberían localizarse y eliminarse los posibles atrasos.

   En este sentido, debería existir un número suficiente de calles de rodaje de entrada y salida que sirvan a determinada pista para atender el tráfico más intenso de aeronaves que despeguen y aterricen en un momento dado. Deberían proyectarse y establecerse entradas y salidas suplementarias antes del aumento previsto en la utilización de las pistas.

- **Evaluación de variantes en la configuración de calles de rodaje.**

Toda evaluación de variantes de sistemas de calles de rodaje debe encaminarse hacia la eficacia de funcionamiento de cada sistema conjuntamente con las configuraciones de pistas y plataformas que haya de servir. Cuanto mayor sea la complejidad de la configuración de pistas, calles de rodaje y plataformas, tanto mayor será la posibilidad de reducir los costes de operación, efectuando una evaluación comparativa de otros sistemas de calles de rodaje. Con este fin, diversos consultores, explotadores de aeronaves y autoridades aeroportuarias han preparado modelos de simulación del movimiento del tráfico de aeronaves, sirviéndose de computadoras.

- **Etapas en la ampliación del sistema de calles de rodaje.**

Para reducir al mínimo los costes actuales de construcción, la complejidad del sistema de calles de rodaje de un aeródromo debería corresponder únicamente a las necesidades a corto plazo en cuanto a la capacidad de las pistas. Merced a una planificación cuidadosa, pueden ir agregándose progresivamente al sistema componentes suplementarios de calle de rodaje para responder al crecimiento del uso del aeródromo. La adición de calles de rodaje a una configuración de pistas aumenta la eficacia operacional del aeropuerto, ya que permite utilizar las pistas a su capacidad máxima. A continuación se comentan algunas pautas propuestas en este sentido.

a) Para obtener una instalación aeroportuaria mínima, se recomienda prever áreas de media vuelta a ambos extremos de la pista y una calle de rodaje corta que lleve a la plataforma.

b) Las calles de rodaje paralelas pueden justificarse cuando se prevea que, en el transcurso de cinco años, se realizará una de las siguientes condiciones.

   - Se hacen cuatro aproximaciones por instrumentos (aquéllas que se cuentan en relación con las aproximaciones por instrumentos anuales) durante la hora punta normal;

   - el total de movimientos anuales es de 50.000;

- los movimientos de paso de la hora punta normal alcanzan un total de 20; o

- el número de movimientos por hora (de paso y locales) equivale a lo siguiente:

  -30 movimientos por hora punta normal, respecto a las pistas utilizadas por más del 90% de aeronaves pequeñas, de las cuales menos del 20% hacen tomas de contacto-despegues; 40 movimientos por hora punta normal, de las cuales más del 20% son tomas de contacto-despegue (cada toma de contacto-despegue se considera como dos movimientos);

  -30 movimientos por hora punta normal, en el caso de las pistas que utilizan del 60 al 90% aeronaves pequeñas;

  -20 movimientos por hora punta normal, en el caso de las pistas que utilizan del 40 al 100% aeronaves grandes. Las calles de rodaje paralelas proporcionan ventajas en cuanto a la seguridad, además de aumentar la eficacia. Estas ventajas (en cuanto a la seguridad) no pueden evaluarse fácilmente. No obstante, estos criterios se basan en el desarrollo escalonado a partir de la construcción de las áreas de media vuelta. Si el codo de construcción de una calle de rodaje paralela no excede del costo de las áreas de media vuelta en más de un tercio, la calle de rodaje es preferible. Una calle de rodaje paralela parcial, o equivalente (como puede obtenerse con una pista secante), proporciona eficacia satisfactoria y seguridad a las operaciones aeronáuticas. En muchos casos, la capacidad suficiente puede obtenerse mediante la construcción de una calle de rodaje paralela parcial. Esta solución puede resultar particularmente conveniente cuando los costes de construcción son elevados. Por regla general, una paralela parcial se justifica económicamente cuando existen niveles de actividad que alcanzan el 60% de los valores especificados para una paralela completa. Si se prefiere firmemente una calle de rodaje parcial o completa en contraposición a un área de media vuelta, se puede prever una calle de rodaje si los movimientos actuales son de 20.000 por año, si no existen áreas de media vuelta y si el coste es menor que la mitad de los costes medios.

c) Las calles de salida aparte del trazado básico de una salida en cada uno de los extremos de pista y otra entre los mismos, se justifican generalmente si se prevé que la demanda excederá del 40% de la capacidad de la pista, siempre que los costes de la calle de rodaje sean medios, y del 75% de la capacidad si los costes son elevados. Habría que prever un número suficiente de salidas, de modo que no se requieran salidas adicionales en el transcurso de los cinco años siguientes a partir de acabadas las obras de construcción.

