

ANEXO 9: DETERMINACIÓN DE LONGITUDES DE PISTAS



## 1. INTRODUCCIÓN

La longitud de pista se determina en condiciones de atmósfera standard, nivel del mar y pendiente nula; posteriormente se aplica el factor de corrección por temperatura y altitud correspondiente al aeropuerto de Madrid-Barajas. Los valores de altitud y temperatura de referencia del aeropuerto son los siguientes:

- √ Temperatura de referencia: 33°C
- √ Altitud: 609 m (T° atmósfera standard: 11.04 °C)

Por tanto, el factor de corrección a aplicar para obtener la longitud de pista en Madrid se estima en 1.3929.



## 2. CARACTERÍSTICAS GENERALES

Las aeronaves consideradas para la realización del estudio, (bien por su operatividad actual, bien por la posible incidencia de la longitud de pista en sus actuaciones), se indican a continuación en la Tabla 1 agrupadas de acuerdo a las rutas en las que pueden operar:

Tabla 1.- Aeronaves clasificadas según la ruta en la que operan.

Longitud de etapa		
<b>Corta</b> <b>(≤ 2000 NM)</b>	<b>Media</b> <b>(≤ 4500 NM)</b>	<b>Larga</b> <b>(&gt; 4500 NM)</b>
A300 B	B737-200 QC JT8D-17R/17AR	A310-300 GE CF6 80C2
A320-200	B757 -200	A310-300 PW JT9D-7R4E
B727 -200	B767 -200	A340-200
B737-200 QC JT8D-9/9A	B767-300ER	B747 -400
B737-500	B777-200	MD-11
BAC-111 / 475	C-130-H	
BAE 146-200	CONCORDE	
DC9 -32	DC10 -30	
MD-81	DC10 -40	
MD-82 - 88	DC8 -63	
MD-83	DC8 -63F	
MD-87	L1011-200	

Fuente: fsam.

Los pesos característicos de estas aeronaves, así como el alcance de las mismas correspondiente a MPL (Máxima Carga de Pago) se recogen en la siguiente Tabla 2.



Tabla 2.- Pesos característicos y alcance de diversas aeronaves.

AERONAVES	PESOS (Kg)						PL pasaje <sup>(1)</sup>	ALCANCE <sup>(2)</sup> (NM)
	MPL	MTOW	MLW	MZFW	OEW	MFW		
MD11	52105	273288	195044	181436	129332	117464	32300	4700
B737-500	15200	60550	49900	46500	31300	18750	12200	1850
B757-200	24045	104300	89800	83400	59355	34220	21800	2300
B777-200	54620	242630	201800	190470	135850	94240	37500	3000
B767-300ER	42150	181450	145150	130650	88450	73350	22000	4000
A320-200	20279	73500	64500	60500	40150	18849	16400	1900
A340-200	41837	253500	181000	169000	125000	107445	30300	6100
BAE 146-200	10077	42185	36741	33339	23262	9362	10900	1160
MD-81	18195	63504	58061	53525	35330	17766	17200	800
C-130-H	20412	79370	70300	53220	32808	20809		2667
L1011-200	34474	211378	166925	145152	110678	48557	40000	2780
CONCORDE	13380	185065	111130	92080	78700	94630	14400	3267
BAC-111 / 475	9660	41723	38102	33110	23450	11194	8400	1053
DC9 -32	13674	48989	44906	39463	25789	11010	11500	960
DC10 -30	46180	251744	182798	166922	120742	108632	39900	3800
DC10 -40	44356	251744	182798	166923	122567	108632	39900	3600
DC8 -63	32324	161028	117029	104328	72004	72592	25900	3447
DC8 -63F	54582	161028	124740	118689	64107	72592	25900	2420
B727 -200	18500	78000	68100	62700	44200	21452	16300	964
MD-82 - 88	19969	67812	58967	55338	35369	17766	17200	1160
MD-83	19193	72575	63276	55338	36145	21216	17200	1800
MD-87	17566	63503	58060	50803	33237	17764	13900	1400
B767 -200	33250	142900	123400	113400	80150	50740	21600	2300
B747 -400	65899	394625	285762	247166	181267	175362	40000	5800
A300 B	31010	132000	120000	106308	75298	43000	25000	1164
B737-200 QC								
JT8D-9/9 A	15100	58100	48530	44900	29800	15680	13000	1200
JT8D17R/17AR								1400
A310-300								
GE CF6 80C2	34000	160000	123000	113000	79001		24300	3688
PW JT9D7R4E	34047	160000	123000	113000	78953	48261	24300	3344

(1) PL pasaje = N° medio de asientos X 100 (Kg)

(2) Alcance para MPL y MTOW

Fuente: fsam.



Estos datos se han sido extraídos de la documentación aportada por los fabricantes de las aeronaves (Airport Planning). Con el fin de simplificar el volumen de datos a tratar se considera únicamente un grupo motor por tipo de aeronave.

El parámetro que se utiliza para definir el criterio económico que determina la rentabilidad de la operación de una determinada aeronave en una ruta dada es la relación siguiente:

$$\frac{\text{Carga de Pago Típica}}{\text{Carga de Pago Máxima}} = \frac{PL_{\text{típica}}}{MPL}$$

Dicho criterio establece que una ruta es rentable económicamente cuando la carga de pago típica ( $PL_{\text{típica}}$ ) se encuentra entre el 80% y el 85% de la carga de pago máxima (MPL) y que la mínima carga de pago admisible es el 70% de la carga de pago máxima.



### 3. LONGITUD DE PISTA-PESO AL DESPEGUE

Los fabricantes de las aeronaves incluyen en los Airport Planning una serie de gráficos que relacionan la longitud de pista al despegue (F.A.R. Take Off Runway Length, TORL) con el peso de la aeronave al despegue (TOW) para diferentes condiciones meteorológicas y altitud y para pendiente de pista y viento nulos.

Si se toman los datos correspondientes a día standard, nivel del mar y pendiente y viento nulos, basta con multiplicar por el factor de corrección por temperatura, altitud y pendiente aplicable a cada aeropuerto para obtener la longitud de pista (TORL) para cada aeronave una vez conocido su peso al despegue (TOW). Estos datos se recogen en la Tabla 3 y se representan en los Gráficos 3a, 3b, 3c.

Los datos corregidos para el aeropuerto de Madrid-Barajas son los correspondientes a la Tabla 4 y Gráficos 3d, 3e, y 3f.

El peso al despegue, TOW, es la suma de los siguientes pesos:

- √ Peso operativo en vacío (OEW)
- √ Peso de la carga de pago (PL)
- √ Peso de combustible ( $W_f$ )
- √ Peso de combustible de reserva (RF)

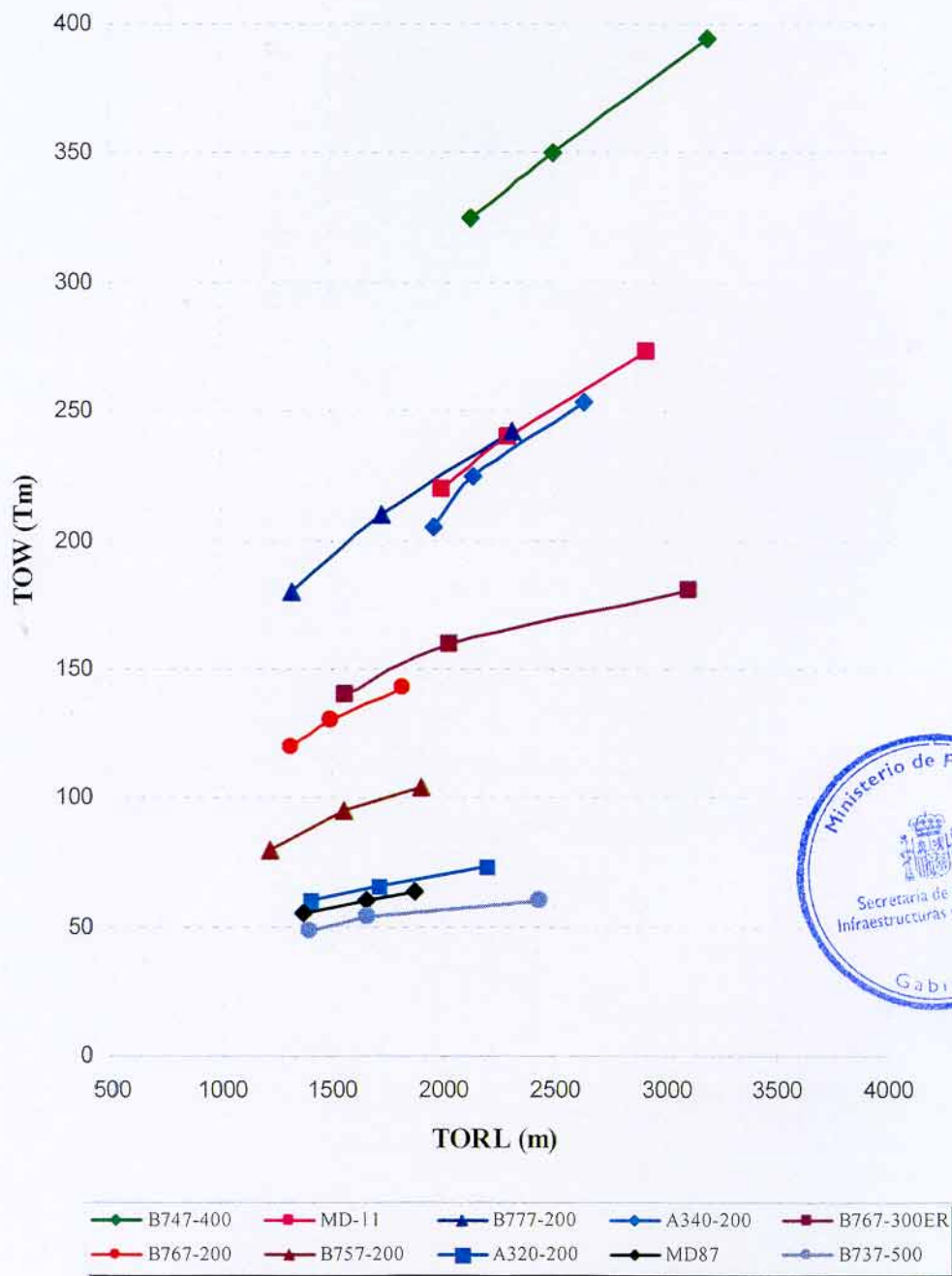
$$TOW = OEW + PL + W_f + RF$$

El peso operativo en vacío (OEW) es característico de cada aeronave. La carga de pago (PL) y el peso de combustible más las reservas ( $W_f + RF$ ) no son independientes una vez determinado el peso al despegue (TOW), y además dependen de la longitud de etapa a cubrir.



Ilustración 3a

**TORL-TOW**  
(Atmósfera standard, pendiente nula, nivel del mar)

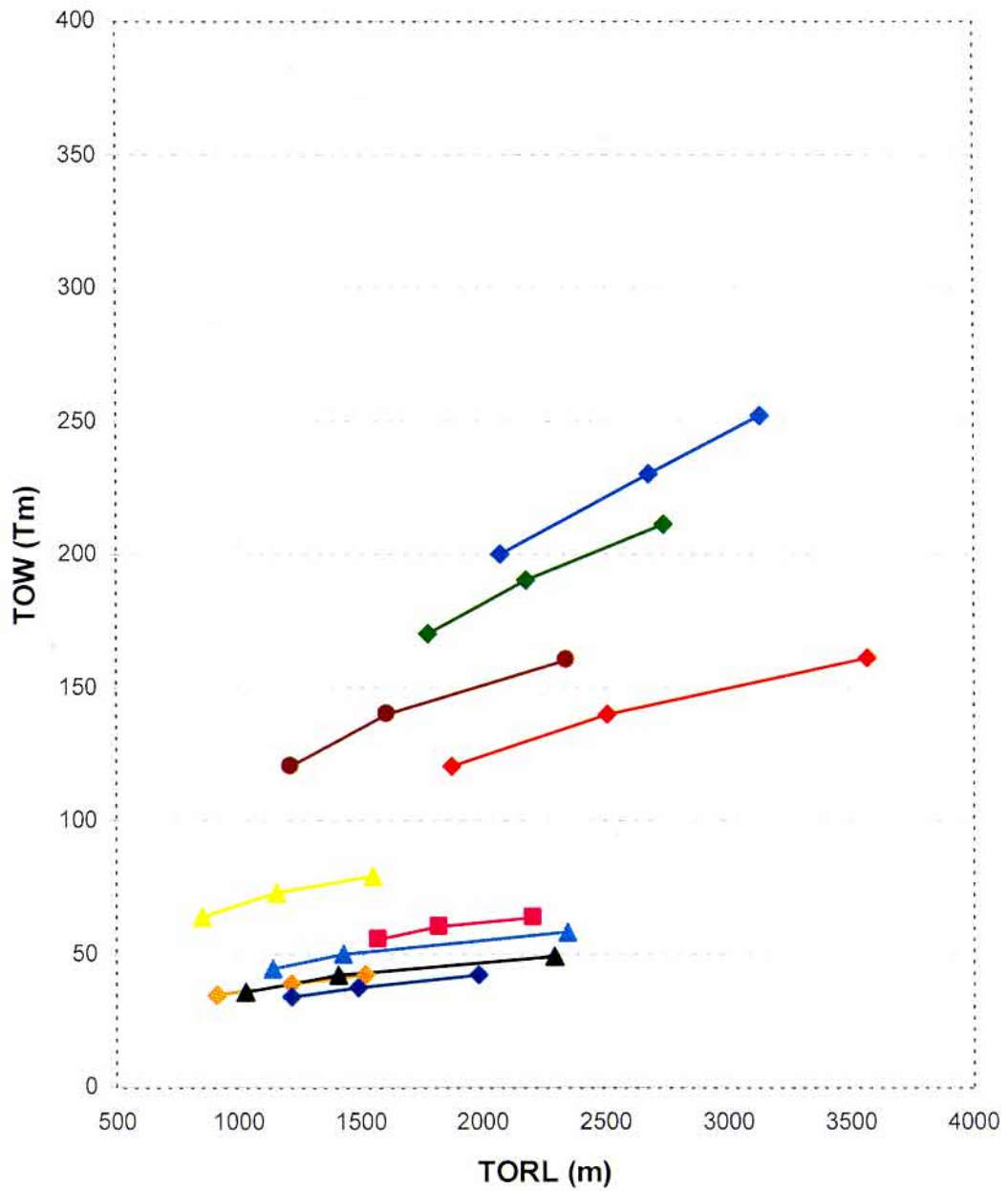


Fuente: Ísam

Ilustración 3b



**TORL-TOW**  
(Atmósfera standard, pendiente nula, nivel del mar)

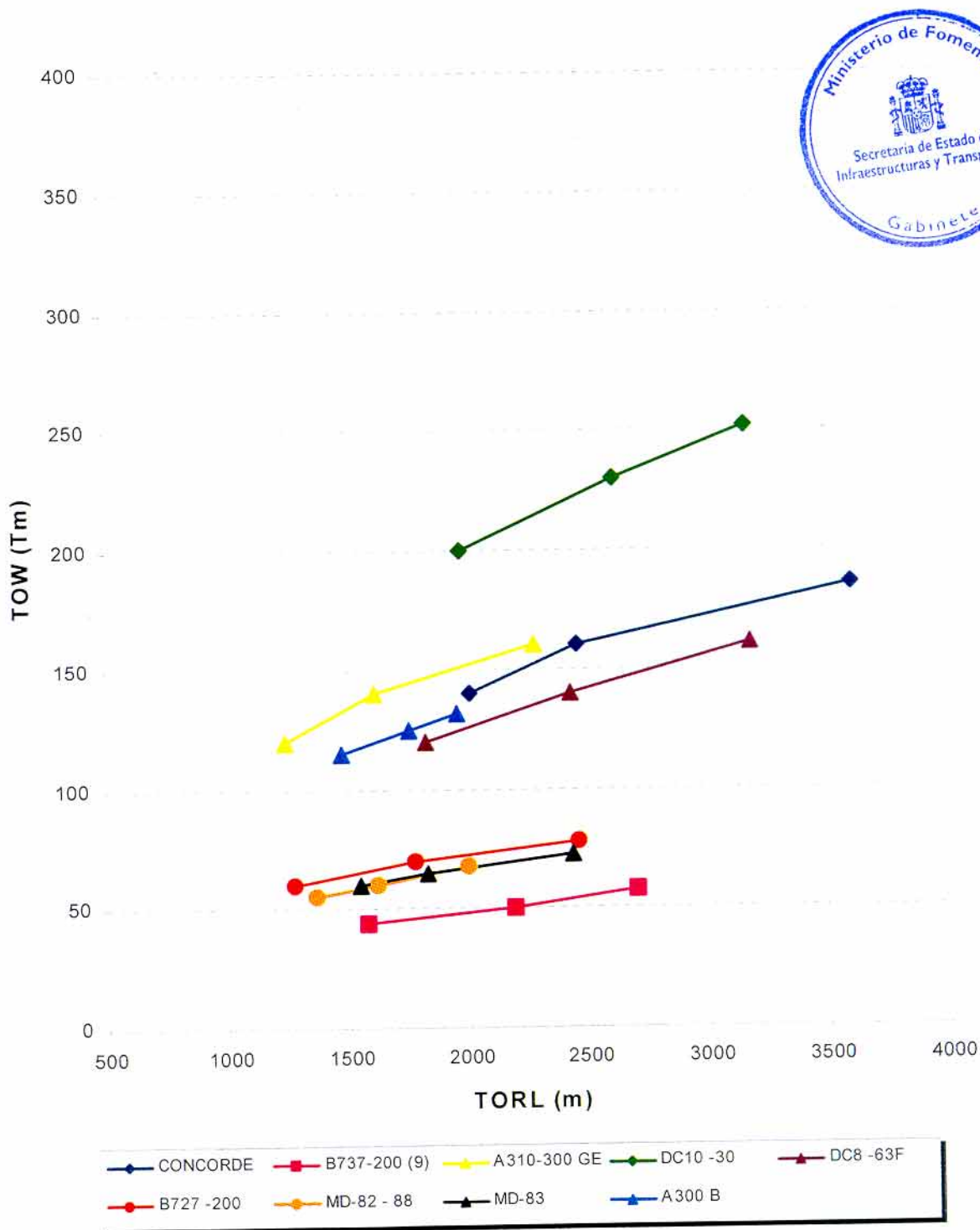


Fuente: fsam



Ilustración 3c

**TORL-TOW**  
 (Atmósfera standard, pendiente nula, nivel del mar)



Fuente: fsam



Tabla 3.-Condiciones standard de temperatura, nivel del mar y pendiente nula

	PESO AL DESPEGUE (TOW)	LONGITUD NECESARIA DE DESPEGUE (m)
<b>B747-400</b>	<b>395</b>	<b>3200</b>
	350	2500
	325	2130
<b>MD-11</b>	<b>273</b>	<b>2920</b>
	240	2300
	220	2000
<b>B777-200</b>	<b>243</b>	<b>2315</b>
	210	1720
	180	1315
<b>A340-200</b>	<b>254</b>	<b>2635</b>
	225	2135
	205	1955
<b>B767-300ER</b>	<b>181</b>	<b>3110</b>
	160	2030
	140	1565
<b>B767-200</b>	<b>143</b>	<b>1820</b>
	130	1500
	120	1320
<b>A300B</b>	<b>132</b>	<b>1960</b>
	125	1760
	115	1480

	PESO AL DESPEGUE (TOW)	LONGITUD NECESARIA DE DESPEGUE (m)
<b>B757-200</b>	<b>104</b>	<b>1900</b>
	95	1550
	80	1220
<b>A320-200</b>	<b>74</b>	<b>2195</b>
	66	1710
	60	1400
<b>MD-87</b>	<b>64</b>	<b>1870</b>
	60	1650
	55	1370
<b>BAE 146-200</b>	<b>42,2</b>	<b>1524</b>
	38,6	1219
	34,0	914
<b>MD-81</b>	<b>63,5</b>	<b>2210</b>
	60,0	1829
	55,0	1579
<b>C-130-H</b>	<b>79,4</b>	<b>1554</b>
	72,6	1158
	63,5	853
<b>L1011-200</b>	<b>211,4</b>	<b>2743</b>
	190,0	2184
	170,0	1778
<b>CONCORDE</b>	<b>185,1</b>	<b>3605</b>
	160,0	2465
	140,0	2015

	PESO AL DESPEGUE (TOW)	LONGITUD NECESARIA DE DESPEGUE (m)
<b>B737-200 QC JT8D-9/9A</b>	<b>58,1</b>	<b>2705</b>
	50,0	2195
	44,0	1585
<b>B737-200 QC JT8D- 17R/17AR</b>	<b>58,1</b>	<b>2347</b>
	50,0	1433
	44,0	1143
<b>A310-300 GE CF6 80C2</b>	<b>160,0</b>	<b>2286</b>
	140,0	1615
	120,0	1250
<b>A310-300 PW JT9D-7R4E</b>	<b>160,0</b>	<b>2347</b>
	140,0	1615
	120,0	1219
<b>BAC-111 / 475</b>	<b>41,7</b>	<b>1981</b>
	37,2	1494
	33,6	1219
<b>DC9 -32</b>	<b>49,0</b>	<b>2298</b>
	42,0	1407
	36,0	1030
<b>DC10 -30</b>	<b>251,7</b>	<b>3170</b>
	230,0	2621
	200,0	1981



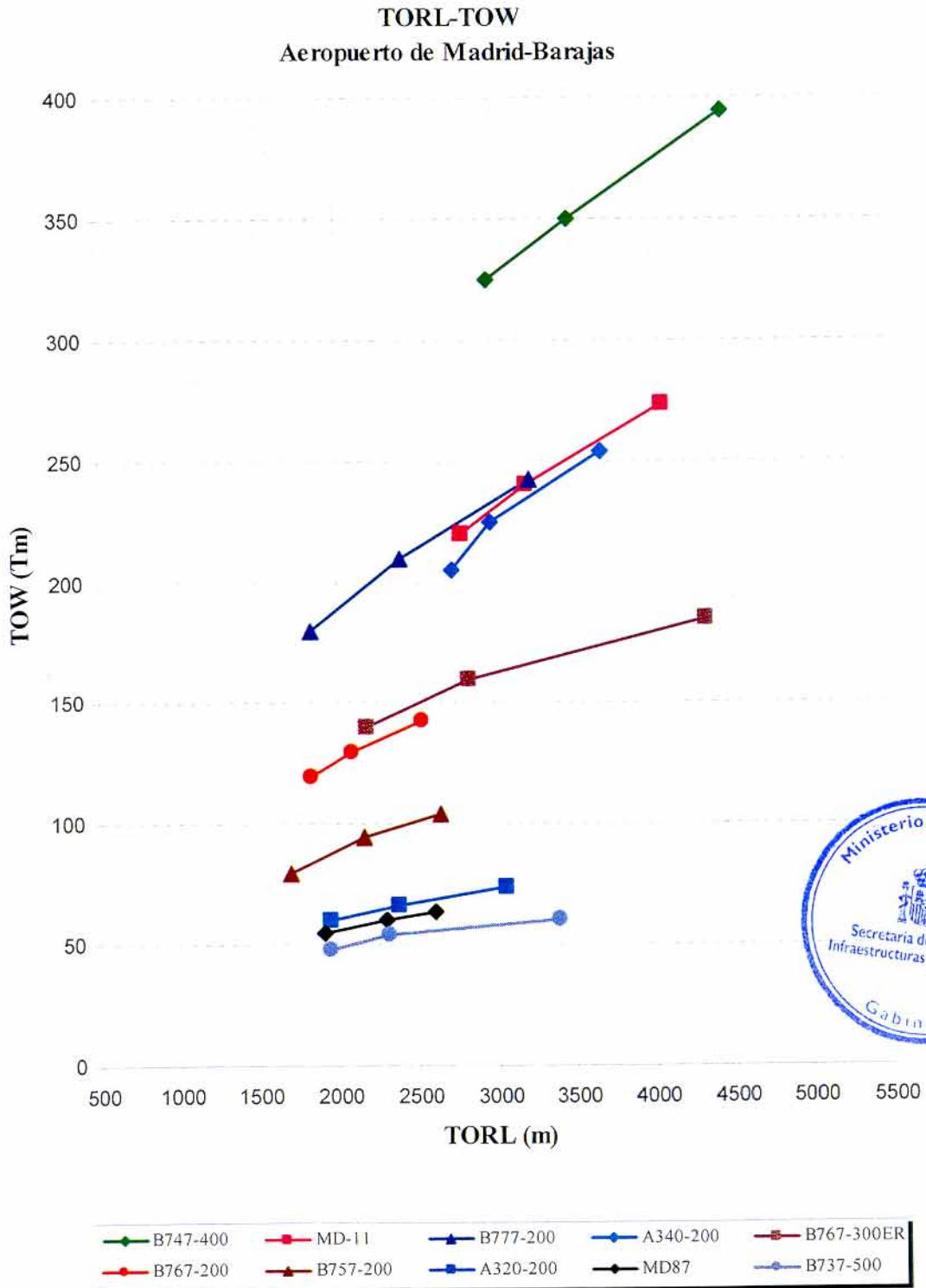
	PESO AL DESPEGUE (TOW)	LONGITUD NECESARIA DE DESPEGUE (m)
<b>DC10 -40</b>	<b>251,7</b>	<b>3139</b>
	230,0	2682
	200,0	2073
<b>DC8 -63</b>	<b>161,0</b>	<b>3578</b>
	140,0	2518
	120,0	1881
<b>DC8 -63F</b>	<b>161,0</b>	<b>3180</b>
	140,0	2438
	120,0	1829
<b>B727 -200</b>	<b>78,0</b>	<b>2461</b>
	70,0	1783
	60,0	1280
<b>MD-82 - 88</b>	<b>67,8</b>	<b>2000</b>
	60,0	1626
	55,0	1372
<b>MD-83</b>	<b>72,6</b>	<b>2438</b>
	65,0	1829
	60,0	1548
<b>B737-500</b>	<b>61</b>	<b>2440</b>
	54	1660
	48	1400

\* Los valores en negrita y cursiva corresponden a MTOW

Fuente: fsam



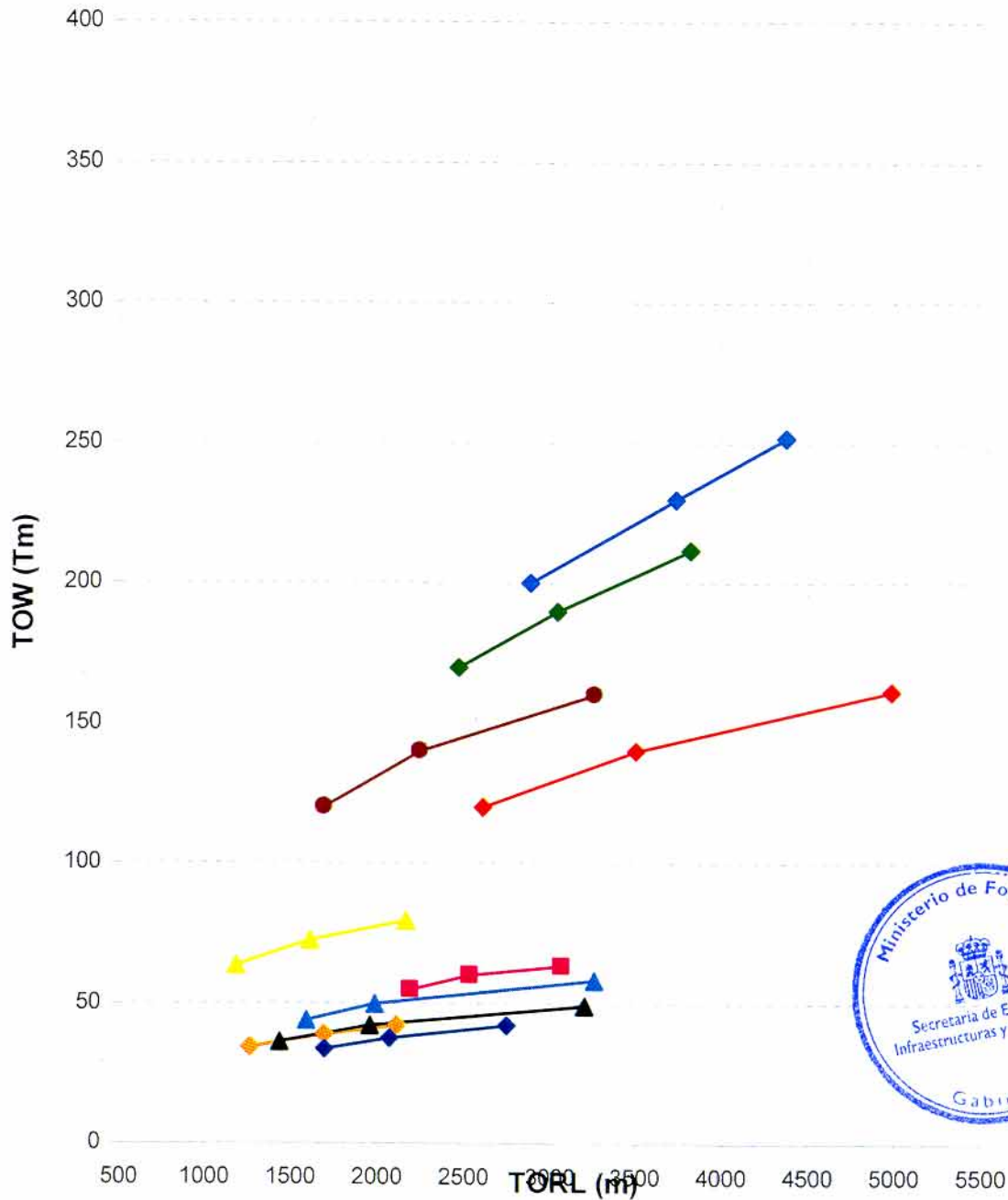
Ilustración 3d



Fuente: fsam

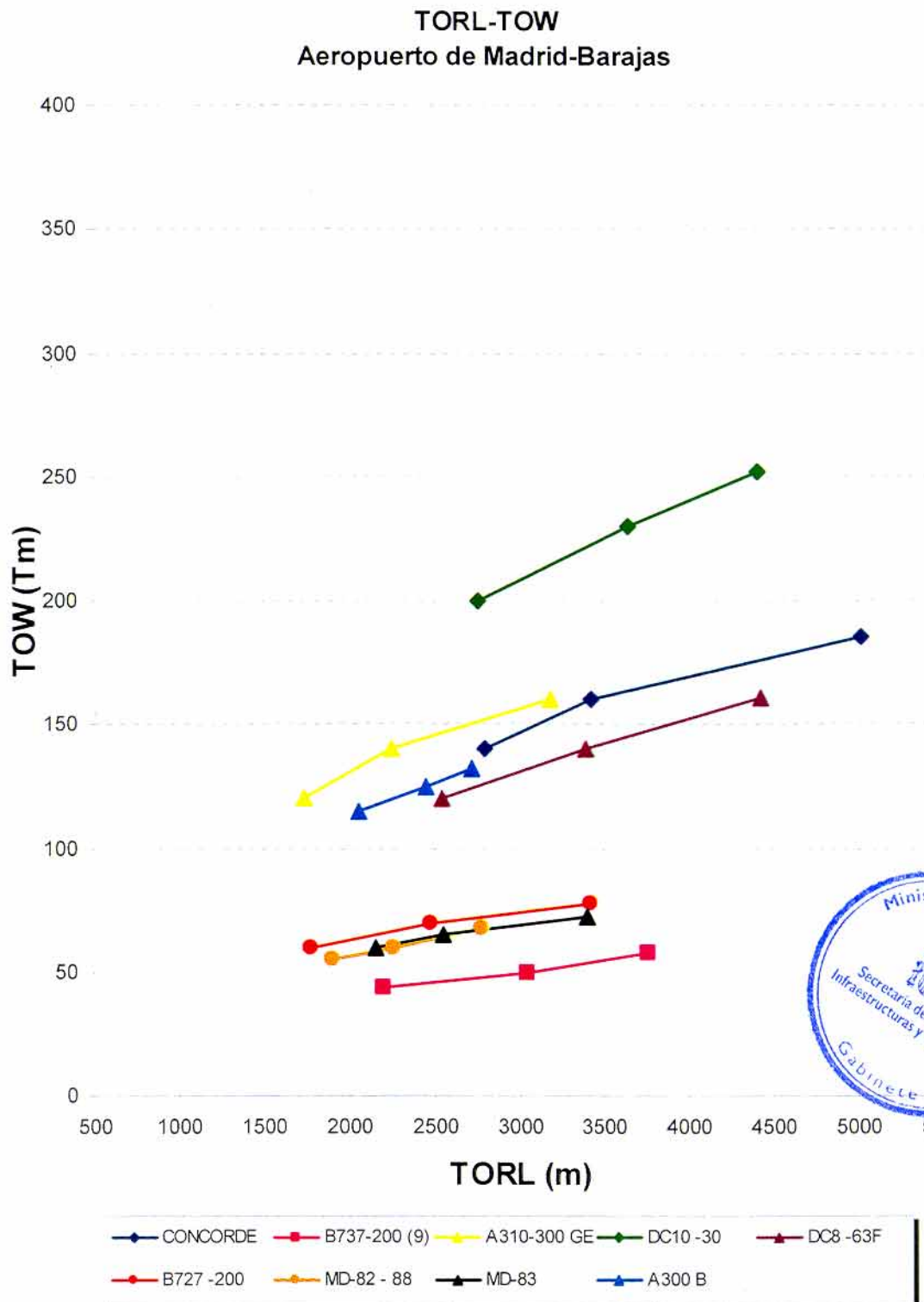
Ilustración 3e

**TORL-TOW**  
**Aeropuerto de Madrid-Barajas**



Fuente: fsam

Ilustración 3f



Fuente: fsam

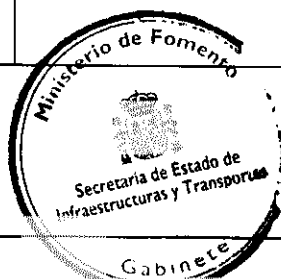


Tabla 4.- Aeropuerto de Madrid-Barajas

	PESO AL DESPEGUE (TOW)	LONGITUD NECESARIA DE DESPEGUE (m)
<b>B747-400</b>	<b>395</b>	<b>4457</b>
	350	3482
	325	2967
<b>MD-11</b>	<b>273</b>	<b>4067</b>
	240	3204
	220	2786
<b>B777-200</b>	<b>243</b>	<b>3225</b>
	210	2396
	180	1832
<b>A340-200</b>	<b>254</b>	<b>3670</b>
	225	2974
	205	2723
<b>B767-300ER</b>	<b>181</b>	<b>4332</b>
	160	2828
	140	2180
<b>B767-200</b>	<b>143</b>	<b>2535</b>
	130	2089
	120	1839
<b>A300B</b>	<b>132</b>	<b>2730</b>
	125	2452
	115	2061



	PESO AL DESPEGUE (TOW)	LONGITUD NECESARIA DE DESPEGUE (m)
<b>B757-200</b>	<b>104</b>	<b>2647</b>
	95	2159
	80	1699
<b>A320-200</b>	<b>74</b>	<b>3057</b>
	66	2382
	60	1950
<b>MD-87</b>	<b>64</b>	<b>2605</b>
	60	2298
	55	1908
<b>BAE 146-200</b>	<b>42,2</b>	<b>2123</b>
	38,6	1698
	34,0	1274
<b>MD-81</b>	<b>63,5</b>	<b>3078</b>
	60,0	2547
	55,0	2199
<b>C-130-H</b>	<b>79,4</b>	<b>2165</b>
	72,6	1613
	63,5	1189
<b>L1011-200</b>	<b>211,4</b>	<b>3821</b>
	190,0	3042
	170,0	2476
<b>CONCORDE</b>	<b>185,1</b>	<b>5021</b>
	160,0	3433
	140,0	2806



	PESO AL DESPEGUE (TOW)	LONGITUD NECESARIA DE DESPEGUE (m)
<b>B737-200 QC JT8D-9/9A</b>	<b>58,1</b>	<b>3768</b>
	50,0	3057
	44,0	2208
<b>B737-200 QC JT8D- 17R/17AR</b>	<b>58,1</b>	<b>3269</b>
	50,0	1995
	44,0	1592
<b>A310-300 GE CF6 80C2</b>	<b>160,0</b>	<b>3184</b>
	140,0	2250
	120,0	1741
<b>A310-300 PW JT9D-7R4E</b>	<b>160,0</b>	<b>3269</b>
	140,0	2250
	120,0	1698
<b>BAC-111 / 475</b>	<b>41,7</b>	<b>2760</b>
	37,2	2080
	33,6	1698
<b>DC9 -32</b>	<b>49,0</b>	<b>3201</b>
	42,0	1959
	36,0	1435
<b>DC10 -30</b>	<b>251,7</b>	<b>4415</b>
	230,0	3651
	200,0	2760



	PESO AL DESPEGUE (TOW)	LONGITUD NECESARIA DE DESPEGUE (m)
<b>DC10 -40</b>	<b>251,7</b>	<b>4373</b>
	230,0	3736
	200,0	2887
<b>DC8 -63</b>	<b>161,0</b>	<b>4984</b>
	140,0	3507
	120,0	2620
<b>DC8 -63F</b>	<b>161,0</b>	<b>4430</b>
	140,0	3396
	120,0	2547
<b>B727 -200</b>	<b>78,0</b>	<b>3428</b>
	70,0	2484
	60,0	1783
<b>MD-82 - 88</b>	<b>67,8</b>	<b>2785</b>
	60,0	2264
	55,0	1911
<b>MD-83</b>	<b>72,6</b>	<b>3396</b>
	65,0	2547
	60,0	2157
<b>B737-500</b>	<b>61</b>	<b>3399</b>
	54	2312
	48	1950

\* La longitud de la pista necesaria se ha calculado aplicando las correcciones correspondientes a temperatura y altitud, (pendiente nula), a partir de las condiciones standard de temperatura y nivel del mar

\* Los valores en negrita y cursiva corresponden a MTOW

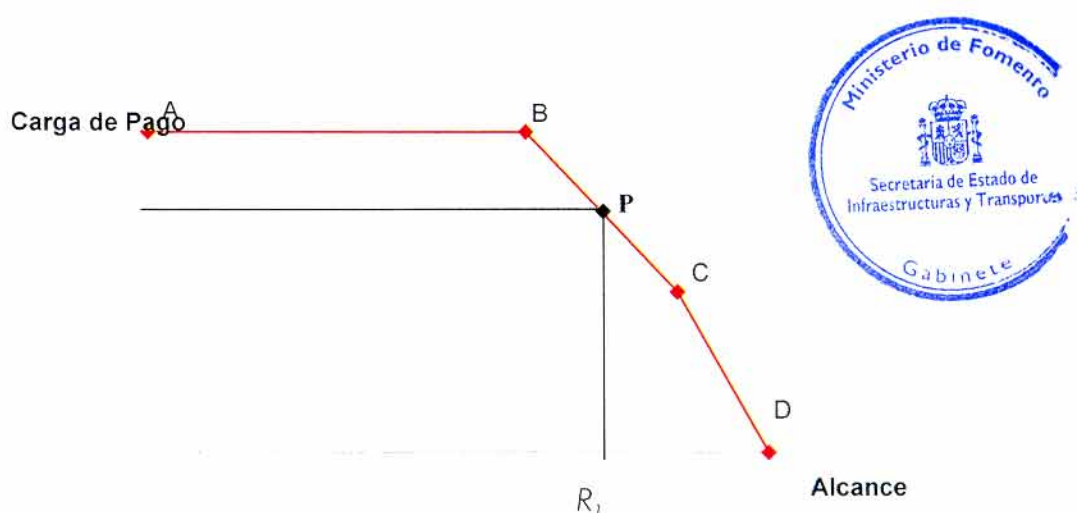
Fuente: fsom.



#### 4. CARGA DE PAGO-ALCANCE

El diagrama Carga de Pago-Alcance se utiliza para estudiar la viabilidad y rentabilidad de la explotación de una ruta por una determinada aeronave; así, para una longitud de etapa dada, se obtiene la máxima carga de pago que se puede transportar y, análogamente, para una carga de pago dada, se obtiene el máximo alcance posible.

Ilustración 4.- Diagrama Carta de Pago-Alcance



Este diagrama consta de tres tramos, que corresponden a los pesos característicos siguientes:

- Tramo AB: Máxima Carga de Pago (MPL)
- Tramo BC: Máximo Peso al Despegue (MTOW)
- Tramo CD: Máximo Peso de Combustible (MFW)

Dado un punto, P, del diagrama los valores posibles de carga de pago son todos aquellos menores que  $PL_1$  y los valores posibles de longitud de etapa todos aquellos menores que  $R_1$ ; siendo  $PL_1$  y  $R_1$  los valores máximos de carga de pago y longitud de etapa respectivamente.

Sin más consideraciones que las hasta aquí expuestas, el diagrama Carga de Pago-Alcance representa todos los pares de valores de longitud de etapa y carga de pago en que una determinada aeronave es operativa. Sin embargo, al tener en cuenta que la aeronave operará desde un determinado aeropuerto, con una longitud de pista determinada, y la limitación de peso de la aeronave al despegue que impone la longitud de pista disponible para el mismo, tal y como se expone en el punto 3, resulta

evidente que no todos estos pares de valores son realmente operativos una vez condicionada la operación por la longitud de pista disponible para el despegue. Debido a esto, es necesario determinar el peso al despegue que corresponde a cada ruta y carga de pago máxima admisible, con la finalidad de relacionarlo con la longitud de pista que se puede deducir del gráfico Longitud de Pista de Despegue (TORL)-peso al Despegue (TOW).

Es conveniente tener en cuenta que para cada aeronave se considera zona óptima de explotación de las distintas rutas aquella que comienza ligeramente por delante del punto B en el que se despegue con MTOW y MPL y se extiende un tramo más o menos largo a la derecha de este punto y por encima del punto C, en que se despegue con MTOW y MFW. (Esta consideración es de carácter general, ya que, en numerosas ocasiones se operan rutas cortas con aeronaves de mayor alcance).

Esta hipótesis, junto con el criterio de explotación económica descrito en el apartado 1, se concreta limitando el estudio al primer y segundo tramo del diagrama; MPL y MTOW respectivamente, siempre que la carga de pago máxima admisible para el alcance no sea inferior al 70% de MPL (valor que se observa adecuado para que la aeronave lleve una carga típica de pasajeros con un factor de ocupación del 80%).



## 5. PESO AL DESPEGUE-CARGA DE PAGO

Tal y como se ha indicado en el apartado anterior es necesario estimar la relación existente entre peso al despegue y la carga de pago para una longitud de etapa determinada. Para realizar esta estimación se parte de la hipótesis siguiente:

El combustible de reserva, junto al de rodadura, y los excesos o ahorros de combustible en subida y descenso representan el 5% del peso al despegue (TOW) para cada ruta considerada.

Con esta hipótesis se obtiene una sencilla relación entre el peso al despegue y la carga de pago:

$$TOW = PL + OEW + 0.05 TOW + W_f$$

donde:

TOW = peso al despegue

PL = carga de pago

OEW = peso operativo en vacío

$W_f$  = combustible consumido en la ruta

La ecuación de Breguet del peso del avión muestra como varía el peso total del avión (W) en función de la distancia recorrida (R):

$$dR = K \cdot \frac{dW}{W}$$

Considerando como valor medio de K el correspondiente al punto A del diagrama Carga de Pago-Alcance y realizando una sencilla integración, se obtiene la siguiente relación entre peso al despegue, carga de pago y alcance:

$$\frac{LW}{TOW} = \frac{TOW - W_f}{TOW} = \frac{OEW + PL + 0.05 TOW}{TOW} = e^{\left(\frac{R}{K}\right)}$$

donde:

LW = Peso al Aterrizaje

Esta relación es válida siempre que el peso al aterrizaje no supere al valor máximo de peso al aterrizaje (MLW).



Por tanto, esta ecuación pone de manifiesto que el peso al despegue solo depende de la distancia a recorrer y de la carga de pago para una aeronave de la que se conozca el peso operativo en vacío (OEW) y el valor medio de K, determinado, como ya se ha indicado, en el punto (MPL, MTOW).

En los Gráficos 5.a, 5.b, 5.c se muestran los diagramas Peso al despegue-Longitud de etapa para las aeronaves consideradas, suponiendo que la carga de pago en cada uno de los puntos es la máxima admisible.

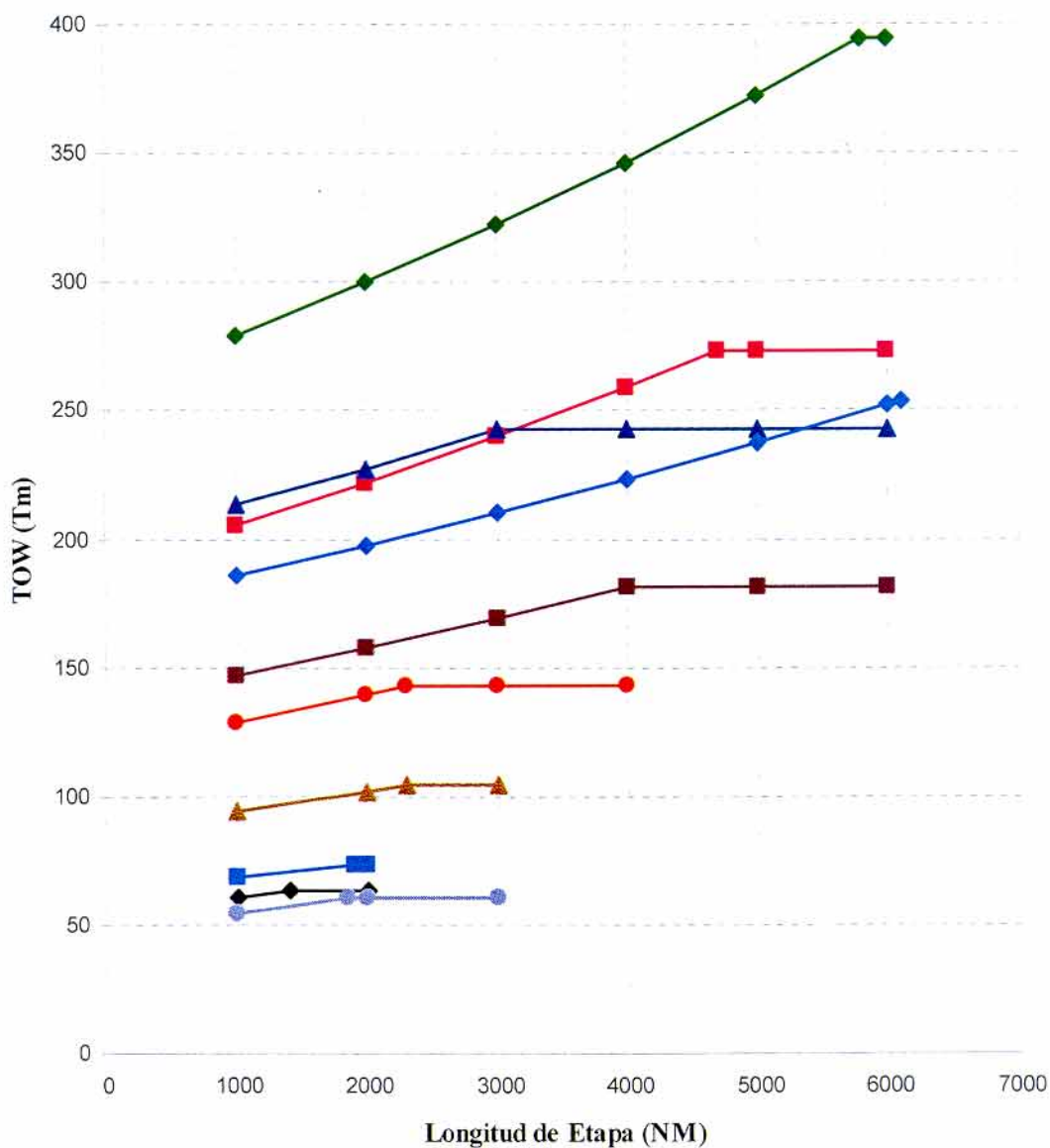
En las Tablas 5 y 6 se muestran los valores de Peso al despegue y Carga de Pago en función de la longitud de etapa, aparecen en estas tablas en color azul los valores que presentan penalización en la carga de pago para la longitud de etapa correspondiente y en color rojo los valores que corresponden a condiciones de explotación no rentable.





Ilustración 5a

**R-TOW**  
(Longitud de Etapa-Peso al despegue)



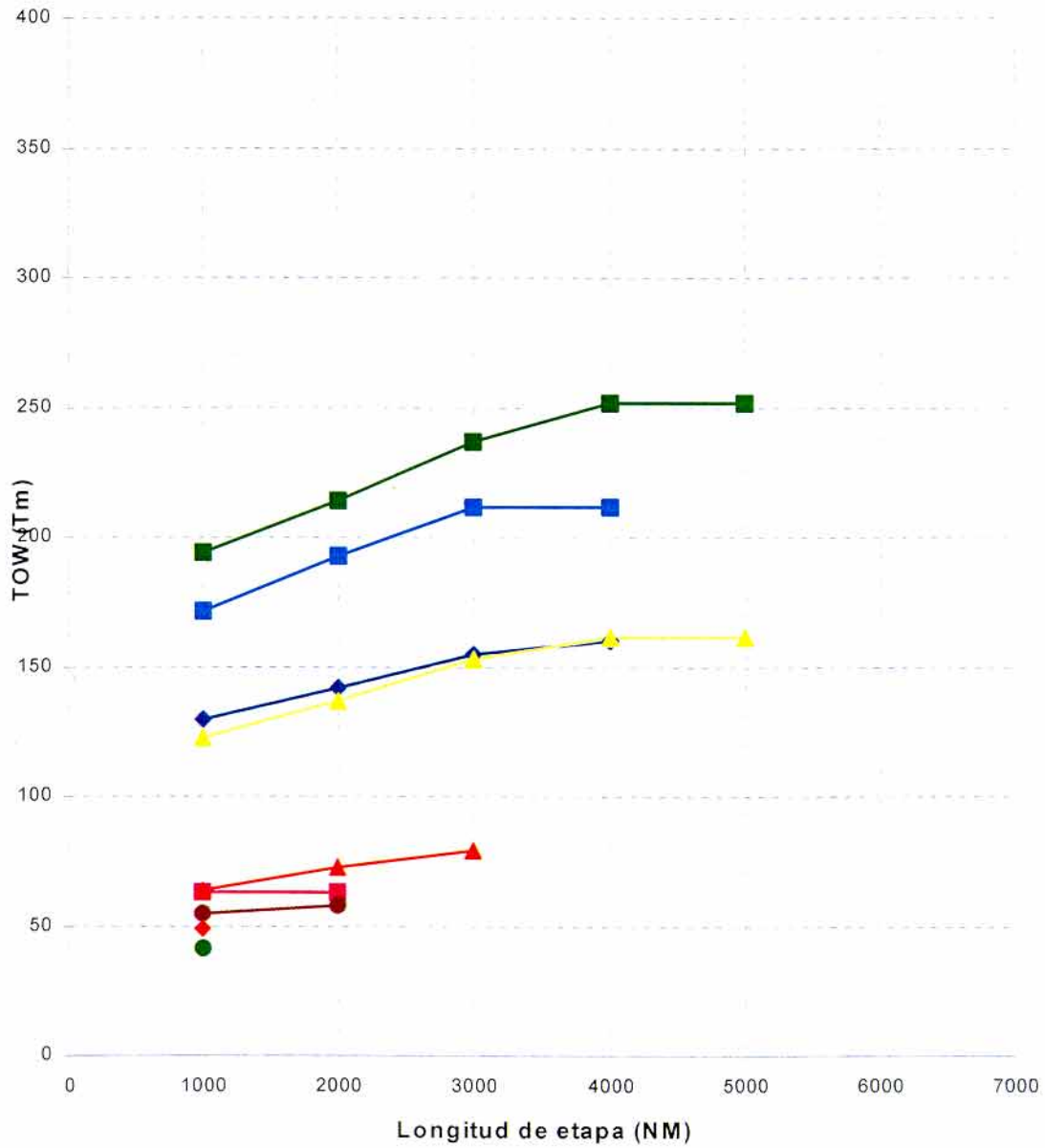
MD11	A320-200	B777-200	B747-400	B757-200
B767-200	B767-300ER	MD87	B737-500	A340-200

Fuente: fsam



Ilustración 5b

**R-TOW**  
(Longitud de Etapa-Peso al despegue)



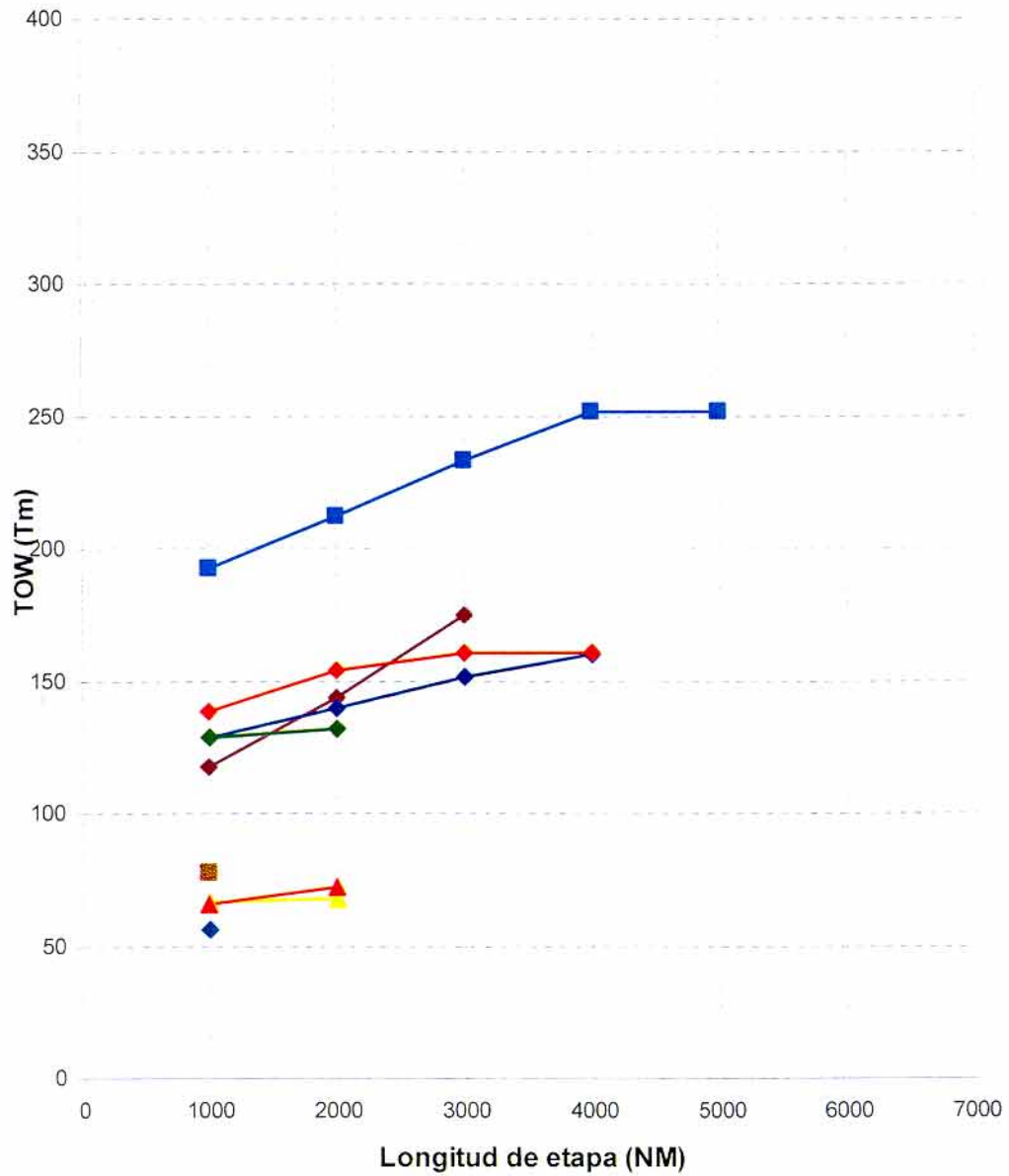
- BAE 146-200
- MD-81
- C-130-H
- L1011-200
- B737-200 (17R)
- A310-300 PW
- BAC-111 / 475
- DC9 -32
- DC10 -40
- DC8 -63

Fuente: fsam



Ilustración 5c

**R-TOW**  
(Longitud de Etapa-Peso al despegue)



Fuente: fsam



Tabla 5.- Peso al despegue (tm)

	Longitud de etapa (NM)					
	1000	2000	3000	4000	5000	6000
MD11	206	222	240	259	273	273
A340-200	186	198	210	223	237	252
A320-200	69	74				
B777-200	214	228	243	243	243	243
B747-400	279	300	322	346	372	395
B757-200	95	102	104			
B767-200	129	140	143	143		
B767-300ER	147	158	169	181	181	181
BAE 146-200	41,1					
MD-81	63,5	63,5				
C-130-H	63,8	72,7	79,4			
L1011-200	171,6	192,9	211,4	211,4		
CONCORDE	117,8	143,5	175,3			
B737-200 QC JT8D-9/9A	56,1					
B737-200QC JT8D- 17R/17AR	54,8	58,1				
A310-300 GE CF6 80C2	128,8	139,6	151,3	160,0		
A310-300 PW JT9D-7R4E	129,9	141,9	155,2	160,0		
BAC-111 475	41,3					
DC9 -32	49,0					
DC10 -30	193,0	212,1	233,2	251,7	251,7	
DC10 -40	194,0	214,4	237,0	251,7	251,7	
DC8 -63	122,6	137,0	153,2	161,0	161,0	
DC8 -63F	138,7	154,0	161,0	161,0		
B727 -200	78,0					
MD-82 - 88	66,4	67,8				
MD-83	65,8	72,6				
MD-87	60,5	63,5				
A300 B	129,0	132,0				
B737-500	55	61	61			

\* Los valores en rojo corresponden a condiciones de explotación económicamente no rentable, considerando como tales aquellos en que la carga de pago máxima admisible para cada longitud de etapa es menor del 70% de MPL.

Fuente: fsam.



Tabla 6.- Carga de pago (tm)

	Longitud de etapa (NM)					
	1000	2000	3000	4000	5000	6000
MD11	52	52	52	52	48	35
A340-200	42	42	42	42	42	42
A320-200	20	20				
B777-200	55	55	55	43	32	21
B747-400	66	66	66	66	66	62
B757-200	24	24	20			
B767-200	33	33	27	19		
B767-300ER	42	42	42	42	33	23
BAE 146 200	10,1					
MD-81	17,1	11,6				
C-130-H	20,4	20,4	14,6			
L1011-200	34,5	34,5	32,4	22,9		
CONCORDE	13,4	13,4	13,4			
B737-200 QC JT8D-9/9A	15,1					
B737-200 QC JT8D- 17R/17AR	15,1	23,7				
A310-300 GE CF6 80C2	34,0	34,0	34,0	30,9		
A310-300 PW JT9D-7R4E	34,0	34,0	34,0	29,3		
BAC-111 475	9,7					
DC9 -32	13,5					
DC10 -30	46,2	46,2	46,2	43,3	28,7	
DC10 -40	44,4	44,4	44,4	38,0	22,3	
DC8 -63	32,3	32,3	32,3	28,3	21,0	
DC8 -63F	54,6	54,6	44,8	27,9		
B727 -200	18,2					
MD-82 - 88	20,0	14,7				
MD-83	19,2	17,8				
MD-87	17,6	15,8				
A300 B	31,0	22,1				
B737-500	15	14	9			

\* Los valores en rojo corresponden a condiciones de explotación económicamente no rentable, considerando como tales aquellos en que la carga de pago máxima admisible para cada longitud de etapa es menor del 70% de MPL.

Fuente: fsam.



## 6. LONGITUD DE ETAPA-LONGITUD DE PISTA

La relación entre la longitud de etapa y la longitud de pista es la que finalmente definirá cual es la longitud de pista necesaria para explotar una ruta con una determinada aeronave sin penalización en la carga de pago transportada.

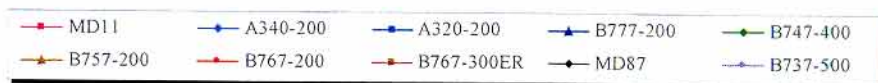
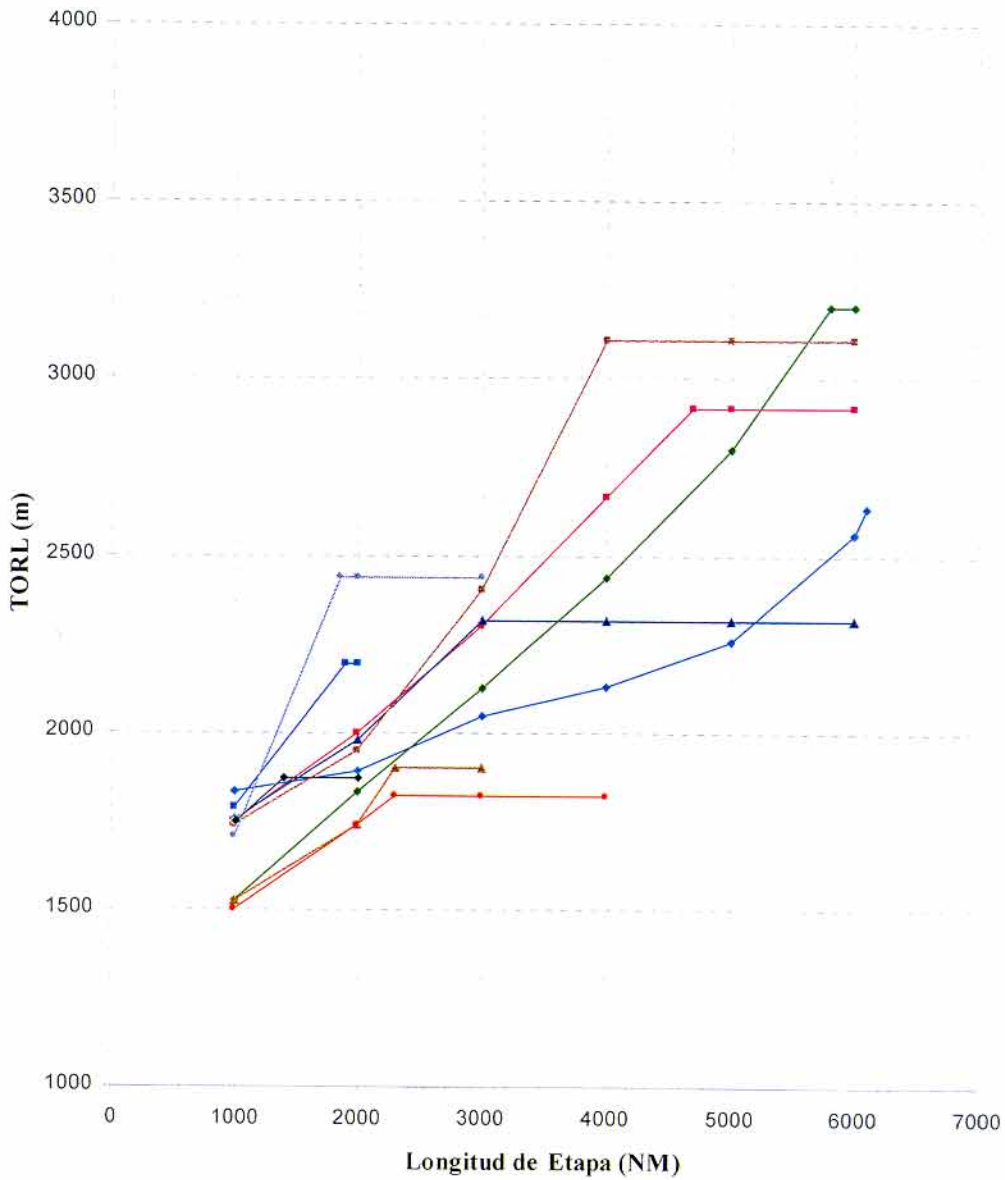
A partir de los gráficos elaborados en los puntos anteriores se puede determinar esta relación; primero, para la longitud de pista calculada en condiciones standard de temperatura, altitud nula y viento y pendiente nula para, posteriormente, determinar esta relación en el aeropuerto de Madrid-Barajas sin más que multiplicar por el factor de corrección correspondiente.

En los Gráficos 6.a, 6.b, 6.c , 6.d, 6.e y 6.f se representan los valores resultantes y en las Tablas 7 y 8 se muestran los valores correspondientes.



Ilustración 6a

**R-TORL**  
 Condiciones standard, pendiente nula, nivel del mar

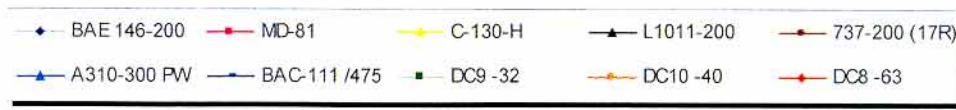
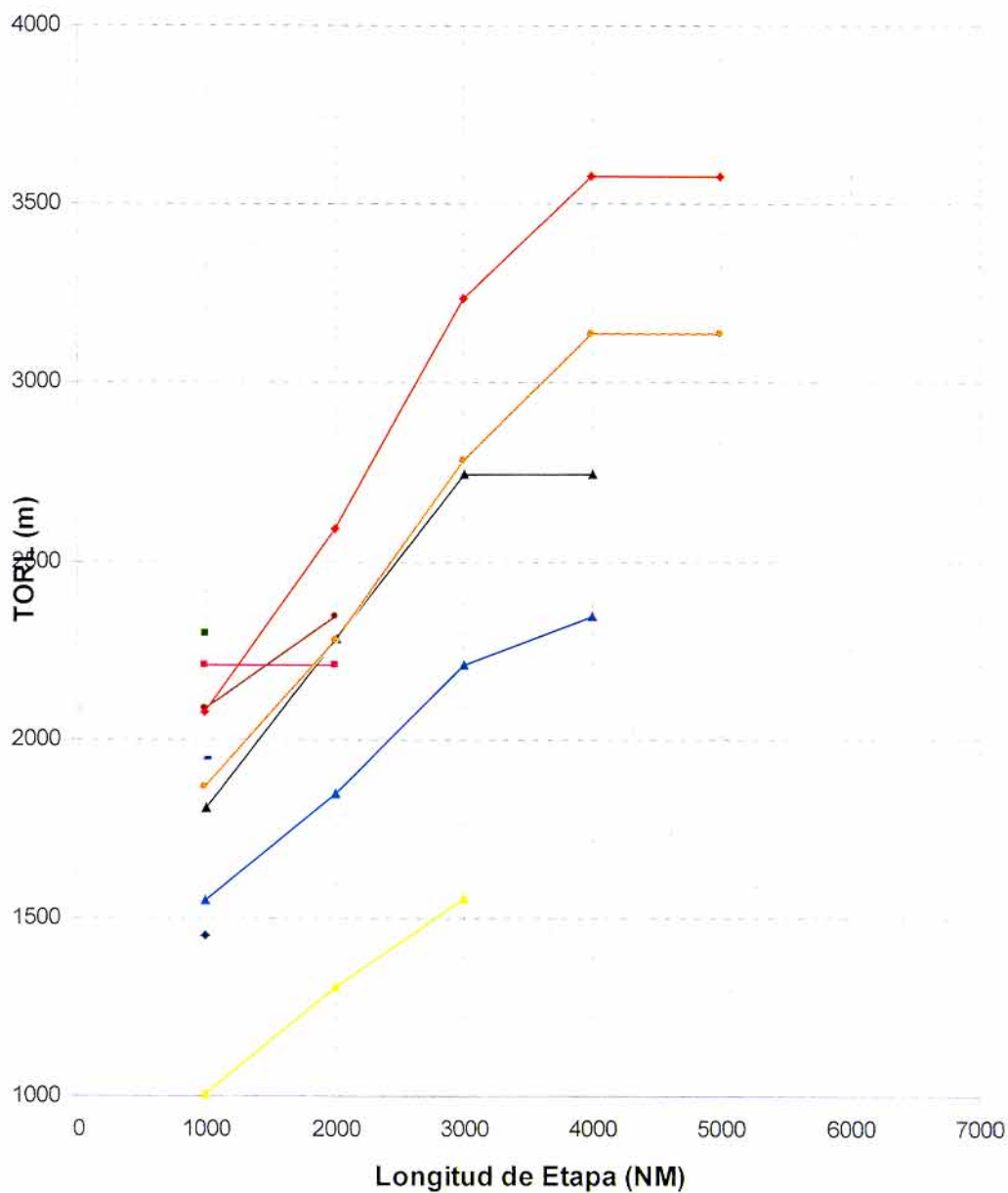


Fuente: fsam



Ilustración 6b

**R-TORL**  
**Condiciones standard, pendiente nula, nivel del mar**



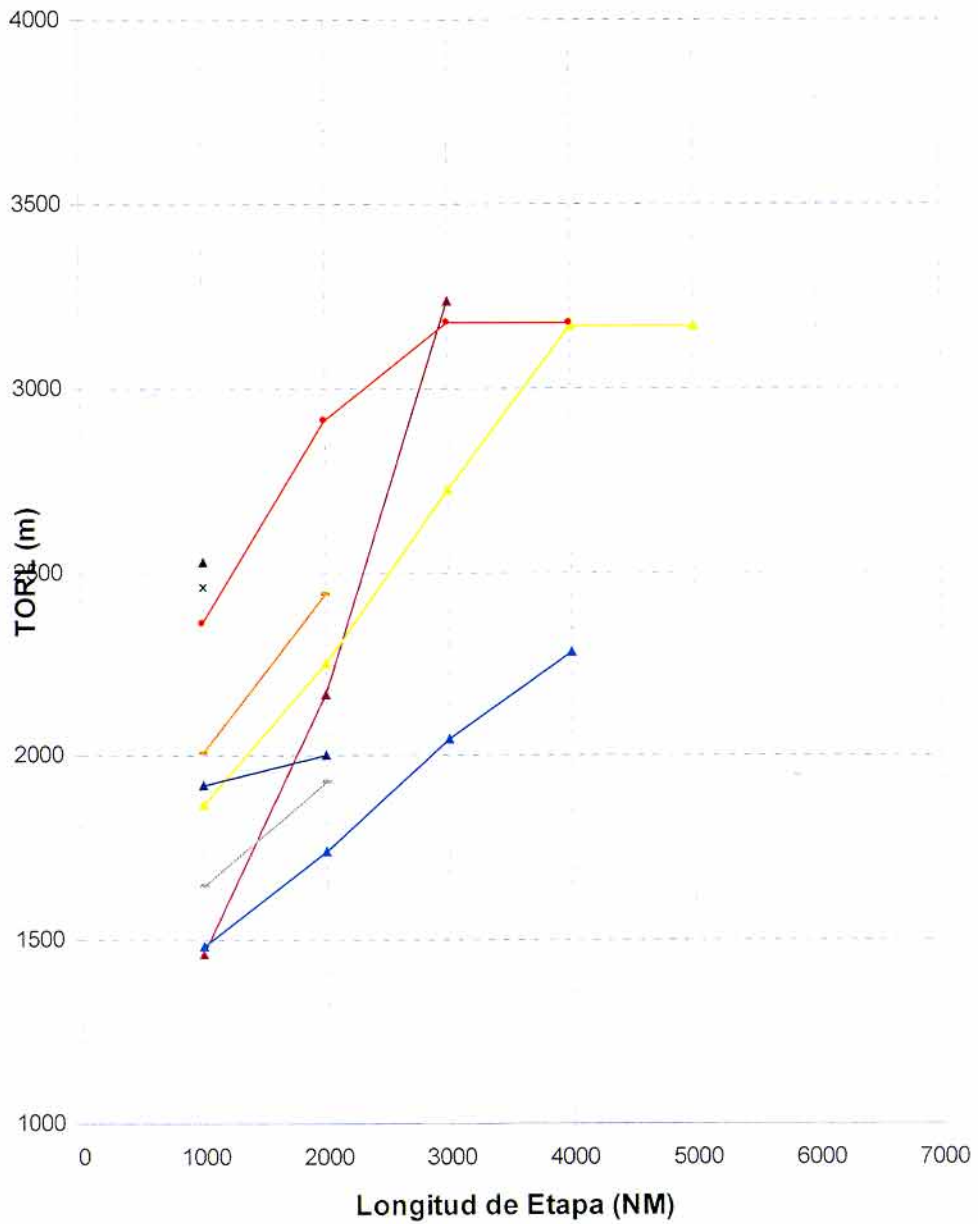
Fuente: fsam





Ilustración 6c

**R-TORL**  
**Condiciones standard, pendiente nula, nivel del mar**



- ▲— CONCORDE
- ▲— 737-200 (9)
- ▲— A310-300 GE
- ▲— DC10-30
- ▲— DC8-63F
- x— B727-200
- ▲— MD-82-88
- ▲— MD-83
- ▲— A300 B

Fuente: fsam



Tabla 7.- Longitud de pista de despegue (m) en condiciones standard, nivel del mar y pendiente nula

	Longitud de etapa (NM)					
	1000	2000	3000	4000	5000	6000
MD11	1750	2000	2300	2670	2920	2920
A340-200	1830	1890	2045	2130	2260	2560
A320-200	2135	2750				
B777-200	1755	1980	2315	2315	2315	2315
B747-400	1525	1830	2125	2440	2800	3200
B757-200	1525	1740	1900			
B767-200	1500	1740	1820	1820		
B767-300ER	1740	1950	2405	3110	3110	3110
BAE 146-200	1448					
MD-81	2210	2210				
C-130-H	1004	1304	1554			
L1011-200	1808	2284	2743	2743		
CONCORDE	1461	2168	3235			
B737-200 QC JT8D-9/9A	2524					
B737-200 QC JT8D- 17R/17AR	2085	2347				
A310-300 GE	1482	1740	2045	2286		
A310-300 PW	1547	1847	2207	2347		
BAC-111 475	1945					
DC9 -32	2298					
DC10 -30	1863	2250	2721	3170	3170	
DC10 -40	1865	2276	2782	3139	3139	
DC8 -63	2074	2589	3237	3578	3578	
DC8 -63F	2359	2911	3180	3180		
B727 -200	2461					
MD-82 - 88	1917	2000				
MD-83	2004	2438				
MD-87	1695	1870				
B757 -200	1525	1740	1900			
A300 B	1929	1960				
B737-500	1707	2440	2440			

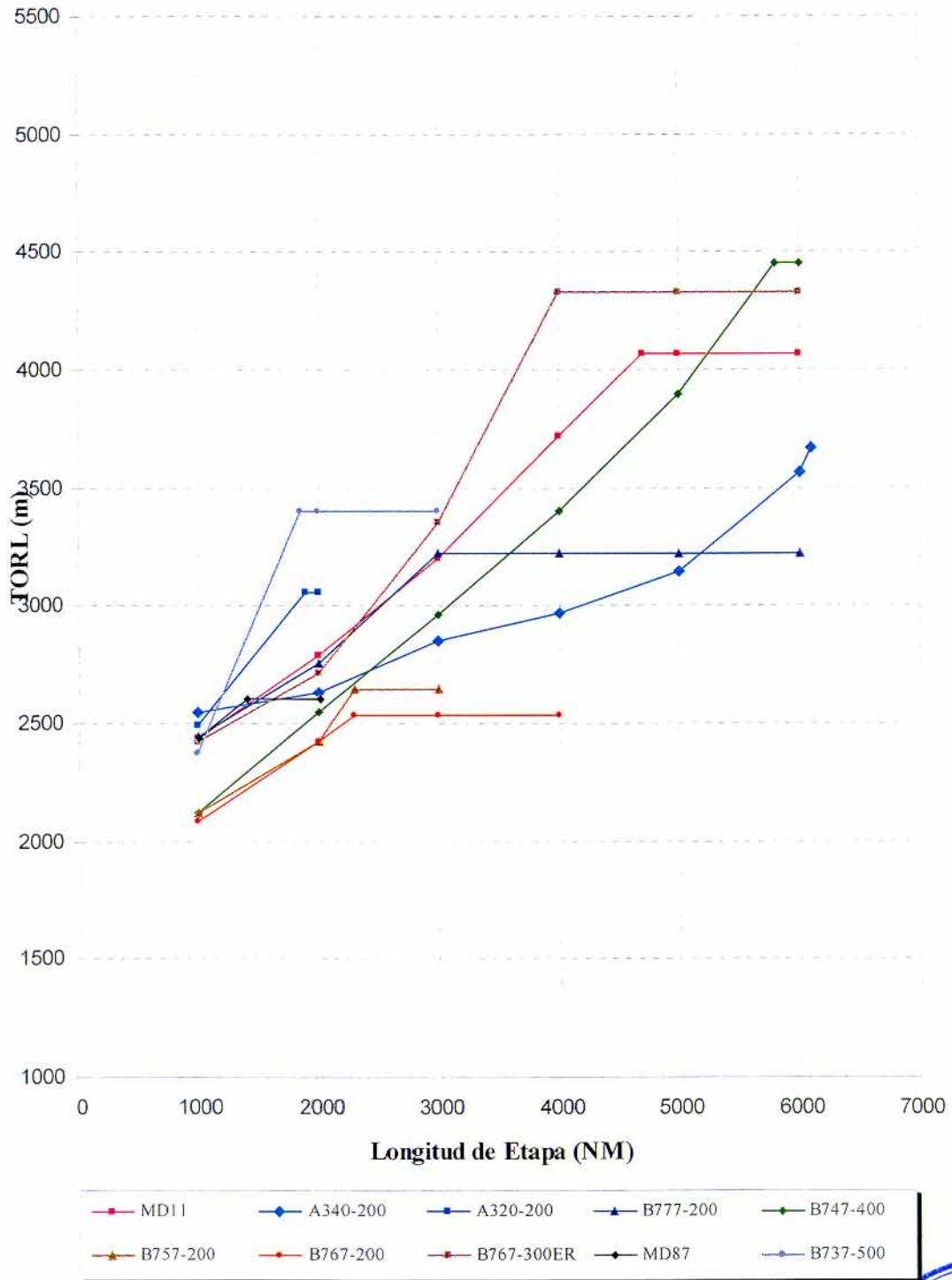
\* Los valores sombreados corresponden a condiciones de explotación económicamente no rentable, considerando como tales aquellos en que la carga de pago máxima admisible para cada longitud de etapa es menor del 70% de MPL

Fuente: fsam.



Ilustración 6d

**R-TORL**  
**Aeropuerto de Madrid-Barajas**

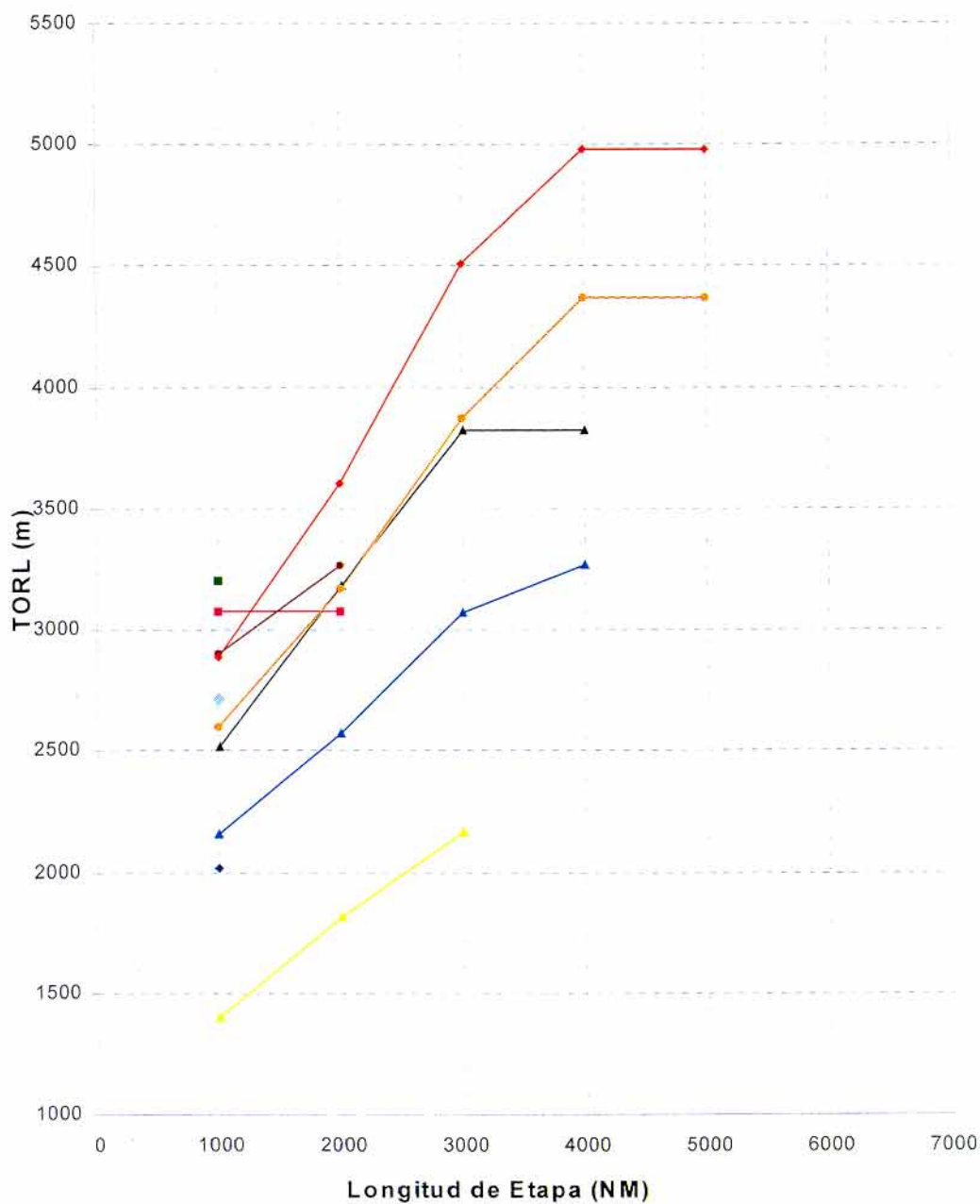


Fuente: fsam



Ilustración 6e

**R-TORL**  
**Aeropuerto de Madrid-Barajas**

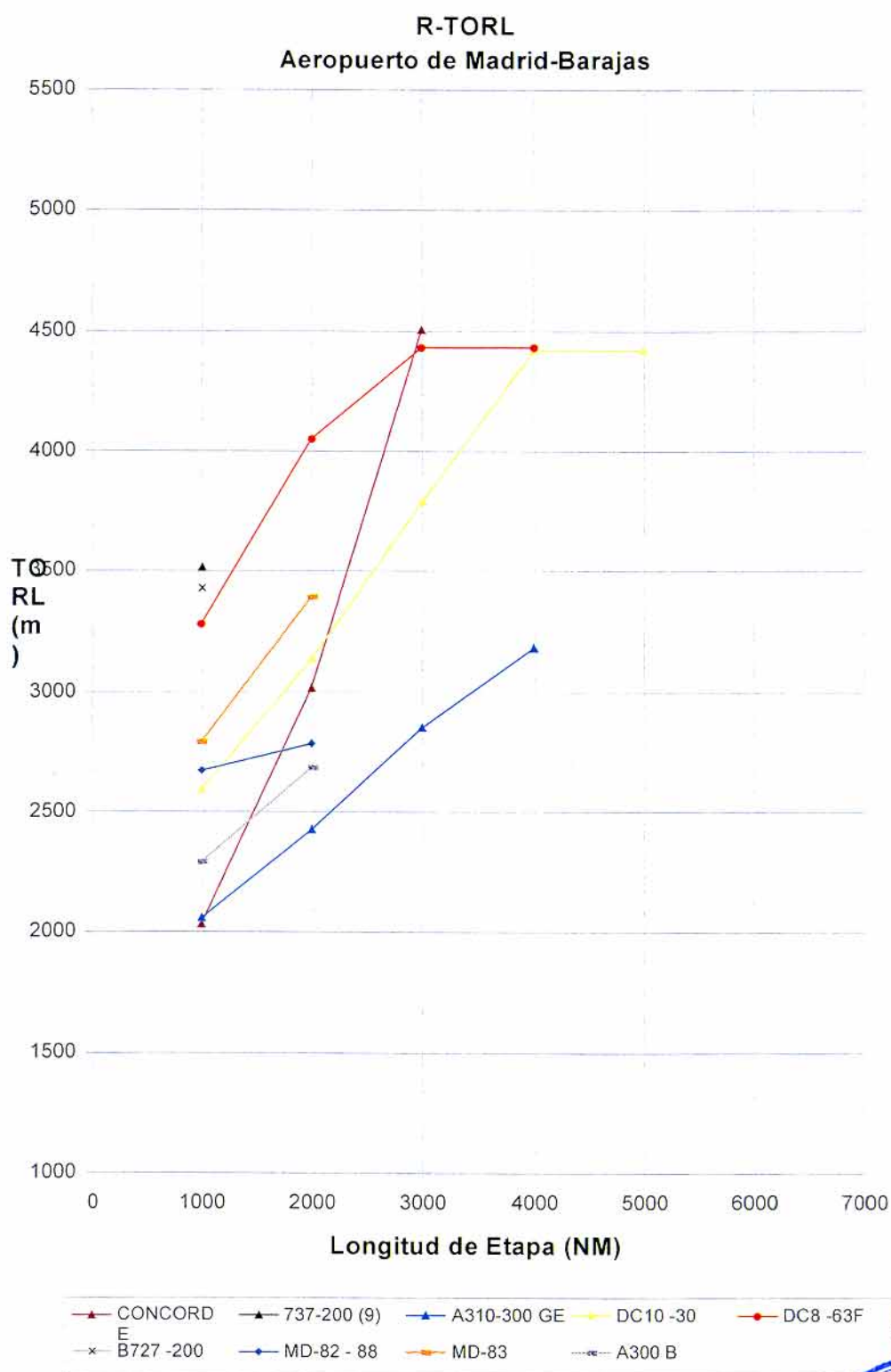


- ◆ BAE 146-200
- MD-81
- ◆ C-130-H
- ▲ L1011-200
- 737-200 (17R)
- ▲ A310-300 PW
- ◆ BAC-111 /475
- DC9 -32
- ◆ DC10 -40
- ◆ DC8 -63

Fuente: fsam



Ilustración 6f



Fuente: fsam.



Tabla 8.- Longitud de pista de despegue (m) en el Aeropuerto de Madrid-Barajas

	Longitud de etapa (NM)					
	1000	2000	3000	4000	5000	6000
MD11	2438	2786	3204	3719	4067	4067
A340-200	2549	2633	2848	2967	3148	3566
A320-200	2974	3830				
B777-200	2445	2758	3225	3225	3225	3225
B747-400	2124	2549	2960	3399	3900	4457
B757-200	2124	2424	2647			
B767-200	2089	2424	2535	2535		
B767-300ER	2424	2716	3350	4332	4332	4332
BAE 146-200	2017					
MD-81	3078	3078				
C-130-H	1398	1816	2165			
L1011-200	2518	3181	3821	3821		
CONCORDE	2034	3019	4507			
B737-200 QC JT8D-9/9A	3516					
B737-200 QC JT8D- 17R/17AR	2904	3269				
A310-300 GE	2065	2424	2848	3184		
A310-300 PW	2155	2573	3074	3269		
BAC-111 475	2710					
DC9 -32	3201					
DC10 -30	2595	3135	3790	4415	4415	
DC10 -40	2597	3171	3875	4372	4372	
DC8 -63	2889	3606	4508	4984	4984	
DC8 -63F	3286	4054	4429	4429		
B727 -200	3428					
MD-82 - 88	2670	2786				
MD-83	2792	3396				
MD-87	2360	2605				
A300 B	2687	2730				
B737-500	2378	3399	3399			

\* Los valores sombreados corresponden a condiciones de explotación económicamente no rentable, considerando como tales aquellos en que la carga de pago máxima admisible para cada longitud de etapa es menor del 70% de MPL

Fuente: fsam



La elección de la longitud de nuevas pistas se hará en función de las condiciones expuestas en la introducción de este Anexo, sin hacer en este caso consideraciones acerca de la capacidad resultante del aeropuerto completo.

Se resume a continuación qué aeronaves pueden operar sin penalización en la carga de pago para longitudes de pista de 3.000, 3.500 y 4.000 metros, en la Tabla 9.

En color rojo aparecen las longitudes de etapa cuya limitación por pista es menor que 3.000 m; en color azul si la limitación es mayor que 3.000 m y menor que 3.500 m; en color verde para limitación comprendida entre los 3.500 m y 4.000 m; en color negro la limitación es mayor que 4.000 m y en las celdas sombreadas aparecen reflejados los valores de longitud de pista para longitudes de etapa que implican un trayecto no rentable ( $PL < 70\% MPL$ ).

*Longitud de pista 3000 m:* Las aeronaves que operan sin penalización en la carga de pago en una pista de longitud 3000 m son las señaladas con color rojo en la Tabla 9.

- Dentro de las aeronaves consideradas que operan normalmente longitud de etapa corta ( $< 2000$  NM), todas podrían realizar etapas de 1000 NM sin penalización por longitud de pista salvo: MD-81, B737-200 (9), DC9-32 y B727-200. Las únicas aeronaves capaces de realizar etapas mayores que 2000 NM sin penalización son MD82-88 y MD87.
- Dentro de las aeronaves consideradas que operan normalmente longitud de etapa media ( $\leq 4500$  NM), todas podrían realizar etapas de 2000 NM sin penalización por longitud de pista salvo: L1011, CONCORDE, DC10-30, DC10-40, DC8-63, DC8-63F. Las únicas aeronaves de este tipo capaces de realizar etapas mayores de 3000 NM son el B767-200 y el B757-200.
- Dentro de las aeronaves consideradas que operan normalmente longitud de etapa larga ( $>4500$  NM), todas podrían realizar etapas de más de 3000 NM sin penalización por limitación en la longitud de pista salvo: MD11 y A310-300(PW). La única aeronave capaz de realizar etapas mayores que 4000 NM sin penalización es el A340-200.



Tabla 9.- Conclusiones para pistas de despegue en el Aeropuerto de Madrid-Barajas

	Longitud de etapa (NM)					
	1000	2000	3000	4000	5000	6000
MD11 <sup>(3)</sup>	2438	2786	3204	3719	4067	4067
A340-200 <sup>(3)</sup>	2549	2633	2848	2967	3148	3566
A320-200 <sup>(1)</sup>	2974	3830				
B777-200 <sup>(2)</sup>	2445	2758	3225	3225	3225	3225
B747-400 <sup>(3)</sup>	2124	2549	2960	3399	3900	4457
B757-200 <sup>(2)</sup>	2124	2424	2647			
B767-200 <sup>(2)</sup>	2089	2424	2535	2535		
B767-300ER <sup>(2)</sup>	2424	2716	3350	4332	4332	4332
BAE 146-200 <sup>(1)</sup>	2017					
MD-81 <sup>(1)</sup>	3078	3078				
C-130-H <sup>(2)</sup>	1398	1816	2165			
L1011-200 <sup>(2)</sup>	2518	3181	3821	3821		
CONCORDE <sup>(2)</sup>	2034	3019	4507			
B737-200 QC <sup>(1)</sup> JT8D-9/9A	3516					
B737-200 QC <sup>(2)</sup> JT8D-17R/17AR	2904	3269				
A310-300 GE <sup>(3)</sup>	2065	2424	2848	3184		
A310-300 PW <sup>(3)</sup>	2155	2573	3074	3269		
BAC-111 /475 <sup>(1)</sup>	2710					
DC9 -32 <sup>(1)</sup>	3201					
DC10 -30 <sup>(2)</sup>	2595	3135	3790	4415	4415	
DC10 -40 <sup>(2)</sup>	2597	3171	3875	4372	4372	
DC8 -63 <sup>(2)</sup>	2889	3606	4508	4984	4984	
DC8 -63F <sup>(2)</sup>	3286	4054	4429	4429		
B727 -200 <sup>(1)</sup>	3428					
MD-82 - 88 <sup>(1)</sup>	2670	2786				
MD-83 <sup>(1)</sup>	2792	3396				
MD-87 <sup>(1)</sup>	2360	2605				
A300 B <sup>(1)</sup>	2687	2730				
B737-500 <sup>(1)</sup>	2378	3399	3399			

<sup>(1)</sup> Corto Alcance <sup>(2)</sup> Medio Alcance <sup>(3)</sup> Largo Alcance

Fuente: fsam





*Longitud de pista 3500 m:* Las aeronaves que operan sin penalización en la carga de pago en una pista de longitud 3500 m son las señaladas con color rojo y las señaladas en azul en la Tabla 9.

- Todas las aeronaves consideradas que operan normalmente longitud de etapa corta ( $< 2000$  NM) pueden operar sin limitación por longitud de pista salvo el B737-200 QC (9).
- Dentro de las aeronaves consideradas que operan normalmente longitud de etapa media ( $\leq 4500$  NM), todas las aeronaves pueden operar sin limitación por longitud de pista salvo: B767-300 ER para etapas mayores de 3000, CONCORDE para etapas mayores de 2000 NM, DC8-63 para etapas mayores de 1000 NM y tanto DC10-30 como DC10-40 para etapas mayores de 2000 NM.
- Dentro de las aeronaves consideradas que operan normalmente longitud de etapa larga ( $>4500$  NM), los A310 (GE) y (PW) no presentan limitación por longitud de pista, el MD11 la presenta para etapas mayores que 3000 NM, el B747-400 para etapas mayores de 4000 NM y el A340-200 para etapas mayores de 5000 NM.

*Longitud de pista 4000 m:* Las aeronaves que operan sin penalización en la carga de pago en una pista de longitud 4000 m incluyen a las que lo harían en los dos casos anteriores más las señaladas en color verde en la Tabla 9.

- Con esta longitud de pista todas las aeronaves que operan etapas cortas podrían operar sin penalización las rutas económicamente rentables; también las que operan etapas medias a excepción de: B767-300 ER que queda limitado a partir de 3000 NM, CONCORDE a partir de 2000 NM, DC8-63F a partir de 1000 NM, DC-63 a partir de 2000 NM, y tanto DC10-30 como DC-40 a partir de 3000 NM; para las que operan en etapas largas hay limitación para el MD-11, a partir de 4000 NM, y el B747-400 a partir de 5000NM.



## 7. CONCLUSIONES

### 7.1. ACERCA DE LA LIMITACIÓN EN LA OPERACIÓN

- Con una longitud de pista de 3000 m únicamente no presentan limitación en cuanto a la realización de etapas cortas: BAE 146-200, BAC 111/475, MD82-88, MD87, y A300B, tienen limitación para realizar etapas medias: L1011-200, CONCORDE, B737-200 QC (17), DC10-30, DC10-40, DC8-63 y DC8-63F y únicamente el A340-200 puede realizar etapas largas.
- Con una longitud de pista de 3500 m únicamente el B737-200 QC (9) presenta limitación para realizar etapas cortas, para realizar etapas medias mayores que 3000 NM: L1011-200, CONCORDE, DC10-30, DC10-40, DC8-63, DC8-63F y únicamente el MD11 presenta limitación para realizar etapas largas.
- La pista de 3500 m supone un incremento en la operatividad de la pista para las aeronaves que cubren longitudes de etapa largas, como el A340-200, el B747-400 y el A310-300 (tanto con motorización GE como PW).
- Con una longitud de pista de 4000 m presentarían limitaciones en algunas rutas medias: B767-300 ER, CONCORDE, DC10-30, DC10-40, DC8-63 y DC8-63F, a partir de esta longitud únicamente el MD11 y el B747-400 tendrían penalización para longitudes de etapa a partir de 4000 NM y 5000 NM respectivamente, en etapas largas.
- En el futuro existirá un nuevo grupo de aeronaves, las NLA (New Larger Aircrafts), por lo que sería necesario estudiar la compatibilidad de las mismas con las longitudes de pista estudiadas.

### 7.2. ACERCA DE LA CAPACIDAD DEL SISTEMA DE PISTAS

El método de cálculo utilizado para la longitud de despegue es el recomendado por OACI en el Doc 9157-AN/901, basado en la longitud de campo de referencia de cada aeronave corregida por la altitud de la pista y por la temperatura de referencia del aeropuerto (33 °C). Sin embargo, dado que la corrección total aplicada a la longitud de campo de referencia supone, para el caso de Madrid-Barajas, un valor superior al 35%, es necesario modificar tales valores teniendo en cuenta los requisitos operacionales de cada avión. Para ello se han utilizado los datos de los Airport Planning de los fabricantes de las aeronaves comerciales más representativas (Boeing, Airbus, MD series 80 y DC-9).



La distribución de flota que resulta, con el criterio de posibilidad de despegue con MTOW en la longitud de pista considerada, y análisis de tipo de tráfico según datos actuales, se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10.-- Distribución de flota según longitud de pista

	Pista de 3.000 m	Pista de 3.500 m
<b>Total</b>	54,09 %	81,12 %
<b>Clasificación OACI</b>	% de aeronaves	
A	5,34	5,34
B	0,71	0,71
C	38,07	61,26
D	9,97	13,81
E	0	0
<b>Clasificación por estela turbulenta</b>	% de aeronaves	
L	5,82	5,82
M	44,07	67,26
P	4,20	8,04

Fuente: Elaboración propia

Puede deducirse, a la vista de esta tabla, que es mucho mejor contar con una nueva pista de despegue de 3.500 m, teniendo en consideración únicamente el criterio de utilización (81% frente a 54%).

Además, ante la necesidad de segregar las aeronaves en tierra según su destino, para realizar operaciones independientes despegando simultáneamente desde las dos pistas por rutas que lo permitan y garantizar así la máxima capacidad posible del aeropuerto, es preciso disponer de un campo de vuelos flexible, donde el mayor porcentaje de aeronaves pueda utilizar en cualquier momento y con cualquier carga todas las pistas disponibles.

Respecto a la longitud de pista necesaria para el aterrizaje a la elevación del Aeropuerto, con los datos de los Airport Planning antes mencionados, se observa que toda la flota que despegue en 3.500 m puede aterrizar en menos de 3.000 m. Según esto si una de las pistas se utilizase sólo para aterrizajes (sería el caso de Configuración Norte, que se da el 93-94% del tiempo de operación del aeropuerto), bastaría una longitud de 3.000 m, pero en los momentos en que el aeropuerto se viera obligado a operar en Configuración Sur, se reduciría la operatividad del aeropuerto, mermando su capacidad. No sería admisible, en cualquier caso, un Aeropuerto con capacidad del campo de vuelos desequilibrada según la dirección de los vientos.

Por todo ello, se recomienda construir dos pistas de 3.500 m para garantizar la mayor simetría y flexibilidad posibles en la operación de un aeropuerto con los elevados niveles de tráfico previstos para Madrid.

