



AEROPUERTO DE SAGRES

DISEÑO DEL ÁREA
DE MOVIMIENTO PARA
EL BOEING 737-900 NG

IGNACIO BERNAL MEDINA
CONSTRUCCIÓN DE AEROPUERTOS I



Escuela Técnica Superior de
INGENIERÍA DE SEVILLA

Este documento presenta el diseño del área de movimiento de un aeropuerto de nueva creación situado en la ciudad de Sagres, en Portugal. Se incluyen, a nivel de anteproyecto básico, tanto una memoria descriptiva como los planos del mencionado aeropuerto. El área de movimiento está diseñada en base al avión crítico del aeropuerto, que es el Boeing 737-900. Este consta de una única pista orientada 54º respecto al norte magnético, realizándose las aproximaciones de precisión de categoría I en la dirección 05, y las operaciones de no precisión en la dirección 23. Además cuenta con 15 puestos de estacionamientos para aeronaves: 8 para el Boeing 737-900 y 7 para el Airbus A320-200. El diseño del aeropuerto en su totalidad se ha desarrollado siguiendo las normas y recomendaciones de los siguientes documentos: Anexo 14 y Doc 9157: Manual de diseño de aeródromos (partes I y II), ambos redactados por OACI donde se detallan normas y métodos recomendados internacionales.

A continuación se describen distintos puntos con relación al diseño del aeropuerto reflejados en el siguiente índice. Cabe destacar que en la mayoría de los casos se sigue el orden del mencionado Anexo 14, ya que es uno de los documentos fundamentales para la planificación, el diseño y la construcción de un aeropuerto.

ÍNDICE GENERAL

1. GENERALIDADES Y DATOS SOBRE EL AEROPUERTO

- 1.1 Clave de referencia del aeropuerto
- 1.2 Punto de referencia del aeropuerto
- 1.3 Elevaciones del aeropuerto y de la pista
- 1.4 Temperatura de referencia del aeropuerto

2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

- 2.1 Pista
 - 2.1.1 Orientación de la pista
 - 2.1.2 Longitud de la pista
 - 2.1.3 Anchura de la pista
- 2.2 Márgenes de las pistas
- 2.3 Franjas de pista
- 2.4 Áreas de seguridad de extremo de pista
- 2.5 Zonas libres de obstáculos
- 2.6 Calles de rodaje
- 2.7 Márgenes de las calles de rodaje
- 2.8 Franjas de las calles de rodaje
- 2.9 Plataforma y puestos de estacionamiento
- 2.10 Distancias declaradas

3. PLANOS

- 3.1 Resumen de distancias y medidas
- 3.2 Plano ADC
- 3.3 Plano PDC

4. RECREACIÓN DEL AEROPUERTO

5. BIBLIOGRAFÍA

1. GENERALIDADES Y DATOS SOBRE EL AEROPUERTO

En este primer punto se mencionarán los datos más identificativos del aeródromo relacionados en su mayoría con su ubicación geográfica, tales como el punto de referencia, la temperatura de referencia o la elevación.

1.1. CLAVE DE REFERENCIA DEL AEROPUERTO

La clave de referencia proporciona un método simple para identificar los tipos de aeronaves que pueden operar en un determinado aeródromo. En OACI está compuesta por dos elementos relacionados con las características físicas del avión. El primer elemento es un número basado en la longitud del campo de referencia del avión y el segundo es una letra basada en la envergadura del avión. Del documento “737 Airplane Characteristics for Airport Planning” se obtienen los datos de longitud de campo de referencia (1799m) y envergadura (34,32m) para nuestro el crítico Boeing 737-900 (Figura 1). Atendiendo al manual de diseño de aeródromos (parte I), de donde se obtiene la Tabla 1-1, podemos concluir que nuestro aeropuerto tendrá una clave de referencia 3C.

Tabla 1-1. Clave de referencia de aeródromo

Elemento 1 de la clave	
Núm. de clave	Longitud de campo de referencia del avión
1	Menos de 800 m
2	Desde 800 m hasta 1 200 m (exclusive)
3	Desde 1 200 m hasta 1 800 m (exclusive)
4	Desde 1 800 m en adelante
Elemento 2 de la clave	
Letra de clave	Envergadura
A	Hasta 15 m (exclusive)
B	Desde 15 m hasta 24 m (exclusive)
C	Desde 24 m hasta 36 m (exclusive)
D	Desde 36 m hasta 52 m (exclusive)
E	Desde 52 m hasta 65 m (exclusive)
F	Desde 65 m hasta 80 m (exclusive)

1.2. PUNTO DE REFERENCIA DEL AEROPUERTO

Es el punto cuya situación geográfica designa al aeródromo. En este caso está situado en el centro de la pista, en las coordenadas $37^{\circ}2'19.07''N$ $8^{\circ}57'43.19''W$. La pista tiene una longitud de 3117m, la cual será justificada más adelante, y cuenta con los umbrales 05 y 23. Las coordenadas de estos puntos son $[37^{\circ}1'47''N, 8^{\circ}58'32''W]$ para el umbral de la pista 05 y $[37^{\circ}2'51''N, 8^{\circ}56'55''W]$ para el umbral de la pista 23.

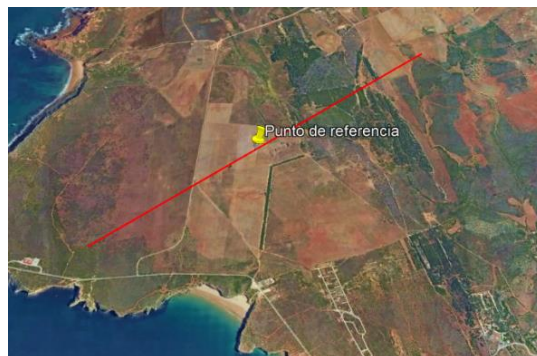


Ilustración 1: punto de referencia del aeropuerto

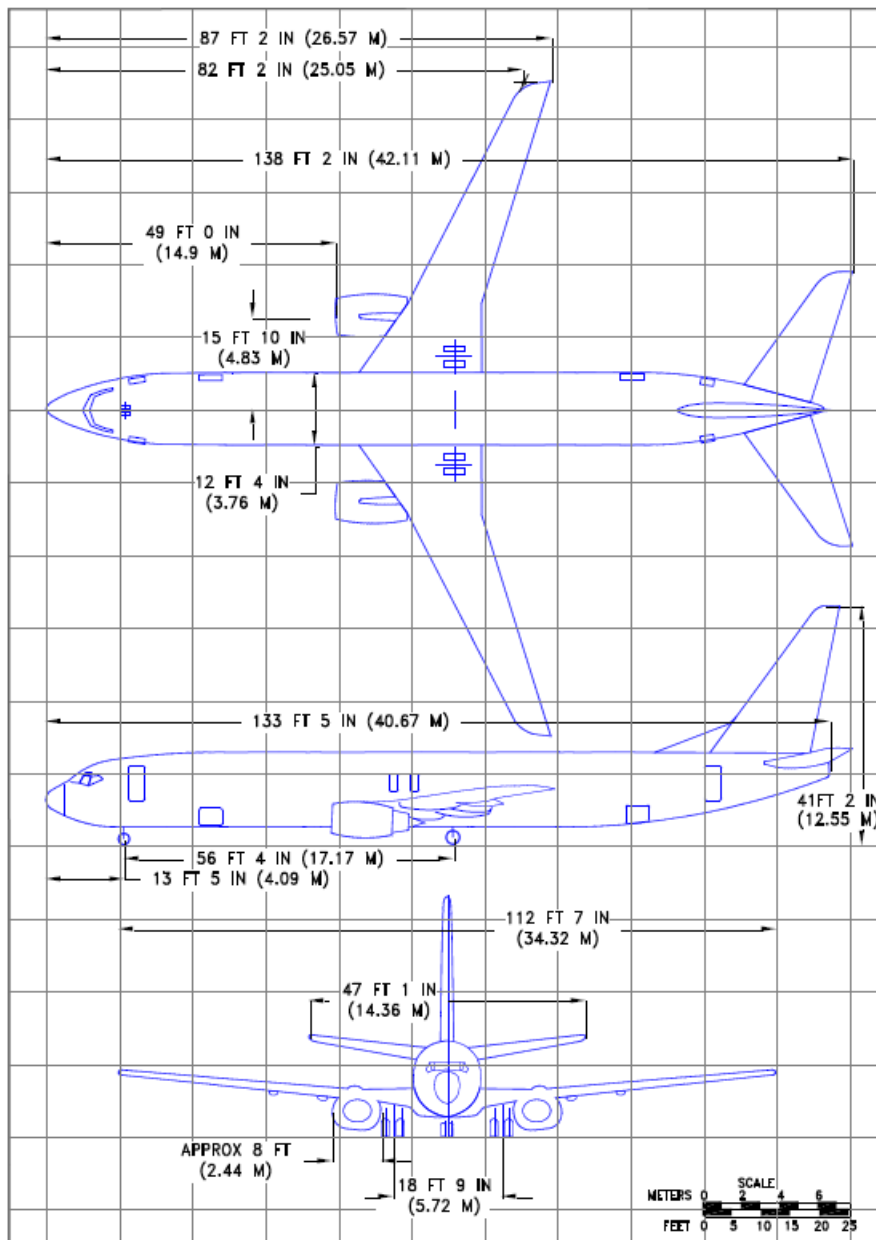


Figura 1. General dimensions: Model 737-900

1.3. ELEVACIONES

Las elevaciones de los puntos más representativos de la pista son: 58m para el umbral de la pista 05, 60m para el punto de referencia y 62m para el umbral de la pista 23. La elevación del aeródromo se define como la del punto más alto del área de aterrizaje, que este caso coincide con la elevación del umbral de la pista 23, 62m.