### 5.2.3 CONFIGURACIONES PROPUESTAS. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN MÁS ADECUADA.

Teniendo en cuenta todo lo comentado anteriormente, se ha considerado tres configuraciones de calles de rodaje que, a priori, se estima que cubriría holgadamente las previsiones de demanda hasta el horizonte uno, que recordemos era el año en el que se alcancen los 600.000 pasajeros.

1) La primera de las configuraciones consiste en dotar a la pista de vuelos con plataformas de media vuelta tanto en la cabecera 19 como en la cabecera 01. La unión entre pista y plataforma de estacionamiento se realizará a través de una calle de rodaje cuyas dimensiones se calcularían teniendo en cuenta todos los requisitos establecidos por los manuales de diseño de OACI. La unión sería en el punto medio de la pista.

   El hecho de colocar una calle de media vuelta en la cabecera 19 tiene su explicación en que se ha supuesto que el sentido más empleado para las operaciones de aterrizaje será el que va desde la cabecera 01 a la 19. Del mismo modo, la mayor parte de las operaciones de despegue se harán en el sentido que va desde la cabecera 19 a la 01. Ello es debido porque más del 90 % de los vuelos van/proceden a/de ciudades europeas, situadas al norte de Antequera.

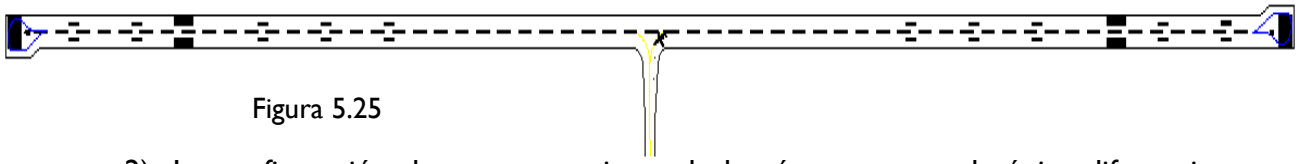


Figura 5.25

2) La configuración dos es una variante de la número uno, y la única diferencia estriba en colocar la salida de pista a una distancia adecuada desde el umbral preferente de aterrizaje (Cabecera 01) para que la mayor parte de las aeronaves usuarias de la pista, que recordemos eran de categoría C, puedan salir a una velocidad adecuada y segura. De esta manera, el tiempo de ocupación de pista disminuiría al menos en las operaciones de aterrizaje que empleen el sentido 01 a 19. Igualmente, las operaciones de despegue en el sentido 19 a 01 también se agilizarían. Ahora bien, si las operaciones se realizaran en sentido contrario al habitual, los tiempos de ocupación de pista se incrementarían notablemente.

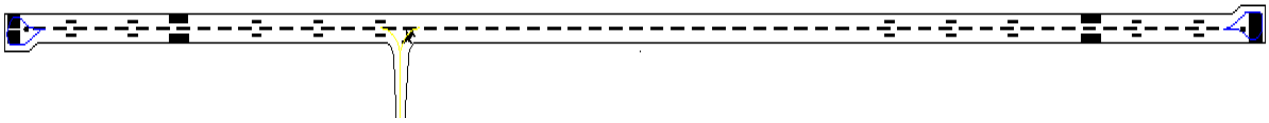


Figura 5.26

3) La configuración número tres consiste en construir una calle de rodaje paralela parcial que conectaría la cabecera 19 con la plataforma. Así mismo, se construiría una plataforma de viraje en la cabecera 01 y se conectarían el punto medio de la pista con la plataforma con otra calle de rodaje, al igual que en la configuración uno.

Las razones principales de tener en cuenta esta calle de rodadura parcial son la seguridad operacional así como la mejora sustancial que produce en la capacidad aeroportuaria.