En relación a los umbrales, ambos están situados en los extremos de pista, es decir, como se verá más adelante, no existen umbrales desplazados en este aeropuerto. De este modo podemos obtener la pendiente longitudinal de la pista, que será del 0,12%. Además se supondrá también una pendiente transversal del 0,5%, cantidad que cumple con las especificaciones indicadas en el manual de diseño de aeródromos (parte I). En la siguiente

gráfica se puede observar el perfil del terreno bajo la pista, donde se muestran todas las elevaciones a lo largo del recorrido de la misma.

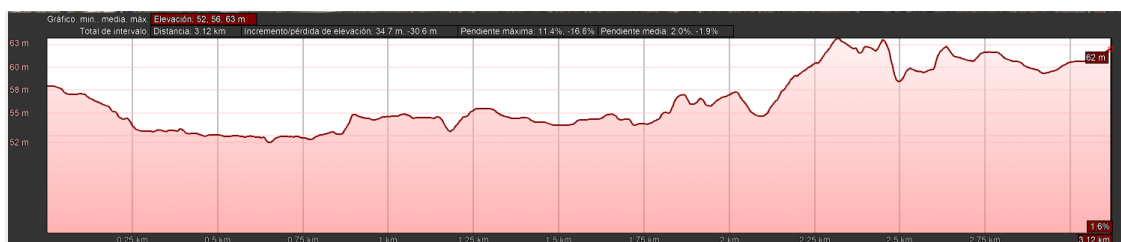


Figura 2. Perfil de elevación del terreno donde se situará la pista.

1.4. TEMPERATURA DE REFERENCIA

Según la recomendación especificada en el Anexo 14, “la temperatura de referencia del aeródromo debería ser 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 varios años”. En el caso del Aeropuerto de Sagres, se dispone de una base de datos la cual contiene 48 mediciones al día de temperatura y viento, en un intervalo de 6 años. Dado que se cumple con la recomendación del Anexo 14, se procede al cálculo de la temperatura de referencia. Para ello es necesario un análisis completo de la base de datos que tendrá como objetivo obtener el mes más caluroso del año, para luego realizar la media mensual de las temperaturas máximas diarias. Tras el análisis, los resultados obtenidos son los siguientes:

mes más caluroso	
mes	Tmed mes
1	9,77049731
2	11,3698443
3	13,4998176
4	16,1309623
5	19,9782165
6	23,4495238
7	25,6422811
8	25,6710445
9	22,7571925
10	19,1779264
11	13,5883068
12	10,3835296

Tmax diarias en agosto		
día	mes	Tmax
1	8	37,2
2	8	36,8
3	8	38,2
4	8	40,6
5	8	36,6
6	8	37,3
7	8	36,9
8	8	40,2
9	8	40,4
10	8	39,9
11	8	42,6
12	8	38,1
13	8	37,5
14	8	37,6
15	8	37,6
16	8	37
17	8	36,2
18	8	35,7
19	8	40,9
20	8	39,6
21	8	39,7
22	8	39,3
23	8	38,5
24	8	34,7
25	8	38,5
26	8	39,8
27	8	38,8
28	8	37,5
29	8	40,7
30	8	41,7
31	8	38

Treferencia	38,519355
-------------	-----------

Tabla 2. Cálculo de la temperatura de referencia.

La temperatura de referencia del aeropuerto será de 38'52°C aproximadamente, una temperatura considerablemente alta y que influirá en la longitud de la pista, como se verá más adelante.

2.1. PISTA

La pista se define como el área rectangular en un aeródromo terrestre preparada para el despegue y aterrizaje de aeronaves. Existen muchos parámetros fundamentales en el diseño de una pista, como son la orientación, anchura o longitud de pista. Estos parámetros dependen tanto del avión crítico como de la ubicación geográfica del aeropuerto.

2.1.1. ORIENTACIÓN DE LA PISTA

Para orientar correctamente la pista es necesario conocer el coeficiente de utilización de la misma. Este se define como el porcentaje de tiempo durante el cual el uso de una pista o sistema de pistas no está limitado por la componente transversal del viento. Dicha componente transversal no debe sobrepasar los 37 km/h para aviones cuya longitud de campo de referencia es mayor que 1500m, como es el caso del B737-900. Una vez determinada la componente transversal máxima, es recomendable tener una primera idea de cuál puede ser la orientación de la pista. Para ello se obtiene la rosa de los vientos del aeródromo a partir de los datos meteorológicos de los que se dispone. En este caso se ha utilizado el programa informático "WRPLOT" desarrollado por Lakes Environmental Software, que entre muchas otras funciones tiene la de genera una rosa de los vientos para una ubicación determinada, dados unos datos meteorológicos. Al igual que ocurría con la temperatura de referencia, este cálculo es más precisos si los datos son plurianuales y con varias mediciones al día. Tras trabajar con el programa se genera la siguiente rosa de los vientos para el aeropuerto:

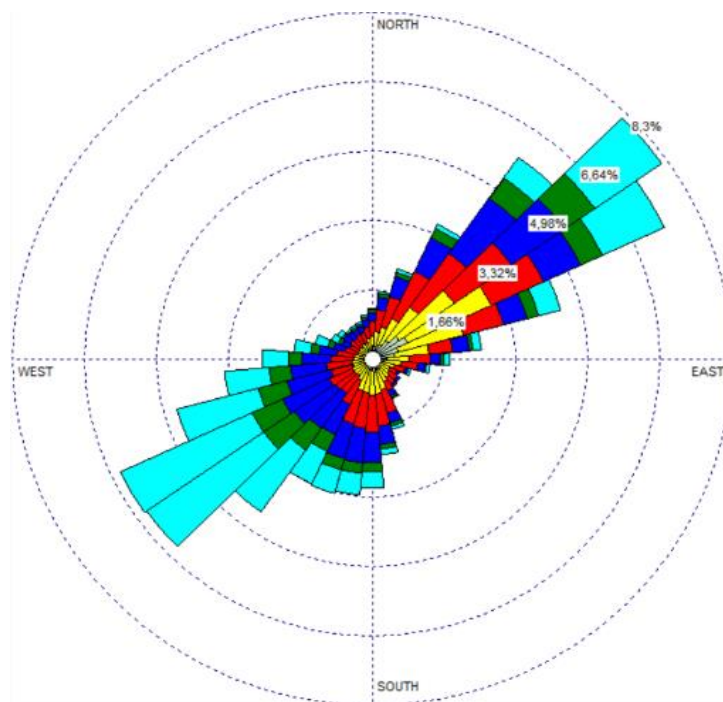


Figura 3. Rosa de los vientos del aeropuerto.

Se observa una distribución bastante uniforme de los vientos, a partir de la cual se puede deducir que la pista estaría orientada en torno a unos 40º-60º. Para determinar con exactitud la orientación de la pista se requiere conocer el coeficiente de utilización de la misma. Este se define como el porcentaje de viento durante el cual el uso de la pista no está limitado por la componente transversal del viento. El programa WRPLOT, además de la rosa de los vientos, también es capaz de analizar los datos meteorológicos y crear una nueva base de datos donde se incluyen la frecuencia e intensidad de los vientos, organizados según su dirección. Esto facilita mucho el análisis y la obtención del coeficiente de utilización.

En la siguiente página se adjuntan dos tablas. La primera son datos importados directamente del programa WRPLOT, organizados como se ha mencionado previamente. En color rojo se marcan los intervalos de intensidades de viento (en este caso son datos en kts) que sobrepasan la componente transversal de 37km/h. En la segunda tabla se calcula la componente transversal de viento en función de la dirección en la que sopla, y refleja si la pista es utilizable o no en esas condiciones. Finalmente se obtiene un coeficiente de utilización del 99,23%, el cual da validez a la orientación de la pista, pues supera el 95% requerido por el Anexo 14. De este modo justificamos las designaciones de los umbrales de la pista, 05 y 23, dependiendo del sentido de la operación.