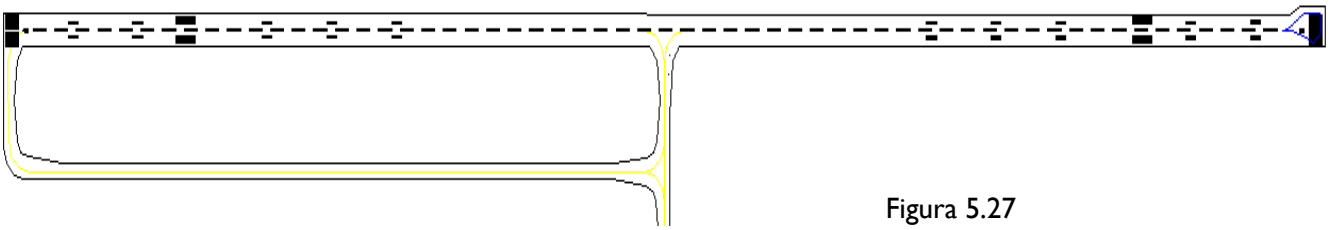


Figura 5.27

A continuación se va a realizar un cálculo estimativo de los tiempos de ocupación de pista de aeronaves pequeñas (categorías A y B) y de aeronaves de tamaño medio-grande (categorías C y D). Para ello, se han realizado una serie de consideraciones e hipótesis que se comentan brevemente:

- Para calcular el tiempo de aterrizaje, primero se han estimado las distancias cubiertas por las aeronaves en dicha operación. Para esto último, se ha usado el método de los tres segmentos con el que la distancia total S se calcula como la suma de tres segmentos:

A) Segmento 1: distancia requerida desde el umbral de aterrizaje al punto de toma de contacto del tren de aterrizaje principal (S1). Para aeronaves categoría A o B se ha supuesto una distancia de 200 m y para aeronaves categoría C y D, 450 metros.

B) Segmento 2: distancia requerida desde la transición del punto de toma de contacto del tren de aterrizaje principal a fin de establecer la configuración de frenado estabilizado (S2). La expresión para determinarla es:

$$S_2 = 5 \times (V_{th} - 10)$$

Donde $V_{th}$ es la velocidad de umbral, estimada como 1,3 veces la velocidad de entrada en pérdida de la aeronave (suponiendo además que su masa en ese momento es igual al 85% de la masa máxima de aterrizaje).
(Velocidad en nudos)

C) Segmento 3: distancia requerida para la desaceleración en un modo de frenado normal hasta una velocidad nominal de salida de pista (S3). La ecuación para calcularla es:

$$S_3 = \frac{(V_{th}-15)^2 - {V_{exit}}^2}{8a}$$

donde "a" es la deceleración media y $V_{exit}$ es la velocidad de salida de la aeronave en nudos. Se ha considerado un régimen de deceleración de 1.5 m/s$^2$, un valor operacional realista para el frenado en superficies de pista mojada.

-Teniendo en cuenta la clasificación que realiza el Manual de Diseño de Aeródromos, (parte 2) sobre la velocidad de las aeronaves en el umbral de pista, se ha supuesto que las aeronaves pequeñas pasan a una velocidad media de 110 nudos sobre el umbral, mientras que las aeronaves grandes lo hacen a 140 nudos.

-Así mismo, se ha considerado que la velocidad de salida de las aeronaves sea cual sea su clase es de unos 24 Km/h (13 nudos) puesto que la calle de salida forma 90 grados con la pista, por tanto, esta sería la velocidad a alcanzar al final de la operación de aterrizaje.

-En cuanto a la determinación de los tiempos empleados en cada trayecto y los de ocupación de pista, se ha supuesto que los tramos $S_1$ y $S_2$ se hacen a velocidad constante, mientras que el $S_3$ es uniformemente decelerado. El tiempo empleado se ha calculado como sigue:

$$\Delta t_1 = \frac{S_1}{(V_{th} - 2{,}5)\times 0{,}514}$$

$$\Delta t_2 = \frac{S_2}{(V_{th} - 10)\times 0{,}514}$$

$$\Delta t_3 = \frac{-(V_{th} - 15)\times 0.514 + \sqrt{[(V_{th} - 15)\times 0.514]^2 + 2aS_3}}{a}$$

En la siguiente tabla se muestran las distancias y tiempos estimados para ambas categorías de aeronaves:

| | | | Distancia en metros | | | | Tiempo en segundos | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $V_{th}$(nudos) | $V_{exit}$ (nudos) | $S_1$ | $S_2$ | $S_3$ | $S_T$ | $\Delta T_1$ | $\Delta T_2$ | $\Delta T_3$ | $\Delta T_T$ |
| **Aeronaves grandes** | 140 | 13 | 450 | 650 | 1288 | 2.388 | 6,3 | 9,7 | 32,0 | 48,0 |
| **Aeronaves pequeñas** | 110 | 13 | 200 | 500 | 738 | 1.438 | 3,6 | 9,7 | 23,8 | 37,1 |