	Directions / Wind Classes (m/s)	0,50 - 2,10	2,10 - 3,60	3,60 - 5,70	5,70 - 8,80	8,80 - 11,10	>= 11,10	Total
1	355 - 5	0,00216	0,00323	0,00365	0,00201	0,0007	0,00039	0,01214
2	5 - 15	0,00308	0,00364	0,00505	0,00323	0,00085	0,00053	0,01637
3	15 - 25	0,00354	0,0045	0,00741	0,00486	0,00122	0,0007	0,02224
4	25 - 35	0,00391	0,0068	0,01243	0,00894	0,00226	0,00136	0,0357
5	35 - 45	0,00559	0,00969	0,01567	0,01589	0,00597	0,00588	0,0587
6	45 - 55	0,00773	0,01537	0,01617	0,01482	0,00847	0,01868	0,08124
7	55 - 65	0,00911	0,0212	0,01326	0,0094	0,00556	0,01569	0,07422
8	65 - 75	0,00643	0,01544	0,00967	0,00549	0,00275	0,00525	0,04503
9	75 - 85	0,00515	0,00802	0,00549	0,00381	0,001	0,0018	0,02528
10	85 - 95	0,00367	0,00483	0,00512	0,00209	0,0007	0,00146	0,01787
11	95 - 105	0,00286	0,00401	0,00398	0,0015	0,00046	0,00078	0,01358
12	105 - 115	0,0025	0,00308	0,00253	0,00068	0,00015	0,00029	0,00923
13	115 - 125	0,00207	0,00257	0,00192	0,00051	0,00015	0,00005	0,00728
14	125 - 135	0,00229	0,0027	0,00218	0,00068	0,00014	0	0,00799
15	135 - 145	0,0026	0,00277	0,00194	0,00061	0,0002	0,00015	0,00828
16	145 - 155	0,00286	0,00333	0,00246	0,00138	0,00046	0,00039	0,01088
17	155 - 165	0,00316	0,00464	0,00563	0,00267	0,00071	0,00093	0,01775
18	165 - 175	0,00326	0,00539	0,00751	0,00452	0,00099	0,00153	0,0232
19	175 - 185	0,00279	0,00609	0,00886	0,00719	0,00204	0,00384	0,0308
20	185 - 195	0,00279	0,00537	0,00857	0,00826	0,00269	0,00508	0,03276
21	195 - 205	0,00279	0,00517	0,00841	0,00843	0,0027	0,00578	0,03329
22	205 - 215	0,00233	0,00342	0,00644	0,00802	0,00432	0,00865	0,03318
23	215 - 225	0,00209	0,00286	0,00513	0,01039	0,00639	0,01778	0,04464
24	225 - 235	0,00204	0,00321	0,00524	0,01163	0,00852	0,03269	0,06332
25	235 - 245	0,00172	0,0034	0,00605	0,0118	0,00763	0,03332	0,06392
26	245 - 255	0,00167	0,00314	0,00525	0,01039	0,0069	0,01931	0,04666
27	255 - 265	0,00194	0,00287	0,00593	0,00841	0,0049	0,01001	0,03407
8	265 - 275	0,00153	0,00287	0,00513	0,00673	0,00299	0,00603	0,0253
29	275 - 285	0,00161	0,00246	0,00413	0,00408	0,00194	0,00394	0,01817
30	285 - 295	0,00168	0,00195	0,00299	0,00279	0,00136	0,00314	0,01392
31	295 - 305	0,00155	0,00197	0,00236	0,00224	0,00063	0,00184	0,01059
32	305 - 315	0,00172	0,00211	0,00255	0,00195	0,00053	0,00104	0,00989
33	315 - 325	0,00165	0,00201	0,0025	0,00177	0,00032	0,0007	0,00894
34	325 - 335	0,00175	0,00229	0,00263	0,00136	0,00063	0,00051	0,00918
35	335 - 345	0,0018	0,00235	0,0026	0,00153	0,00046	0,00053	0,00926
36	345 - 355	0,00221	0,00267	0,00287	0,00192	0,00059	0,00039	0,01066
Sub-Total		0,10763	0,17743	0,20974	0,192	0,08828	0,21048	0,98555
Calms								0,01443
Missing/Incomplete								0,00002

Orientación pista	54
----------------------	----

%rojo	dir viento	seno	crosswind	Pista utilizable
0,00109	0	0,809016994	8,980088638	SI
0,00138	10	0,69465837	7,710707912	SI
0,00192	20	0,559192903	6,207041229	SI
0,00362	30	0,406736643	4,514776738	SI
0,01185	40	0,241921896	2,685333041	SI
0,02715	50	0,069756474	0,774296859	SI
0,02125	60	0,104528463	1,160265942	SI
0,008	70	0,275637356	3,05957465	SI
0,0028	80	0,438371147	4,865919729	SI
0,00216	90	0,587785252	6,5244163	SI
0,00124	100	0,7193398	7,984671784	SI
0,00044	110	0,829037573	9,202317055	SI
0,0002	120	0,913545458	10,14035458	SI
0,00014	130	0,970295726	10,77028256	NO
0,00035	140	0,99756405	11,07296096	NO
0,00085	150	0,994521895	11,03919304	NO
0,00164	160	0,961261696	10,67000482	NO
0,00252	170	0,898794046	9,976613914	SI
0,00588	180	0,809016994	8,980088638	SI
0,00777	190	0,69465837	7,710707912	SI
0,00848	200	0,559192903	6,207041229	SI
0,01297	210	0,406736643	4,514776738	SI
0,02417	220	0,241921896	2,685333041	SI
0,04121	230	0,069756474	0,774296859	SI
0,04095	240	0,104528463	1,160265942	SI
0,02621	250	0,275637356	3,05957465	SI
0,01491	260	0,438371147	4,865919729	SI
0,00902	270	0,587785252	6,5244163	SI
0,00588	280	0,7193398	7,984671784	SI
0,0045	290	0,829037573	9,202317055	SI
0,00247	300	0,913545458	10,14035458	SI
0,00157	310	0,970295726	10,77028256	NO
0,00102	320	0,99756405	11,07296096	NO
0,00114	330	0,994521895	11,03919304	NO
0,00099	340	0,961261696	10,67000482	NO
0,00098	350	0,898794046	9,976613914	SI

% días no utilizables	0,77
coef utilización	99,23

Tabla 3. Cálculo del coeficiente de utilización

2.1.2. LONGITUD DE PISTA

Como se especifica en el Anexo 14, *“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”*. Del documento Airport Planning Manual del B737-900 se obtienen las distancias necesarias para el despegue (2450m) y el aterrizaje (1830m) en condiciones estándar. No obstante, debido a la ubicación geográfica del aeropuerto son necesarias correcciones en la longitud de la pista por elevación, temperatura y pendiente. Siguiendo el procedimiento indicado en el manual de diseño de aeródromos (parte I), se obtiene una longitud de pista tras correcciones de 3117m. A continuación se detallan los cálculos. Inicialmente se parte de la longitud necesaria para el despegue, pues es la más crítica de ambas. Los datos de los que se disponen son: elevación del aeropuerto (60m), temperatura de referencia (38,52°C), temperatura a 60m en condiciones ISA (14,5°C) y pendiente de la pista (0,12).

- **Corrección por elevación:**

$$2450 + (2450 * 0,07 * \frac{60}{300}) = 2484m$$

- **Corrección por temperatura:**

$$2484 + (2484 * (38,52 - 14,5) * 0,01) = 3080m$$

- **Corrección por pendiente:**

$$3080 + (3080 * 0,12 * 0,1) = 3117m$$

2.1.3. ANCHURA DE PISTA

Para determinar la anchura de la pista es necesario conocer dos parámetros: la clave de referencia del aeródromo y la anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal del avión (OMGWS). El B737-900 cuenta con una distancia OMGWS de 5,72m, dato que se obtiene del Airport Planning Manual (figura 1). Dado que la clave de referencia del aeropuerto es 3C, y atendiendo a los requisitos del manual de diseño de aeródromos (tabla 4), establecemos una anchura de 30m para nuestra pista.

Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal (OMGWS)				
Número de clave	Hasta 4,5 m (exclusive)	Desde 4,5 m hasta 6 m (exclusive)	Desde 6 m hasta 9 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 15 m (exclusive)
1 ^a	18 m	18 m	23 m	—
2 ^a	23 m	23 m	30 m	—
3	30 m	30 m	30 m	45 m
4	—	—	45 m	45 m

a. La anchura de toda pista de aproximación de precisión no debería ser inferior a 30 m, cuando el número de clave sea 1 ó 2.

Tabla 4. Anchura de pista según número de clave y OMGWS.

2.2. MÁRGENES

Los márgenes se definen como las bandas de terreno que bordean la pista, de forma que sirven de transición entre la pista y el terreno adyacente. El Anexo 14 no especifica nada acerca de los márgenes de pista para aeropuertos con letra de clave C, sin embargo sí lo hace para las letras D, E y F: “3.2.1 Recomendación. — Deberían proveerse márgenes en toda pista cuya letra de clave sea D, E o F.” Por razones de seguridad, en este aeropuerto se considerarán márgenes suponiendo una letra de clave D, pues no son obligatorios para un aeropuerto con clave 3C, pero sí muy recomendables.

Según el manual de diseño de aeródromos, los márgenes de la pista deben prepararse o construirse a partir del borde de la pista paralelo al eje, de manera que puedan soportar el peso de un avión que se salga de la pista sin que éste sufra daños estructurales, y soportar los vehículos terrestres que puedan circular sobre el mismo. Además, los márgenes deben extenderse simétricamente a ambos lados de la pista de forma que la anchura total de ésta y sus márgenes no sea inferior a 60m cuando la letra de clave sea D. De este modo los márgenes para la pista del aeropuerto tendrán una anchura de 30m a cada lado partiendo desde el eje de pista, sumando así junto a la pista los 60m requeridos, como se refleja en la siguiente imagen:

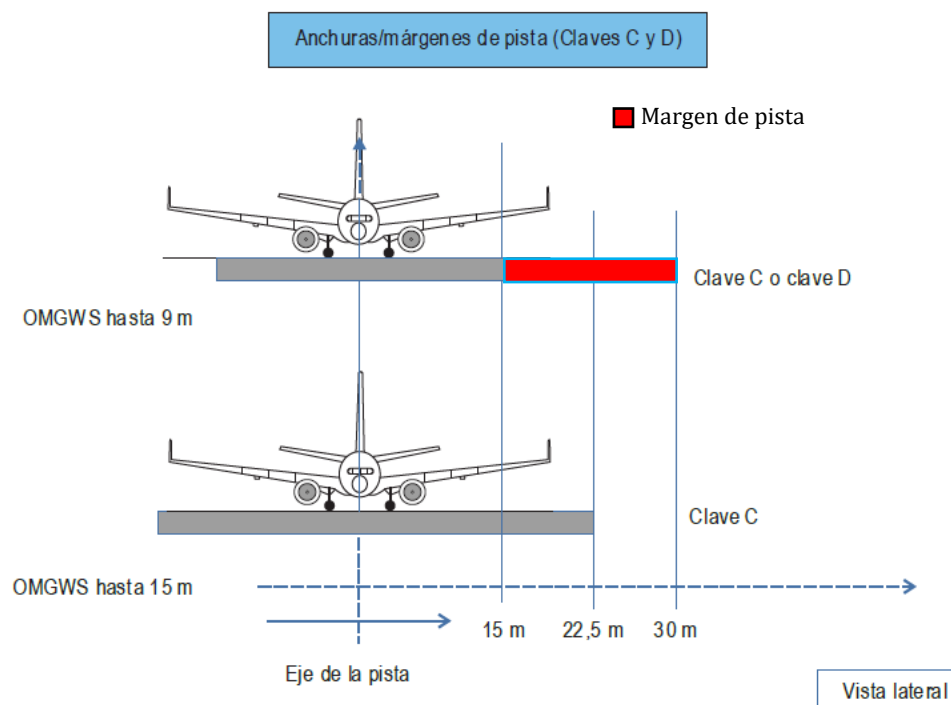


Figura 4. Anchuras y márgenes de pista para letras de clave C y D

2.3. FRANJA DE PISTA

La franja de pista se define en el Anexo 14 como “una superficie que comprende la pista y la zona de parada (si la hubiese) destinada a reducir el riesgo de daños a las aeronaves que se salgan de la pista, y proteger a las aeronaves que la sobrevuelan durante las operaciones de despegue y aterrizaje”. Provee un área libre de objetos que pudieran poner en peligro a las aeronaves. Según las especificaciones del manual de diseño de aeródromos, la franja ha de extenderse 60m antes de cada umbral y 140m lateralmente a cada lado del eje de la pista cuando el número de clave sea 3.

La franja tendrá una forma rectangular, pues las distancias requeridas en el Anexo 14 para la pista de aproximación de precisión, son las mismas que se recomiendan para la pista de aproximación de no precisión (140m a cada lado del eje de pista). La única diferencia se encuentra en que en aproximaciones de precisión esta distancia es obligatoria, y en las de no precisión es recomendada.

Según el Anexo 14, la parte de una franja que comprenda una pista de vuelo por instrumentos debería proveer, hasta una distancia de por lo menos 75m del eje de pista cuando el número de clave sea 3, un área nivelada para atender a los aviones en caso de que alguno se salga de la pista. No obstante, en el caso de aproximaciones de precisión se recomienda una anchura mayor si el número de clave es 3 ó 4. En este caso se ha ampliado la anchura de la parte nivelada hasta los 105m, reduciéndose hasta los 75m de anchura en el tramo que recorre el extremo de franja, hasta 150m pasado el umbral, como se indica en el siguiente esquema:

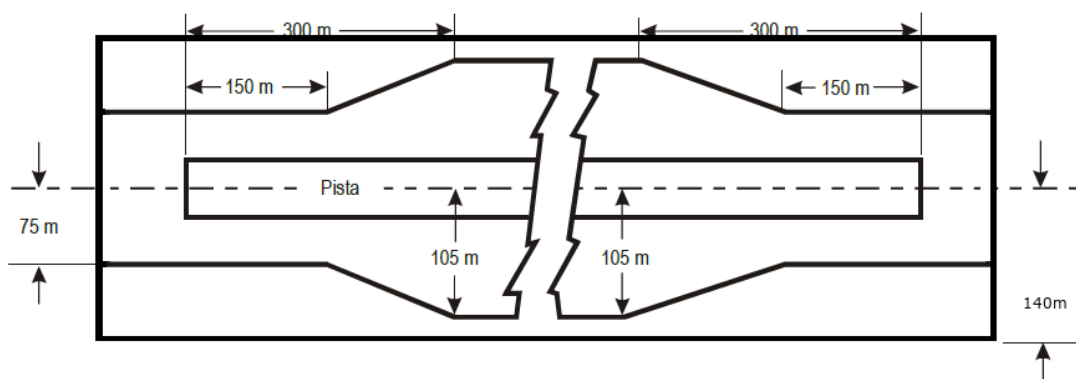


Figura 5. Medidas de la franja de pista y la parte nivelada.

2.4. ÁREAS DE SEGURIDAD DE EXTREMO DE PISTA (RESA)

El área de seguridad de extremo de pista, o RESA, es una zona adicional que se extiende más allá de los extremos de la franja de pista, con la finalidad de minimizar los daños sufridos por las aeronaves que realicen aterrizajes y despegues demasiado cortos o largos. Estas zonas deberán estar libres de instalaciones y objetos no frangibles.

Debe proveerse una RESA en cada extremo de la franja de pista cuando el número de clave sea 3 ó 4. En cuanto a su longitud, el Anexo 14 establece una longitud mínima de 90m a partir del extremo de franja. En el caso de este aeropuerto la longitud será de 150m. El único requisito que se establece para la anchura es que sea por lo menos el doble de la anchura de pista correspondiente ($30 \times 2 = 60\text{m}$), aunque se recomienda que esta anchura sea igual a la anchura de la parte nivelada de la franja de pista (150m). De este modo, establecemos dos RESA en el aeropuerto de dimensiones 150×150 metros, una en cada extremo de franja de pista.

2.5. ZONA LIBRE DE OBSTÁCULOS

La zona libre de obstáculos de un aeropuerto es un área rectangular, definida en el terreno o en el agua, situada a continuación del extremo de pista, en el sentido del despegue, designada y preparada como zona adecuada sobre la cual pueden efectuar las aeronaves una parte de la subida inicial hasta una altura especificada. El Anexo 14 recomienda que la zona libre de obstáculos debería estar en el extremo del recorrido de despegue disponible.

Se establece también una recomendación para la anchura, la cual debe extenderse a cada lado del eje de la pista una distancia de 75m. En cuanto a la longitud, la única recomendación reflejada en el Anexo 14 es que no debería exceder la mitad de la longitud del recorrido de despegue disponible. Así, establecemos una longitud de 75m (pues cumple con la recomendación) de modo que las medidas de la zona libre de obstáculos son 75x75 metros.