Tabla 5.17

De esta manera, se ha estimado que las aeronaves grandes emplearán un tiempo medio de 48 segundos en aterrizar mientras que las pequeñas unos 38 segundos. No obstante, estos tiempos no son los de ocupación de pista, ya que habrá que añadir el tiempo empleado en recorrer la pista hasta alcanzar la salida. Dependiendo de la configuración propuesta de calles de rodaje, algunas aeronaves saldrán directamente de la pista porque encontrarán la salida justo delante, mientras que otras tendrán que recorrer toda la pista para llegar a la cabecera, dar la vuelta (se ha considerado que en dicha maniobra se necesitan unos 10 segundos para realizarla) y volver hasta encontrar la salida. Ello obviamente incrementará notablemente el tiempo de ocupación. Por lo tanto, el sentido de operación influirá.

A continuación se muestra una tabla con los tiempos de ocupación estimados para cada una de las configuraciones propuestas y para cada tipo de aeronave. Se ha considerado una velocidad de circulación por la pista de 20 nudos (37 Km/h) y para los tiempos de despegue, se ha supuesto que son del mismo orden que los de aterrizaje. La salida a 90 grados en la configuración número dos se encuentra situada a 2.500 metros de la cabecera 01.

| Configuración | Tipo aeronave | Sentido operación | Operación de aterrizaje | Operación de despegue | Tiempo máximo ocupación de pista |
|---|---|---|---|---|---|
| Configuración 1 | Aeronave pequeña | De Cab. 01 a Cab. 19 | 39 seg | 190 seg | 245 seg |
| | | De Cab. 19 a Cab. 01 | 39 seg | 190 seg | |
| | Aeronave grande | De Cab. 01 a Cab. 19 | 245 seg | 200 seg | |
| | | De Cab. 19 a Cab. 01 | 245 seg | 200 seg | |
| Configuración 2 | Aeronave pequeña | De Cab. 01 a Cab. 19 | 142 seg | 293 seg | 436 seg |
| | | De Cab. 19 a Cab. 01 | 436 seg | 87 seg | |
| | Aeronave grande | De Cab. 01 a Cab. 19 | 59 seg | 303 seg | |
| | | De Cab. 19 a Cab. 01 | 353 seg | 98 seg | |
| Configuración 3 | Aeronave pequeña | De Cab. 01 a Cab. 19 | 39 seg | 190 seg | 256 seg |
| | | De Cab. 19 a Cab. 01 | 39 seg | 38 seg | |
| | Aeronave grande | De Cab. 01 a Cab. 19 | 99 seg | 206 seg | |
| | | De Cab. 19 a Cab. 01 | 256 seg | 48 seg | |

Tabla 5.18

Los resultados muestran que la configuración que genera menores tiempos de ocupación es la número tres. Dicha configuración permite a las aeronaves de clase A y B, salir de pista casi de manera inmediata, pues se encuentran una salida a 90 grados situada aproximadamente a 1.450 m del umbral de aterrizaje. Por otra parte, las aeronaves de mayores dimensiones y con mayores requerimientos de distancia de aterrizaje, pueden salir por la cabecera 19. Todo esto es suponiendo que el sentido preferente de operación es de 01 a 19, en aterrizaje. Así, el máximo tiempo empleado en dicha configuración sería de 256 segundos y el mínimo unos 38 segundos, lo que permitiría a la pista tener una capacidad que oscilaría entre 94 ops/ hora en el caso más favorable (suponiendo que todas las aeronaves son pequeñas) y 14 ops/hora en el más desfavorable (suponiendo que todas las aeronaves son de gran calado). No obstante, la adición de una calle de rodadura parcial incrementaría notablemente los costes de construcción y dado que los niveles de tráfico esperados para el horizonte inicial no superarán las 8 operaciones en hora punta se va a adoptar como

configuración de partida la **configuración número 1,** dejando la configuración 3 para posteriores etapas de desarrollo.

## 5.3 PLATAFORMA DE ESTACIONAMIENTO DE AERONAVES.

### 5.3.1 INTRODUCCIÓN.

La plataforma se define como una zona en la parte aeronáutica de un aeropuerto cuyo propósito es recibir aeronaves para carga y descarga de pasajeros, correspondencia o mercancías, reabastecimiento, estacionamiento o mantenimiento. La plataforma está relacionada con el (los) edificio(s) terminal(es), por lo tanto, se la debe planificar en conexión con dicho(s) edificio(s), con el propósito de que represente una solución óptima.