2.6. CALLES DE RODAJE

Una calle de rodaje es una vía definida en un aeródromo terrestre establecida para el rodaje de aeronaves y destinada a proporcionar enlace entre una y otra parte del aeródromo. En esta definición también se incluye la calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronave. Esta es la parte de una plataforma designada como calle de rodaje y destinada a proporcionar acceso a los puestos de estacionamiento de aeronaves solamente. Existen también otros tipos de calles de rodaje, como la calle de rodaje en plataforma o la calle de salida rápida, no obstante, no las encontraremos en este aeropuerto.

El Anexo 14 especifica claramente que deben proveerse calles de rodaje para permitir el movimiento seguro y rápido de las aeronaves en la superficie. En cuanto a sus dimensiones, es necesario conocer la distancia OMGWS de la aeronave, que como se mencionó anteriormente, es de 5,72m para el avión crítico. De este modo, según la tabla 5 (extraída del Anexo 14) es necesaria una distancia libre de 2,25m entre la rueda exterior del tren principal y el borde de la calle de rodaje.

	OMGWS			
	Hasta 4,5 m (exclusive)	Desde 4,5 m hasta 6 m (exclusive)	Desde 6 m hasta 9 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 15 m (exclusive)
Distancia libre	1,50 m	2,25 m	3 m ^{a,b} o 4 m ^c	4 m

^a En tramos rectos.

^b En tramos curvos, si la calle de rodaje está prevista para aviones con base de ruedas inferior a 18 m.

^c En tramos curvos, si la calle de rodaje está prevista para aviones con base de ruedas igual o superior a 18 m.

Tabla 5. Distancia libre en calles de rodaje.

No obstante, en este documento también se recomiendan medidas para la anchura de la calle de rodaje atendiendo a la distancia OMGWS del avión. En la tabla 6 se reflejan estas medidas que justifican la anchura de las calles de rodaje en nuestro aeropuerto, que será de 11m.

	OMGWS			
	Hasta 4,5 m (exclusive)	Desde 4,5 m hasta 6 m (exclusive)	Desde 6 m hasta 9 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 15 m (exclusive)
Anchura de la calle de rodaje	7,50 m	10,5 m	15 m	23 m

Tabla 6. Anchura recomendada de las calles de rodaje.

Con el fin de facilitar el movimiento de los aviones, deben proveerse superficies de enlace en las uniones e intersecciones de las calles de rodaje con pistas, plataformas y otras calles de rodaje. El diseño de las superficies de enlace debería asegurar que se conservan las distancias mínimas libres entre ruedas y borde especificadas en las tablas 5 y 6 cuando los

aviones maniobran en las uniones o intersecciones. Del Airport Planning Manual para el B737-900 obtenemos las medidas necesarias de la superficie de enlace, que serán las que indica la figura 6. Se observa como la desviación máxima del tren de aterrizaje es de 0,6m fuera del borde de la pista. Esta desviación se corrige con una superficie de enlace con una medida de 2,85m en su parte más ancha ($2,25+0,6$) para respetar la distancia libre mencionada en la tabla 5.

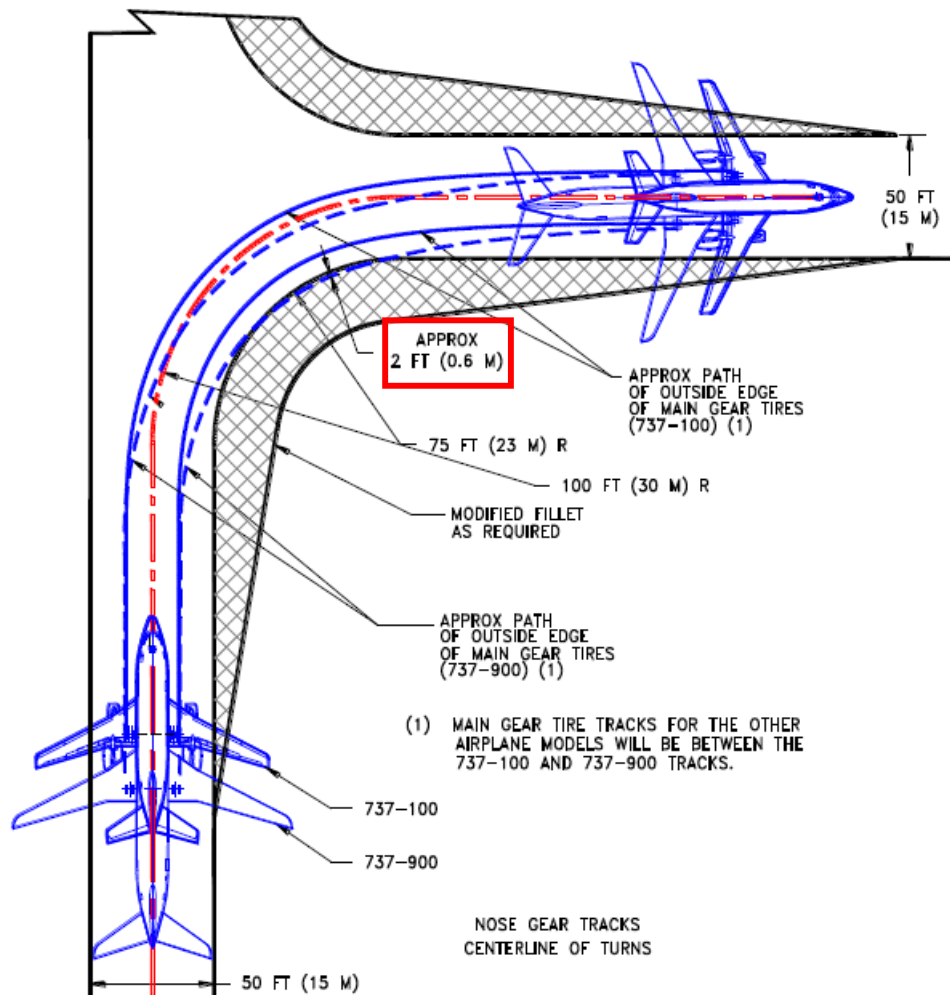


Figura 6. Taxiway turn paths, 90 degrees.

La disposición de las calles de rodaje está reflejada en el documento [ADC](#) del aeropuerto, no obstante, aquí se indican las siguientes distancias, las cuales cumplen todas con las normas y recomendaciones del manual de diseño de aeródromos (tabla 7).

- Distancia de separación entre pista y calle de rodaje A: **158m**
- Distancia entre el umbral 05 y la prolongación del eje de la calle A6: **1900m**. Esto se debe a que la distancia para el aterrizaje en pista seca es de 1830m, y en estas condiciones, el avión podría utilizar esta calle salir antes de la pista. La misma distancia existe entre el umbral 23 y la calle A2, por el mismo motivo.
- Distancia entre calles A3 y A4: **269m**
- Distancia entre calles A4 y A5: **210m**
- Distancia calle de rodaje A y plataforma: **44m**

Características físicas	Anchura total del tren de aterrizaje principal					
	Hasta 4,5 m (exclusive)	Desde 4,5 m hasta 6 m (exclusive)	Desde 6 m hasta 9 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 15 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 15 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 15 m (exclusive)
Anchura mínima de:						
pavimento de la calle de rodaje	7,5 m	10,5 m	17 m ^a 15 m ^{b,c}	23 m ^c	23 m	23 m
parte nivelada de la franja de la calle de rodaje	20,5 m	22 m	25 m	37 m	38 m	44 m
Distancia libre mínima entre la rueda exterior del tren de aterrizaje principal y el borde de la calle de rodaje	1,5 m	2,25 m	4,0 m ^a 3 m ^b	4,0 m	4,0 m	4,0 m
Características físicas	Letra de clave					
	A	B	C	D	E	F
Anchura mínima de						
pavimento y margen de la calle de rodaje	—	—	25 m	34 m	38 m	44 m
franja de la calle de rodaje	31 m	40 m	52 m	74 m	87 m	102 m
Separación mínima entre el eje de la calle de rodaje y:						
eje de una pista de vuelo por instrumentos						
número de clave 1	77,5 m	82 m	88 m	—	—	—
número de clave 2	77,5 m	82 m	88 m	—	—	—
número de clave 3	—	152 m	158 m	166 m	172,5 m	180 m
número de clave 4	—	—	158 m	166 m	172,5 m	180 m
eje de una pista que no sea de vuelo por instrumentos						
número de clave 1	37,5 m	42 m	48 m	—	—	—
número de clave 2	47,5 m	52 m	58 m	—	—	—
número de clave 3	—	87 m	93 m	101 m	107,5 m	115 m
número de clave 4	—	—	93 m	101 m	107,5 m	115 m
eje de calle de rodaje	23 m	32 m	44 m	63 m	76 m	91 m
objeto						
calle de rodaje	15,5 m	20 m	26 m	37 m	43,5 m	51 m
calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves	12 m	16,5 m	22,5 m	33,5 m	40 m	47,5 m

Tabla 7. Criterios relativos al diseño de una calle de rodaje.

2.7. MÁRGENES DE LAS CALLES DE RODAJE

Según el manual de diseño de aeródromos (parte II) el fin principal por el que se construye un margen de calle de rodaje es prevenir que los motores de reacción que sobresalen del borde de la calle de rodaje ingieran piedras u otros objetos que puedan producir daños al motor, además de prevenir la erosión del área adyacente a la calle de rodaje y proporcionar una superficie para el paso ocasional de las ruedas de las aeronaves.

Una de las recomendaciones del Anexo 14 es que los tramos rectilíneos de las calles de rodaje que sirvan a pistas de letra de clave C o mayor deberían tener márgenes que se extiendan simétricamente a ambos lados de la calle de rodaje, de modo que la anchura total de la calle de rodaje y sus márgenes en las partes rectilíneas no sea menor de 25m cuando la letra de clave sea C. De este modo, se establecen unos márgenes de 13m a cada lado de la calle desde el eje de la misma calle de rodaje, resultando una anchura conjunta de calle y márgenes de 26m.

2.8. FRANJA DE LA CALLE DE RODAJE

Una franja de calle de rodaje es una zona, que incluye una calle de rodaje, destinada a proteger a una aeronave que esté operando en ella y a reducir el riesgo de daño en caso de que accidentalmente se salga de ésta. Cada calle de rodaje, excepto las de acceso al puesto de estacionamiento de la aeronave, deberá estar situada dentro de una franja. La anchura de dicha franja viene determinada en la tabla 8, y como se puede observar será de 52m, pues el Anexo 14 recomienda lo siguiente: *“Cada franja de calle de rodaje debería extenderse simétricamente a ambos lados del eje de la calle de rodaje y en toda la longitud de ésta hasta la distancia con respecto al eje especificada en la columna 11 de la Tabla 8, por lo menos.”*

Letra de clave	Distancia entre el eje de una calle de rodaje y el eje de una pista (metros)								Distancia entre el eje de una calle de rodaje que no sea calle de acceso a un puesto de estacionamiento de aeronaves y un objeto (metros)	Distancia entre el eje de una calle de acceso a un puesto de estacionamiento de aeronaves y el eje de otra calle de acceso (metros)	Distancia entre el eje de la calle de acceso a un puesto de estacionamiento de aeronaves y un objeto (metros)	
	Pistas de vuelo por instrumentos Número de clave				Pistas de vuelo visual Número de clave							
	1	2	3	4	1	2	3	4				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
A	77,5	77,5	–	–	37,5	47,5	–	–	23	15,5	19,5	12
B	82	82	152	–	42	52	87	–	32	20	28,5	16,5
C	88	88	158	158	48	58	93	93	44	26	40,5	22,5
D	–	–	166	166	–	–	101	101	63	37	59,5	33,5
E	–	–	172,5	172,5	–	–	107,5	107,5	76	43,5	72,5	40
F	–	–	180	180	–	–	115	115	91	51	87,5	47,5

Tabla 8. Distancias mínimas de separación de las calles de rodaje.

Además, siguiendo también las recomendaciones del Anexo 14, la parte central de la franja de una calle de rodaje debe proporcionar una zona nivelada a una distancia del eje de la calle de rodaje no inferior a 11m cuando la OMGWS sea de 4,5 a 6 metros. Se establece así una franja nivelada de 13m a cada lado del eje de la calle de rodaje, que hacen un total de 26m.

2.9. PLATAFORMA Y PUESTOS DE ESTACIONAMIENTO

La plataforma de un aeropuerto es una zona definida destinada a dar cabida a las aeronaves, para los fines de embarque o desembarque de pasajeros, correo o carga, abastecimiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento. En el caso de este aeropuerto estará dedicada mayoritariamente al tráfico de pasajeros. En este caso, la plataforma es una zona utilizada para las maniobras y estacionamiento de las aeronaves que está situada junto a las instalaciones de la terminal de pasajeros o que ofrece fácil acceso a las mismas. Desde esta zona los pasajeros que salen de la terminal embarcan en la aeronave. La plataforma de la terminal de pasajeros facilita el movimiento de pasajeros y se utiliza para el abastecimiento de combustible y mantenimiento de aeronaves; no obstante también puede utilizarse para el embarque y desembarque de carga, correo y equipaje en muchos casos. Cada uno de los lugares de estacionamiento de aeronaves en la plataforma de la terminal de pasajeros se denomina puesto de estacionamiento de aeronaves, los cuales se mencionarán más adelante.

En el caso de este aeropuerto, la configuración geométrica de la plataforma, como se puede comprobar en los planos [ADC](#) y [PDC](#) del aeropuerto, es bastante simple. Se trata de una forma aproximadamente rectangular de dimensiones 813,53x474 metros. En la siguiente figura se aprecian de una manera más clara las distancias en la plataforma.



Figura 7. Distancias en la plataforma.

Como se puede apreciar la terminal consta de un diseño híbrido, donde encontramos un concepto de espigón en la zona Oeste, con capacidad de estacionamiento para 10 aeronaves, y una terminal circular en la zona Este con capacidad para 5 aeronaves. En el plano [PDC](#) del aeropuerto se observan varias calles de rodaje de acceso a puestos de estacionamiento. Todas ellas cumplen con el requisito de separación mínima indicado en el manual de diseño de aeródromos (parte II), donde se indica que la distancia entre el eje de una calle de rodaje de acceso a un puesto de estacionamiento y un objeto debe ser como mínimo 22,5m (para letra de clave C).

En cuanto a los puestos de estacionamiento de aeronaves, el aeropuerto cuenta con 15 en total: 8 para el avión crítico, B737-900; y 7 para otro tipo de avión, en este caso el Airbus A320-200. Acorde con la tabla 9, debe existir una distancia mínima libre entre el avión y cualquier objeto de 4,5m (pues ambos aviones tienen una clave 3C), justificándose así la forma de los puestos de estacionamiento en la figura 8. Las medidas para el A320 han sido obtenidas del documento Airport Planning Manual perteneciente al propio avión. En el documento PDC se reflejan ambos tipos de puesto de estacionamiento: en color gris claro los B737, y en gris oscuro los A320.

Letra de clave	Margen
A	3 m
B	3 m
C	4,5 m
D	7,5 m
E	7,5 m
F	7,5 m

Tabla 9. Distancia libre mínima entre el avión y cualquier objeto adyacente.