### 5.3.2 NORMATIVA APLICABLE

Todos los conceptos y recomendaciones que han sido empleados para la realización de este punto han sido extraídos de los siguientes manuales y regulaciones:

- Manual de Planificación de Aeropuertos, Doc. 9184-AN 1902 Parte 1, OACI
- Manual de diseño de Aeródromos, Parte 2, Calles de rodaje, plataformas y apartaderos de espera.

A continuación se va a comentar algunos de los aspectos más destacados:

- **Requisitos de diseño:** El diseño de cualquiera de los diversos tipos de plataformas exige la evaluación de numerosas características relacionadas entre sí y a menudo contradictorias. A pesar de las distintas finalidades de los diferentes tipos de plataformas, numerosas características generales del diseño relacionadas con la seguridad, eficacia, configuración geométrica, flexibilidad e ingeniería son comunes a todos los tipos.

  a) *Seguridad operacional:* Al diseñarse una plataforma deberían tenerse en cuenta los procedimientos de seguridad operacional relativos a las aeronaves que realizan maniobras en la misma. La seguridad operacional en este contexto entraña que las aeronaves mantengan las distancias libres especificadas y sigan los procedimientos establecidos para entrar en las áreas de plataformas, desplazarse dentro de las mismas y salir de ellas.

  b) *Eficacia:* El diseño de la plataforma debería contribuir a un elevado grado de eficacia en los movimientos de las aeronaves y en el suministro de servicios en la plataforma. La libertad de movimiento, las distancias de rodaje mínimas y la mínima demora en la iniciación de los movimientos de las aeronaves en la plataforma son medidas de la eficacia de cualquiera de los tipos de plataformas.

c) *Configuración geométrica:* La planificación y el diseño de cualquier tipo de plataforma dependen de diversas consideraciones geométricas. La superficie total que se necesita para el establecimiento de plataformas no sólo depende del tamaño de las aeronaves, las distancias libres y el método de estacionamiento, sino también de la disposición geométrica de las calles de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves, de otras calles de rodaje, barreras contra el chorro, zonas utilizadas para estacionamiento de vehículos de servicio y caminos utilizados para el desplazamiento de los vehículos.

d) *Flexibilidad:* Un sistema flexible de plataformas permite la ampliación para satisfacer necesidades futuras, lo que constituye otro elemento esencial. A fin de no impedir el crecimiento de determinada zona de plataformas, la plataforma debería proyectarse en etapas modulares, de modo que las etapas sucesivas sean partes integrantes que se añaden a la plataforma existente con la mínima interrupción de las actividades que se estén llevando a cabo.

✈ **Dimensiones de la plataforma:** El espacio necesario para un diseño determinado de plataforma depende de los siguientes factores:

a) la dimensión y las características relativas a las maniobras de la aeronave que utilice la plataforma. Antes de diseñar detalladamente la plataforma convendría conocer la dimensión y maniobrabilidad de la combinación de aeronaves que se prevé habrán de utilizarla.

b) el volumen de tráfico que utilice la plataforma. El número y las dimensiones de los puestos de estacionamiento de aeronaves necesarios para cualquier tipo de plataforma pueden determinarse a partir de los pronósticos de los movimientos de aeronaves en un aeródromo dado. El pronóstico de la actividad en una plataforma debe desglosarse en un período apropiado de planificación de la demanda para el tipo de plataforma de que se trate. No es preciso que se diseñe la plataforma para períodos extraordinarios de actividad intensa, si bien debería poder atender un período razonable de actividad intensa en la menor demora posible.

c) requisitos en cuanto a distancias libres. Un puesto de estacionamiento de aeronaves debería proporcionar las siguientes distancias libres mínimas entre las aeronaves, así como entre éstas y los edificios adyacentes u otros objetos fijos.

| *Lista de clave* | *Distancia libre (m)* |
|---|---|
| A | 3,0 |
| B | 3,0 |
| C | 4,5 |
| D | 7,5 |
| E | 7,5 |
| F | 7,5 |

Figura 5.28

Así mismo, el emplazamiento de las calles de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves y las calles de rodaje en la plataforma debería permitir una separación entre el eje de estas calles de rodaje y las aeronaves en el puesto de estacionamiento:

| | *Separación mínima* | |
|---|---|---|
| *Letra de clave* | *Entre el eje de una calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves y un objeto (m)* | *Entre el eje de una calle de rodaje en la plataforma y un objeto (m)* |
| A | 12,0 | 16,25 |
| B | 16,5 | 21,5 |
| C | 24,5 | 26,0 |
| D | 36,0 | 40,5 |
| E | 42,5 | 47,5 |
| F | 50,5 | 57,5 |

Figura 5.29

d) modalidad de entrada y salida del puesto de estacionamiento de aeronaves.