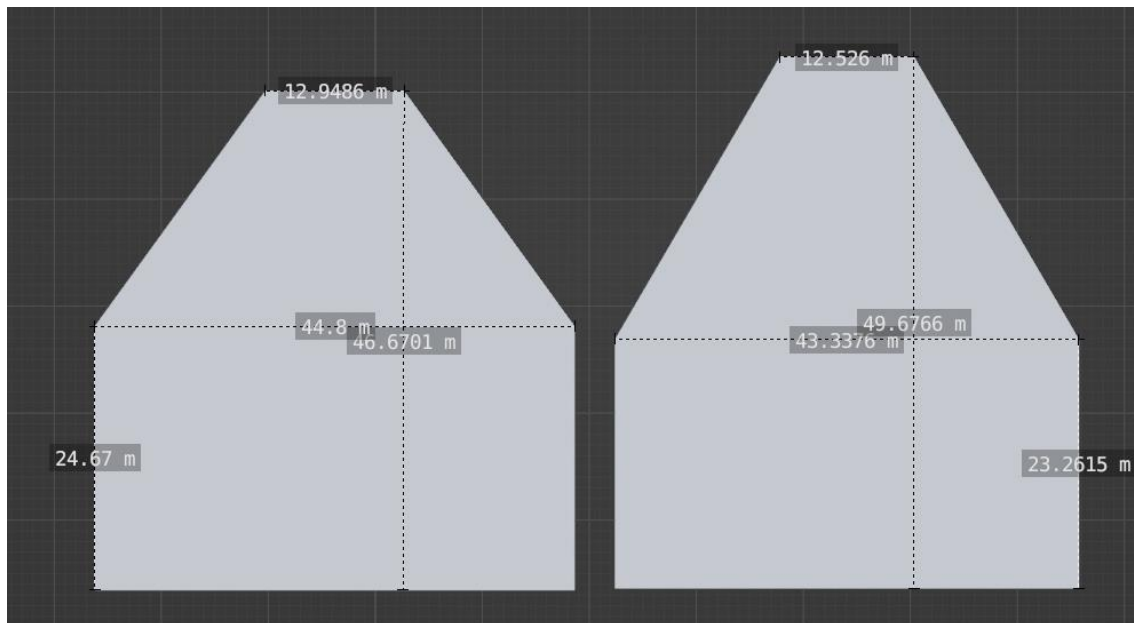


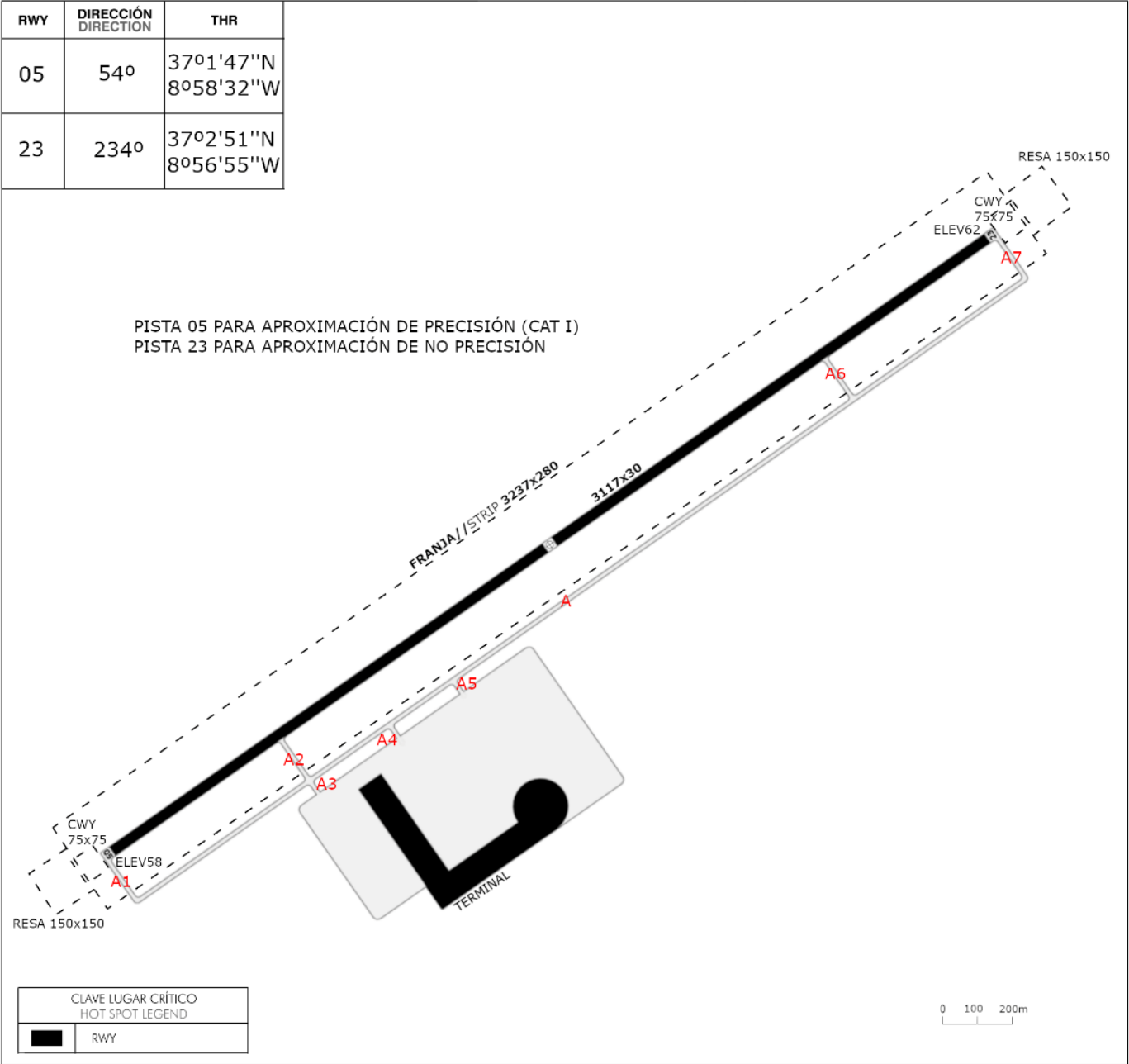
Figura 8. Medidas de los puestos de estacionamiento para el A320 (izq) y el B737 (dcha)

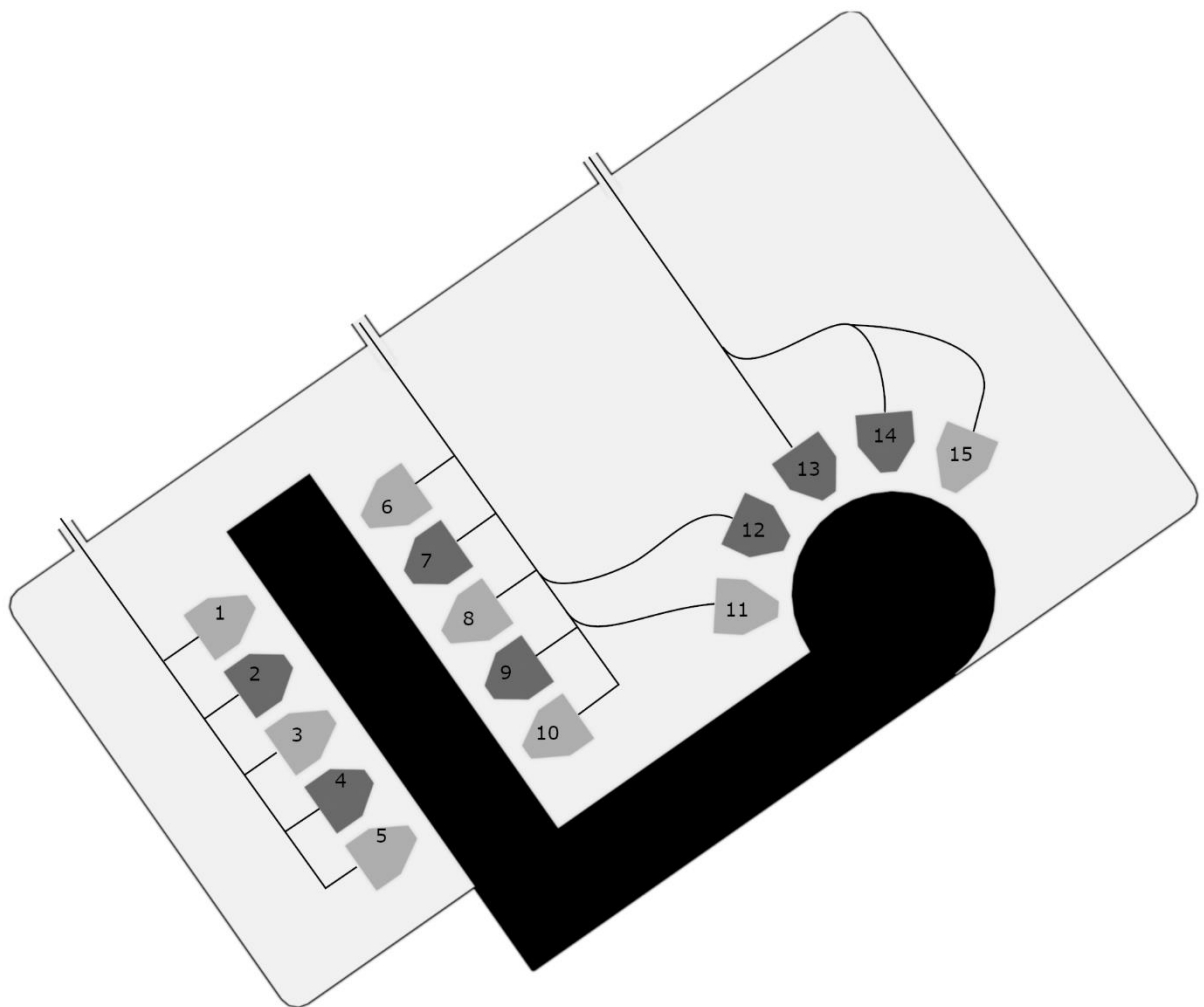
2.10. DISTANCIAS DECLARADAS

Tras concluir el diseño del área de movimiento del Aeropuerto de Sagres, las distancias declaradas son las siguientes:

TORA	3117m
TODA	3192m
ASDA	3117m
LDA	3117m

- **TORA:** es la longitud de recorrido de despegue disponible, es decir, la longitud de la pista que se ha declarado disponible y adecuada para el recorrido en tierra de un avión que despegue.
- **TODA:** es la distancia de despegue disponible. Se define como TORA mas la longitud de la zona libre de obstáculos (75m).
- **ASDA:** distancia de aceleración-parada disponible. Se define como TORA mas la longitud de la zona de parada, la cual no existe en nuestro aeropuerto.
- **LDA:** es la distancia de aterrizaje disponible. La longitud de pista que se ha declarado disponible y adecuada para el recorrido en tierra de un avión que aterrice.