### 5.3.3 CONFIGURACIÓN INICIAL PROPUESTA

Teniendo en cuenta todas las recomendaciones y consideraciones incluidas en los manuales de diseño anteriormente enunciados se ha llegado a lo siguiente:

1) Dado que los volúmenes de tráfico previstos para el futuro aeropuerto de Antequera a corto y medio plazo son bajos, se ha considerado que los estacionamientos de las aeronaves serán remotos, por tanto no se hará uso de fingers. En lo que respecta al lado tierra, se ha optado por un edificio terminal lineal, una configuración bastante sencilla y relativamente fácil de ampliar.

2) Las aeronaves estacionarán en ángulo con la proa hacia afuera. Así mismo la entrada al estacionamiento lo harán de manera autónoma, sin necesidad de ser remolcadas por un tractor. De esta forma el aeropuerto se ahorra la adquisición de un tractor y todo lo que ello conlleva, esto es, formación a personal, mantenimiento, etc.

3) Se construirán dos plataformas distintas: una destinada a dar servicio a la aviación general y otra para la aviación comercial.

   Considerando que la mezcla de aeronaves que hará uso del futuro aeropuerto de Antequera será la misma que la que se determinó en el capítulo 4 "Previsión de la demanda", se habilitarán mayormente estacionamientos para aeronaves de categoría C, pues representan el 96,3% del total. No obstante también se habilitará un estacionamiento para aeronaves de categoría D. Con ello se daría servicio a las aeronaves de mercancías que pudiesen operar en el futuro aeropuerto (hay que recordar

que el B-767-300 Freighter, de categoría D, fue tenido en cuenta a la hora de estimar la longitud de pista como aeronave típica de mercancías).

| | Tipo | | |
|---|---|---|---|
| | A y B | C | D |
| Porcentaje | 2,5 % | 96,3 % | 1,2 % |

Tabla 5.19 Mezcla de aeronaves considerada

4) El número de estacionamientos que se habilitarán inicialmente será 7, de los cuales 6 darán servicio a aeronaves de categoría C y uno dará servicio a aeronaves de clave C ó D. Para llegar a este resultado se ha considerado el parámetro AHP en el horizonte inicial (su valor era 8 aeronaves), el tiempo de ocupación de los estacionamientos, así como la mezcla de aeronaves. Los valores supuestos han sido los siguientes:

| Tipos de aeronaves | Clase C | Clase D |
|---|---|---|
| Tiempo ocupación estacionamiento[12] | 45 min | 65 min |

Tabla 5.20

**$AHP_{Horizonte\ inicial}$=8 aeronaves**

Si suponemos el caso más desfavorable, esto es, que vengan 8 aeronaves y que la mezcla de aeronaves no cambiará significativamente, se estima que siete de las aeronaves serán de clase C y al menos una de clase D. Puesto que el tiempo de estacionamiento de las aeronaves de clase C es inferior a la hora, habrá algunos estacionamientos que podrían ser utilizados por otras. Por tanto, se tendrá lo siguiente:

$$N_{estac} = 7\frac{aeronaves\ clase\ C}{hora} \times 0{,}75\ horas + 1\frac{aeronave\ clase\ D}{hora} \times 1{,}08\ horas$$
$$= 6{,}33 \approx 7\ estacionamientos$$

5) Las dimensiones aproximadas de la plataforma comercial serán de 225x290 m

6) La plataforma de aviación general se construirá contigua a la comercial y contará inicialmente con 10 estacionamientos. La misma tendrá como misión dar soporte a empresas de formación de pilotos, empresas de fumigación, posibles aeroclubs que puedan constituirse tras la apertura al tráfico del futuro aeropuerto, o incluso para dar servicio a aeronaves de personas particulares.

La creación de más estacionamientos (y el consecuente crecimiento de la plataforma) vendrá determinado por la evolución de la demanda.

[12] Valores considerados tras consultar el Manual de Planificación de Aeropuertos, Parte 1