Objeto	Medida (m)
Longitud de pista	3117
Ancho de pista	30
Margen	30 desde eje
RESA	150x150
Zona libre de obstáculos (CWY)	75x75 desde el umbral
Franja	Ver esquema
Horizontal	60
Vertical (desde eje)	140
Nivelada	75 y 105
Puestos de estacionamiento	4,5 de separación

Calles de rodaje	
Anchura	11
Separacion con pista de aprox por instrumentos	158
Separacion entre calles	44
Enlace	2,85m en max
Margen	13 desde eje
Franja	26 desde eje
Nivelada	13 desde eje
Calles A2 y A6	1900 del umbral

Distancias declaradas (m)	
TORA	3117
TODA	3192
ASDA	3117
LDA	3117

OMGWS	5,72
Longitud de referencia	17,17

Estacionamiento 737	
Distancia libre	4,5
Separacion min entre eje calle de acceso y objeto	22,5
Separacion min entre eje calle rodaje en plataforma	26

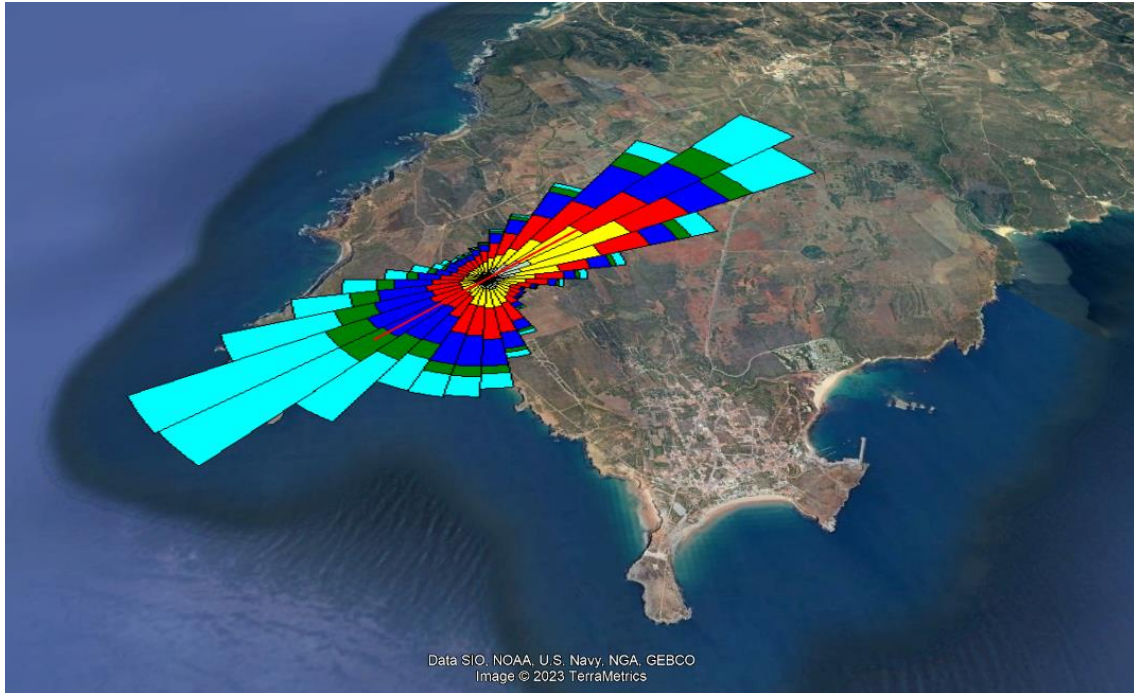
Estacionamiento A320	
Distancia libre	4,5
Separacion min entre eje calle de acceso y objeto	22,5
Separacion min entre eje calle rodaje en plataforma	26

737	
Enverg	34,32
Long	40,67

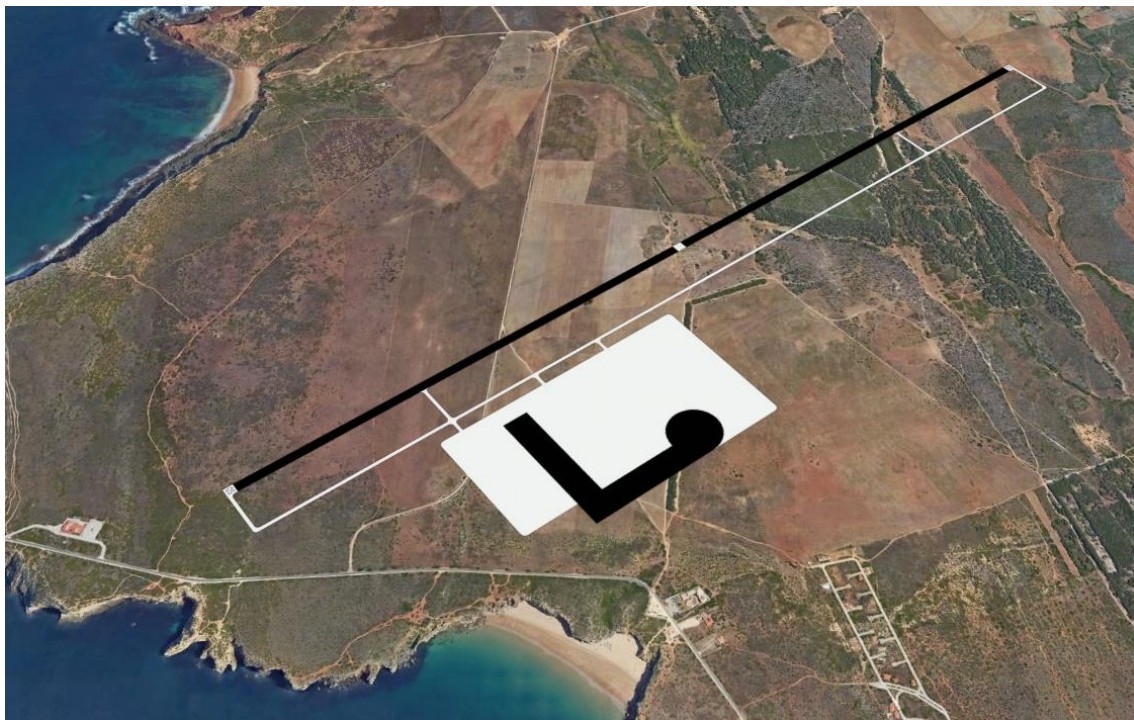
A320	
Enverg	35,8
Long	37,57

Tabla 10. Resumen de las distancias y medidas del aeropuerto.

A continuación, en las siguientes imágenes se presentan varias recreaciones realistas del Aeropuerto de Sagres

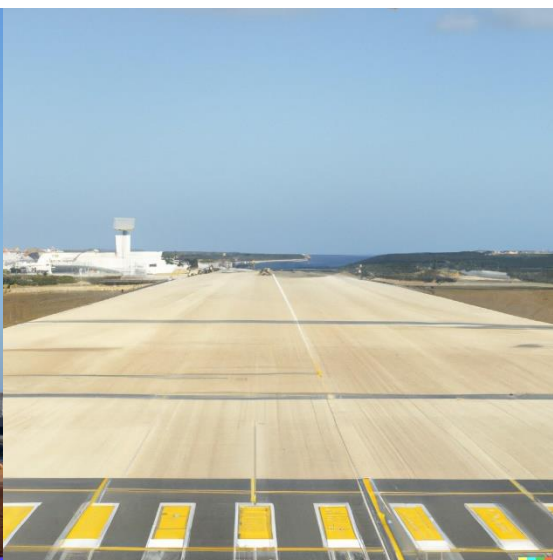


Rosa de los vientos y pista (en rojo) en la ubicación real.



Ubicación real del Aeropuerto de Sagres.

Recreación realista del Aeropuerto e imagen corporativa.



 **AEROPORTO
DE SAGRES**

BIBLIOGRAFÍA

- OACI (2018). Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional: Aeródromos.
- OACI (2020). Doc 9157, Parte 1: Manual de diseño de aeródromos-Pistas.
- OACI (2020). Doc 9157, Parte 2: Manual de diseño de aeródromos-Calles de rodaje, plataformas y apartaderos de espera.
- Boeing (2021). 737 Airplane Characteristics for Airport Planning.
- Airbus (2020). A320 Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning.