

Proyecto Fin de Carrera

Estudio de viabilidad y proyecto de ejecución del sistema de balizamiento de CAT II mediante alimentación por placas solares. Aeropuerto F.G.L. Granada – Jaén

Documento nº1: Memoria

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES	1
1.1 Historia del aeropuerto.....	1
1.2 Consideraciones generales	2
1.2.1 Datos básicos	2
1.2.2 Características operativas de la pista	3
2. OBJETO DEL PROYECTO	5
2.1 Justificación	5
2.2 Solución adoptada.....	7
3. ESTADO ACTUAL.....	9
3.1 Características físicas.....	9
3.2 Ayudas visuales para la navegación	10
3.3 Radioayudas para la navegación y el aterrizaje	13
3.4 Central eléctrica	13
4. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS DE BALIZAMIENTO	15
4.1 Señales	15
4.2 Luces.....	16
4.2.1 Luces no modificadas	16
4.2.1.1 Luces de borde de pista.....	17
4.2.1.2 Luces de eje de pista	17
4.2.1.3 Luces de umbral y extremo de pista	18
4.2.1.4 Luces de barra de parada.....	19
4.2.1.5 Luces de borde de calle de rodaje	21
4.2.1.6 Luces indicadoras de calle de salida rápida (RETIL)	21
4.2.2 Luces modificadas	22
4.2.2.1 Sistema de iluminación de aproximación de Categoría II	22
4.2.2.2 Sistema de iluminación de aproximación de Categoría I	27
4.2.2.3 Luces de toma de contacto	32
4.2.2.4 Luces de eje de calle de rodaje	33
4.3 Letreros	35

5. ELECCIÓN DE BALIZAS	37
5.1 Opción A: Luces halógenas	37
5.2 Opción B: Luces halógenas + Luces LED	39
5.3 Elección final	42
6. ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CAT II	45
6.1 Diseño del sistema	45
6.2 Dimensionamiento del generador	47
6.2.1 Situación de los paneles fotovoltaicos.....	50
6.3 Dimensionamiento de las baterías	51
6.4 Elección del inversor	52
6.5 Diagrama unifilar	53
6.6 Utilización de la energía en exceso.....	54
7. CABLES ELÉCTRICOS	55
7.1 Cableado primario y secundario	55
7.2 Cableado instalación fotovoltaica	55
7.2.1 Criterio de diseño	55
7.2.2 Resultados.....	56
8. RESUMEN DEL PRESUPUESTO	59
9. INGRESOS	61
9.1 Avión tipo	61
9.2 Ingresos por aterrizaje.....	61
9.3 Ingresos por despegue.....	64
9.4 Ingresos en los próximos 10 años	66
10. CONCLUSIONES	69
11. BIBLIOGRAFÍA	71
11.1 Direcciones web	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del aeropuerto	2
Figura 2. Perfil de la pista 09 - 27	9
Figura 3. Situación de la central eléctrica.....	14
Figura 4. Diagrama de isocandelas para las luces de eje de pista con espaciado longitudinal de 15 m.....	17
Figura 5. Disposición de las luces de umbral de pista y de luces de extremo de pista	19
Figura 6. Diagrama de isocandelas para luces de barra de parada en tramos rectos para condiciones de alcance visual igual o superior a un valor de 350 m.....	20
Figura 7. Diagrama de isocandelas para luces de barra de parada en tramos rectos para condiciones de alcance visual inferior a un valor de 350 m.....	20
Figura 8. Luces indicadoras de calle de salida rápida (RETIL)	22
Figura 9. Esquema del Sistema de Aproximación de CAT I actual	23
Figura 10. Esquema de las luces desmontadas en el sistema actual de aproximación ...	25
Figura 11. Esquema del sistema sencillo instalado actualmente	28
Figura 12. Esquema del Sistema de Aproximación de CAT I proyectado.....	29
Figura 13. Inscripción letrero calles E1 y E2	36
Figura 14. Inscripción letrero calles E5 y E6	36
Figura 15. Diagrama de isocandelas para luces de aproximación elevadas – Luces halógenas	39
Figura 16. Diagrama de isocandelas para luces de aproximación elevadas – Luces LED	40
Figura 17. Ángulo de inclinación	45
Figura 18. Ángulo de azimut	46
Figura 19. Lugar elegido para la instalación fotovoltaica	46
Figura 20. Programación de un día tipo	47
Figura 21. Representación en CATIA de la instalación fotovoltaica	50
Figura 22. Inversor ZIGOR SOLAR HIT3C.....	53
Figura 23. Diagrama unifilar	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Significado de la clave de referencia	2
Tabla II. Características de la pista 09-27	3
Tabla III. Cálculo definitivo de las aeronaves desviadas	6
Tabla IV. Pasajeros afectados por los desvíos de aeronaves	6
Tabla V. Características físicas del campo de vuelo	10
Tabla VI. Distancias declaradas	10
Tabla VII. Ayudas visuales luminosas de pista actuales	12
Tabla VIII. Ayudas visuales luminosas en las calles de rodaje actuales	12
Tabla IX. Características de las radioayudas actuales	13
Tabla X. Tiempos máximos de conmutación entre fuentes	14
Tabla XI. Especificaciones de las distintas señales del campo de vuelo	16
Tabla XII. Altura de los mástiles de la cabecera 09	27
Tabla XIII. Altura de los mástiles de la cabecera 27	31
Tabla XIV. Resumen balizas de eje de calle de rodaje	35
Tabla XV. Potencia de las balizas - Opción A	37
Tabla XVI. Cálculos de balizamiento – Opción A	38
Tabla XVII. Potencia de las balizas - Opción B	41
Tabla XVIII. Cálculos de balizamiento – Opción B	42
Tabla XIX. Comparación de potencias demandadas	43
Tabla XX. Comparación de transformadores	43
Tabla XXI. Comparación de reguladores	44
Tabla XXII. Inclinación óptima en los diferentes meses	47
Tabla XXIII. Energía diaria consumida	48
Tabla XXIV. Modelo elegido de panel solar	49
Tabla XXV. Datos meteorológicos del Aeropuerto de Granada	51
Tabla XXVI. Modelo elegido de baterías	52
Tabla XXVII. Modelo elegido de inversor	52
Tabla XXVIII. Secciones según el criterio de caída de tensión	57
Tabla XXIX. Secciones según el criterio de intensidad admisible	57
Tabla XXX. Secciones elegidas	57
Tabla XXXI. Principal flota de diseño prevista en el Plan Director	61
Tabla XXXII. Ingresos por aterrizaje en 2015	63
Tabla XXXIII. Ingresos por despegue en los próximos años	65
Tabla XXXIV. Ingresos recibidos por aeronave no desviada	66
Tabla XXXV. Ingresos previstos por el nuevo sistema de CAT II	66
Tabla XXXVI. Presupuesto Cabecera 27	70

1. ANTECEDENTES

1.1 Historia del aeropuerto

Han transcurrido más de 40 años desde el día en el que la aeronave DC-9 de la compañía Iberia realizara el vuelo IBE-577, el cuál fue el primer servicio aéreo comercial que operó en el nuevo Aeropuerto de Granada, ubicado en los términos municipales de Chauchina y Santa Fe. Este avión fue bautizado a posteriori con el nombre ‘Ciudad de Granada’.

Ese día, el 15 de junio de 1972, marcó el inicio de una nueva etapa en el transporte aéreo de la provincia. En ese momento, el tráfico aéreo civil se desligaba de la Base Aérea de Armilla, donde había dado sus primeros pasos allá por los años veinte. En el primer año de funcionamiento del aeropuerto, algo más de 18300 pasajeros utilizaron las nuevas instalaciones aeroportuarias.

Un año después, en octubre de 1973, se establecieron las servidumbres aeronáuticas.

Con la designación de Granada como sede del Campeonato del Mundo de Esquí Alpino, durante los años 1993-1994, el aeropuerto llevó a cabo un conjunto de actuaciones que mejoraron sustancialmente las instalaciones del área terminal. Las principales obras que se llevaron a cabo fueron: la ampliación del estacionamiento de aeronaves, la remodelación de la central eléctrica, el recrecido de la pista de vuelo, la construcción de un edificio administrativo para Aena y la más importante de todas ellas, la ampliación y mejora del edificio terminal de pasajeros.

Durante la primera década del siglo XXI, el aeropuerto consiguió tener un crecimiento notable sostenido impulsado por las nuevas compañías europeas de bajo coste como Ryanair. Esto hizo que en 2007 dicho aeropuerto consiguiera tener el mayor porcentaje de crecimiento de toda la red aeroportuaria de Aena, con un 35%, alcanzándose 1,4 millones de pasajeros ese año.

Por contra, esa tendencia alcista no se mantuvo en los siguientes años, donde hubo un importante retroceso en cuanto a pasajeros y operaciones debido a la crisis económica y sobre todo al abandono de la compañía Ryanair.

Después de seis años de bajadas, la tendencia se ha roto en 2014 consiguiendo aumentar el número de pasajeros respecto al año anterior.

1.2 Consideraciones generales

1.2.1 Datos básicos

El Aeropuerto de Granada, oficialmente llamado Aeropuerto Federico García Lorca Granada- Jaén, se sitúa en los términos municipales de Chauchina y Santa Fe, a 17 kilómetros de la ciudad de Granada y a 107 km de la ciudad de Jaén.



Figura 1. Localización del aeropuerto (Fuente: Wikipedia)

Es un aeropuerto civil e internacional que cuenta con una única pista cuyas cabeceras están situadas a 91° y 271° respecto al norte magnético. Sus aeropuertos alternativos son Málaga y Almería, mientras que él es alternativo de ambos.

La clave de referencia del aeródromo es 4D.

Núm. de Clave	Longitud de campo de referencia del avión	Letra de Clave	Envergadura	Distancia exterior del tren de aterrizaje
4	Más de 1800 m	D	De 36 a 52 m	De 9 a 14 m

Tabla I. Significado de la clave de referencia

Los datos geográficos del aeropuerto son los siguientes:

- ARP: 37° 11' 19'' N, 03° 46' 38'' W
- Elevación: 567 m.
- Temperatura de referencia: 35° C
- Declinación magnética: 2° W (2010)
- Cambio anual: 7,1' E

En cuanto al horario de operación, se encuentra abierto desde las 07.00 a las 23.15 hora local.

Las dimensiones de la pista (RWY), zona de parada (SWY), zona libre de obstáculos (CWY), franja y área de seguridad de extremo de pista (RESA) se encuentra recogidas en la tabla II.

RWY	Orientación	DIM (m)	THR Elev (m)	SWY (m)	CWY (m)	Franja (m)	RESA (m)	RWY PCN
09	089.46° GEO 091° MAG	2900 x 45	561,6	No	60 x 150	3020 x 300	184 x 130	Asfalto PCN 101/F/A/ W/T
27	269.48° GEO 271° MAG	2900 x 45	567	No	60 x 150	3020 x 300	150 x 150	Asfalto PCN 101/F/A/ W/T

Tabla II. Características de la pista 09-27

1.2.2 Características operativas de la pista

La pista cuenta en la cabecera 09 con un sistema de aproximación de precisión de categoría I (CAT I), mientras que en la cabecera 27, la capacidad operativa del aeropuerto se reduce, debido a que sólo cuenta con un sistema sencillo de aproximación.

Una pista con CAT I, implica ayudas visuales destinadas a operaciones con una altura de decisión (DH) no inferior a 60 m y con una visibilidad de no menos de 800 m o con un RVR no inferior a 550 m.

Mientras que si la pista aumentara a CAT II, implicaría ayudas visuales destinadas a operaciones hasta una DH de 30 m y un RVR no inferior a 350 m.

2. OBJETO DEL PROYECTO

Debido a las condiciones climatológicas del Aeropuerto de Granada, se producen desvíos de vuelos a aeropuertos alternativos. Por ello, (se justificará en el siguiente apartado de forma concisa y en el Anexo A de forma extendida) es necesario aumentar el sistema de balizamiento de la cabecera 09 a CAT II en lugar del sistema de CAT I que tiene actualmente y la cabecera 27 a sistema de CAT I. Con ello se conseguirá, además de evitar retrasos e incomodidades a los pasajeros, conseguir un beneficio y rentabilizar una pequeña parte de esta inversión.

Además, se comparará el uso de las tradicionales lámparas halógenas en estos sistemas con las luces LED de última generación, donde se podrá ver como la potencia instalada que se necesita se reduce de forma notable.

Por último, se diseñará e instalará una pequeña instalación fotovoltaica autónoma para alimentar las modificaciones realizadas tanto en la cabecera 09 como en las calles de rodaje.

2.1 Justificación

Para justificar el proyecto, se hará un estudio de las aeronaves comerciales desviadas en el aeropuerto en los últimos 10 años y se comparará con los datos reales de aeronaves desviadas de los últimos 5 años para ajustar el estudio realizado.

Para ello, se han utilizado los datos de altura de nubes y visibilidad proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) para el Aeropuerto de Granada en el periodo de referencia 1983-1992.

Las hipótesis que se han tomado para este análisis son las siguientes:

- El número de llegadas coincidirá con el número de salidas.
- Las operaciones se reparten de manera uniforme a lo largo de las horas en las que esté abierto el aeropuerto.
- Las operaciones serán las mismas todos los días del mes.

Una vez realizado el primer análisis, se ajusta con los datos reales, calculando finalmente las operaciones desviadas que se puede observar en la tabla III (para ver de forma detallada este proceso, ver Anexo A).

Año	Desviaciones Reales	Desviaciones calculadas	Año	Desviaciones Reales	Desviaciones calculadas
2004	-	14	2009	19	22
2005	-	18	2010	26	19
2006	-	22	2011	16	18
2007	-	28	2012	17	15
2008	-	27	2013	10	14

Tabla III. Cálculo definitivo de las aeronaves desviadas

Con la información anterior, es posible estimar los pasajeros que se han visto afectados por las desviaciones de sus vuelos durante estos 10 años, como se puede observar en la tabla IV.

Año	Operaciones totales comerciales	Pasajeros comerciales totales	Pasajeros/Operación	Operaciones comerciales desviadas	Pasajeros afectados
2004	6975	571030	81,87	14 *	1146
2005	8963	854265	95,31	18 *	1716
2006	10971	1067258	97,28	22 *	2140
2007	14010	1447528	103,32	28 *	2893
2008	13540	1406685	103,89	27 *	2805
2009	10712	1174725	109,66	19	2084
2010	9380	966368	103,02	26	2679
2011	8735	862418	98,73	16	1580
2012	7696	724720	94,17	17	1601
2013	7261	635975	87,59	10	876
Total	-	-	-	-	19520

Tabla IV. Pasajeros afectados por los desvíos de aeronaves

(* Operaciones calculadas, no reales.)

Con las hipótesis realizadas y con los datos reales que se tienen, casi 20000 personas han sido afectadas en los últimos 10 años del aeropuerto, una cifra nada desdeñable y con la que se puede justificar el objeto de este proyecto.

2.2 Solución adoptada

El alcance del proyecto es el siguiente:

- Adaptar las instalaciones existentes del aeropuerto de manera que permita operaciones de CAT II en la cabecera 09 y de CAT I en la cabecera 27. Esto implica el balizamiento horizontal y vertical de la pista de vuelo 09-27 de acuerdo con el contenido del Anexo 14 de la OACI.
- Comparación de la potencia instalada entre las luces halógenas tradicionales y las luces LED de nueva generación y elección posterior.
- Diseño de la instalación fotovoltaica autónoma necesaria para alimentar las modificaciones de la cabecera 09 y las calles de rodaje.

3. ESTADO ACTUAL

A continuación, se analiza el estado actual del Aeropuerto de Granada incidiendo en aquellas instalaciones que son necesarias implementar o mejorar para poder operar en Categoría I y II en las cabeceras 27 y 09 respectivamente.

3.1 Características físicas

El aeropuerto cuenta con una pista de vuelo denominada 09-27, con sendas raquetas que permiten el cambio de sentido en cada extremo de la misma. Tiene una longitud de 2900 m y una anchura de 45 m (sin incluir márgenes de pista).

Presenta una pendiente uniforme ascendente del 0,15 % desde la cabecera 09 a la 27 en los primeros 2540 m, aumentando la pendiente a 0,39 % en los últimos 360 m.

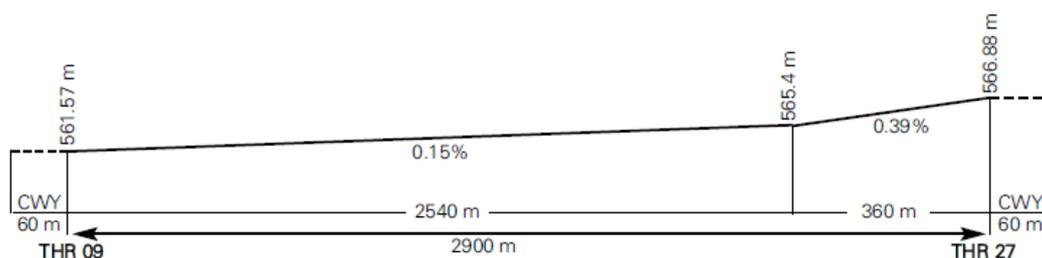


Figura 2. Perfil de la pista 09 - 27

Respecto a las calles de rodaje, se tienen las siguientes:

- Calle de rodaje principal paralela a pista: se divide a su vez en dos calles designadas, en dirección 09-27, **T1** y **T2**. La distancia entre ejes de calles de rodadura y la pista es de aproximadamente 185 m.
- Calles de salida a pista: se encuentra situadas en las cabeceras, y son designadas en dirección 09-27 como **E1**, **E2**, **E5** y **E6**.
- Calles de salida rápida: **E3** y **E4** para los vuelos llegados desde la cabecera 27 y 09, respectivamente.

Todas las calles de rodaje son de asfalto y presentan una resistencia de PCN 67/F/C/W/U

La situación de tales calles se puede ver en el plano 1 de este proyecto.

La tabla V resume las características físicas de la pista de vuelo y de las calles de rodaje.

Elemento	Longitud (m)	Anchura (m)	Márgenes (m)
Pista 09	2900	45	7,5
Pista 27	2900	45	7,5
Calle de rodaje T1	1185	23	10,5
Calle de rodaje T2	1105	23	10,5
Calle de rodaje E1	-	26	10,5
Calle de rodaje E2	-	26	10,5
Calle de rodaje E3	158	28	10,5
Calle de rodaje E4	158	28	10,5
Calle de rodaje E5	-	26	10,5
Calle de rodaje E6	-	26	10,5

Tabla V. Características físicas del campo de vuelo

Se dispone de una zona libre de obstáculos para ambas cabeceras de 60 m de longitud en la prolongación del eje de pista y 150 m de ancho, siendo ésta simétrica respecto al eje de pista.

Mientras que la franja de pista tiene unas dimensiones de 3020 m por 300 m de ancho, con la única salvedad de que en los últimos 13 m de la pista 27 el margen derecho decrece de los 150 a los 90 m de ancho.

Las distancias declaradas de la pista se observan en la tabla VI.

PISTA	TORA (m)	TODA (m)	ASDA (m)	LDA (m)
09	2900	2960	2900	2900
23	2900	2960	2900	2900

Tabla VI. Distancias declaradas

3.2 Ayudas visuales para la navegación

Las ayudas visuales que existen actualmente en el Aeropuerto de Granada están enumeradas a continuación.

a. Señales

La señalización de la pista 09-27 está formada por:

- Señal designadora de pista de vuelo por instrumentos.
- Señal de eje de pista consistente en una línea de 51 trazos de 30 m de longitud y 0,45 m de anchura.
- Señal de umbral consistente en una configuración de 12 fajas longitudinales de 30 m de longitud y 1,80 m de ancho. El espaciado entre fajas es de 1,8 m; excepto las dos fajas centrales que tienen un espaciado de 3,6 m.

- Señal de punto de visada en ambas cabeceras, consistente en dos rectángulos blancos simétricos respecto al eje de pista de dimensiones 45 m de longitud y 10 m de ancho, y con un espacio lateral entre los lados internos de las fajas de 18 m. Los rectángulos se sitúan a 400 m del umbral de pista correspondiente.
- Señal de toma de contacto dispuesta con clave de distancia, consistente en 5 pares de señales dispuestas simétricamente con respecto al eje de pista, con fajas de 22,5 m de largo por 1,80 m de ancho y un espaciado entre fajas adyacentes de 1,5 m.
- Señal de faja lateral de pista, con una anchura de 0,9 m.

En cuanto a las señales de calles de rodaje se tienen las siguientes actualmente:

- Señal de eje de calle de rodaje
- Señal de faja lateral de calle de rodaje (borde de calle de rodaje).
- Señal de punto de espera de pista en las calles de rodaje E1, E2, E3, E4, E5 y E6, todas ellas con la configuración A.

Todas las señalizaciones de pista son de color blanco mientras que las señalizaciones de las calles de rodaje son de color amarillo. Como se puede observar, la señalización horizontal del Aeropuerto de Granada es prácticamente completa. Sólo será necesario modificar el ancho de las señales del eje de pista para ajustarlo a la Categoría II de operación.

La señalización de la plataforma no es objeto de este proyecto.

b. Letreros

En cuanto a señalización vertical se dispone de letreros obligatorios (inscripción en blanco sobre fondo rojo) como son los letreros de punto de espera y de letreros de información (inscripción amarilla sobre fondo negro) como son los de situación y punto de destino.

c. Luces

A continuación, en las tablas VII y VIII se resumen las ayudas visuales actuales tanto en pista como en calles de rodaje.

Luces	09	27
Sistema de iluminación de aproximación	Sistema de CAT I con clave de distancia	Sistema sencillo de 420 m
Sistema visual indicador de pendiente de aproximación	PAPI (3°)	PAPI (3°)
Luces de borde de pista	Sí ⁽¹⁾	Sí ⁽¹⁾
Luces de eje de pista	Sí ⁽²⁾	Sí ⁽²⁾
Luces de umbral	Sí ⁽³⁾	Sí ⁽³⁾
Luces de extremo de pista	Sí ⁽⁴⁾	Sí ⁽⁴⁾
Luces de zona de toma de contacto	No	No
Luces de zona de parada	No	No

Tabla VII. Ayudas visuales luminosas de pista actuales

- (1) 2900 m de luces blancas. Distancia entre luces 50 m.
- (2) 2900 m repartidos de la siguiente forma: 1095 m blancas + 1200 m blancas y rojas + 605 m rojas. Distancia entre luces 15 m.
- (3) De color verde instaladas cada 3 m, con barras de ala.
- (4) De color rojo.

Luces	Calles de rodajes
Luces de borde de calle de rodaje	Sí
Luces de eje de calle de rodaje	No
Luces de barra de parada	En las calles E1, E2, E3, E4, E5 y E6
Luces de barra de protección de pista	No
Luces de calle de salida rápida (RETIL)	En las calles E3 y E4

Tabla VIII. Ayudas visuales luminosas en las calles de rodaje actuales

Como se puede observar, la gran mayoría de los sistemas de ayudas visuales luminosas ya están instalados en el aeropuerto actualmente, por lo que la inversión a realizar para obtener los requerimientos para la nueva aproximación de Categoría II en la cabecera 09 no será muy alta.

3.3 Radioayudas para la navegación y el aterrizaje

Las características más importantes de las radioayudas existentes en el aeropuerto se muestran en la tabla IX.

Instalación	ID	Frecuencia	Horario	Coordenadas	Altitud
DVOR (2°W)	GDA	113.400 MHz	H24	37° 10' 59.4'' N 3° 59' 27.3'' W	-
DME	GDA	CH 81X	H24	37° 10' 59.9'' N 3° 59' 27.3'' W	600
L (2°W)	GR	285.000 KHz	H24	37° 11' 17.7'' N 3° 50' 27.6'' W	-
L (2°W)	GRA	412.000 KHz	HR AD	37° 11' 21.7'' N 3° 40' 39.8'' W	-
ILS CAT I	GRD	109.300 MHz	HR AD	37° 11' 19.9'' N 3° 45' 29.5'' W	-
GP 09	GRD	332.000 MHz	HR AD	37° 11' 23.1'' N 3° 47' 24.2'' W	-
ILS/DME	GRD	CH 30X	HR AD	37° 11' 23.1'' N 3° 47' 24.2'' W	567

Tabla IX. Características de las radioayudas actuales

La afección y modificación debido a la puesta en funcionamiento del sistema de operación de Categoría II en el Aeropuerto de Granada no será objeto de este proyecto.

3.4 Central eléctrica

La central eléctrica se encuentra en un edificio de 670 m² en planta al suroeste del Edificio Terminal, es alimentada mediante una única acometida eléctrica de 20 KV, procedente de un subestación de la compañía Endesa.

Existen tres transformadores para el paso de alta a media tensión, de 800 KVA de potencia cada uno, y dos grupos electrógenos de emergencia alimentados por gasóleo de 500 KVA cada uno, que se pondrían automáticamente en funcionamiento ante cualquier incidencia.

Para el paso de media a baja tensión, se tienen dos transformadores de 500 KVA cada uno.

Para el balizamiento se dispone de 19 reguladores de brillo de las siguientes potencias: 4, 5, 10, 15 y 25 KW. Además de estos, también existen cinco reguladores de reserva con potencias comprendidas entre 4 y 25 KW.

En la sala de cabinas se encuentran instalados también los equipos de corrección del factor de potencia, la fuente de alimentación de corriente continua y el sistema de alimentación interrumpida (SAI).



Figura 3. Situación de la central eléctrica

Esta central eléctrica fue mejorada durante 2010 con un coste aproximado de 9,25 millones de euros.

No será objeto de este proyecto las modificaciones a realizar en la central eléctrica debido a la instalación del nuevo balizamiento. Sólo se indicará los reguladores de intensidad necesarios a instalar.

Dentro de estas modificaciones a realizar en la central eléctrica se deberá incluir la ampliación del sistema de alimentación interrumpida, ya que el tiempo máximo de conmutación entre fuentes de alimentación se reduce para CAT II, como se observa en la tabla X.

Balizamiento	Pista para aproximación en Categoría I	Pista para aproximación en Categoría II
Aproximación	15 segundos	1 segundo
Borde de pista	15 segundos	15 segundos
Umbral de pista	15 segundos	1 segundo
Extremo de pista	15 segundos	1 segundo
Eje de pista	15 segundos	1 segundo
Toma de contacto	15 segundos	1 segundo
Barras de parada	15 segundos	1 segundo
Calle de rodaje (esencial)	15 segundos	15 segundos

Tabla X. Tiempos máximos de conmutación entre fuentes

4. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS DE BALIZAMIENTO

Este capítulo tiene como objetivo describir las obras necesarias a realizar para ajustar el campo de vuelo a CAT II para la cabecera 09 de la pista y a CAT I para la cabecera 27. Para ello, se analizarán los aspectos a modificar en el siguiente orden: señales, luces y letreros.

4.1 Señales

La señalización se ajustará a las normativas y recomendaciones descritas en el capítulo 5.2 del Anexo 14 de OACI (5º Edición – Julio 2009). Amm.10. Noviembre 2009.

En el capítulo 3.2 de la memoria se detalló el estado actual de la señalización horizontal, por lo que ahora sólo se mostrará detalladamente las modificaciones a realizar.

a) Señal eje de pista

La señal de eje de pista se ajustará a las especificaciones del apartado 5.2.3 del Anexo 14.

Estas especificaciones muestran que, para pistas de precisión de Categoría II/III, el ancho de los trazos no debe ser menor de 0,90 m. Por tanto, hay que modificar el actual ancho de 0,45 a 0,90 m.

b) Resto de señales

Debido a que no es necesario modificar el resto de señales del campo de vuelo actual, a modo de resumen se presenta en la tabla XI, el apartado del Anexo 14 a aplicar en cada una de las señales restantes y su correspondiente especificación para poder comprobar que las señales detalladas en el apartado 3.2 cumplen con ella.

En el recuadro de la especificación, no viene señalado el color de estas señales, por lo que se indica a continuación:

- Señales de pista: color blanco.
- Señales de calle de rodaje: color amarillo.

Señal	Normativa a aplicar	Especificación	Modificación de las actuales
Designadora de pista	Apartado 5.2.2	Está formada por los números 09 y 27 en los umbrales de pista	Ninguna
De umbral	Apartado 5.2.4	12 fajas longitudinales de 30 x 1,8 m, con separación de 1,8 m	Ninguna
Punto de visada	Apartado 5.2.5	2 fajas en cada cabecera a 400 m del umbral, de dimensiones 45-60 de longitud y 6-10 de ancho	Ninguna
Toma de contacto	Apartado 5.2.6	6 pares de señales simétricas respecto eje de pista, con fajas de 22,5 x 1,8 m. Separación longitudinal: 150 m. ¹	Ninguna
Faja lateral de pista	Apartado 5.2.7	Fajas a lo largo del borde de pista con una anchura de 0,90 m	Ninguna
Eje de calle de rodaje	Apartado 5.2.8	Trazo continuo con un ancho no menor a 15 cm	Ninguna
Faja lateral de calle de rodaje	Apartado 7.2	Par de líneas de trazo continuo de 15 cm de ancho y separación de 15 cm entre ellas	Ninguna
Punto de espera de pista	Apartado 5.2.10	Para CAT I, II y III, tiene que tener la Configuración A	Ninguna

Tabla XI. Especificaciones de las distintas señales del campo de vuelo

4.2 Luces

Las luces se ajustarán a las normativas y recomendaciones descritas en el capítulo 5.3, los Apéndices 1 y 2 y el Adjunto A del Anexo 14 de OACI.

Al igual que ocurre en la señalización, gran parte de estas ayudas no son necesarias de modificar ya que cumplen con la normativa establecida.

Por ello, en primer lugar, se justificará con el Anexo 14 las luces que no son necesarias de modificar, para después pasar a describir detalladamente los cambios a realizar en algunas ayudas visuales para adaptarlas a la nueva categoría de operación del aeropuerto.

4.2.1 Luces no modificadas

A continuación, se muestran las luces que no son necesarias modificar.

¹ Los pares de señales que coincidan con una señal de punto de visada o estén situados a 50 m o menos de ésta, se eliminarán de la configuración. Esta situación ocurre en el Aeropuerto de Granada, por ello sólo existen 5 pares.

4.2.1.1 Luces de borde de pista

Según recoge el capítulo 5.3.9 del Anexo 14, se instalarán luces de borde de pista en una pista destinada a uso nocturno, o en una pista para aproximaciones de precisión destinada a uso diurno o nocturno. Tales luces serán espaciadas uniformemente en filas a intervalos no mayores de 60 m en una pista de vuelo por instrumentos. Serán fijas y de color blanco variable excepto en el extremo de la pista, opuesto al sentido del despegue, en el que **pueden** ser de color amarillo a una distancia de 600 m.

Actualmente, existen luces de borde elevadas (salvo en las intersecciones con las calles de rodaje que son empotradas) con una potencia de 150 W, de color blanco y espaciadas 50 m. Por tanto, cumplen con lo expuesto en la normativa, excepto en el detalle de que el último tramo pueden ser éstas amarillas, pero dado que es una recomendación no será necesario modificarlas, evitando incrementar el presupuesto.

4.2.1.2 Luces de eje de pista

Según recoge el capítulo 5.3.12 del Anexo 14, se instalarán luces de eje de pista en todas las pistas para aproximaciones de precisión de Categoría II o III. Las luces se emplazarán desde el umbral hasta el extremo con un espaciado longitudinal aproximado de 15 m. Serán luces fijas de color blanco variable desde el umbral hasta el punto situado a 900 m del extremo, alternadas de colores rojo y blanco variable desde 900 m hasta 300 m y de color rojo desde 300 m hasta el extremo de pista. Se ajustarán a las especificaciones del Apéndice 2, Figura A2-7.

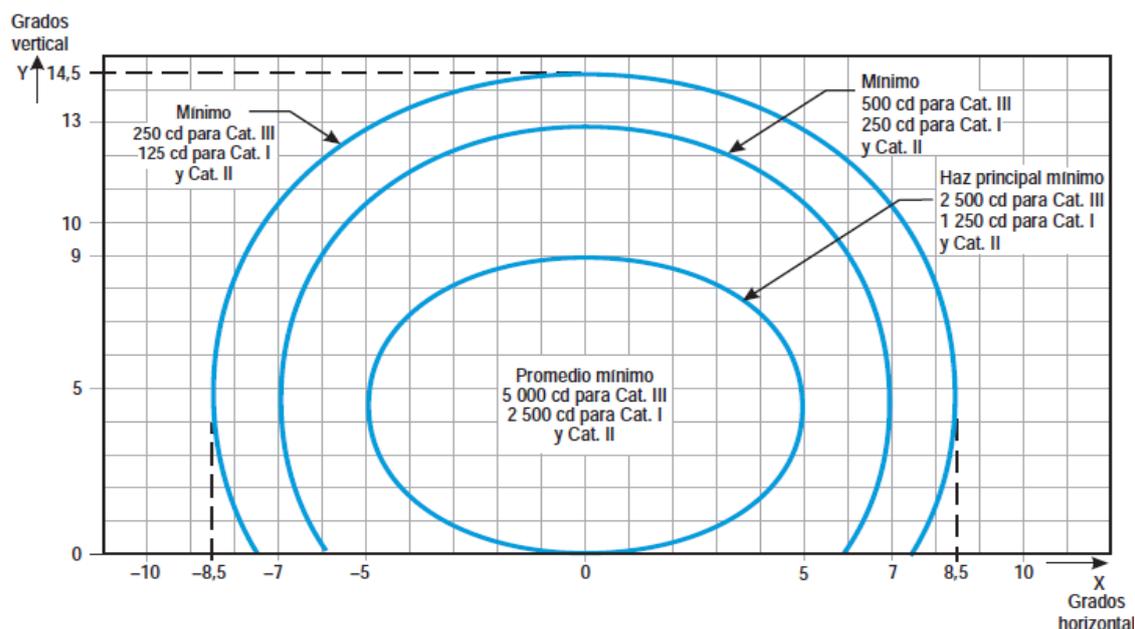


Figura 4. Diagrama de isocandelas para las luces de eje de pista con espaciado longitudinal de 15 m (Fuente: Figura A2-7, Apéndice 2- Anexo 14)

Actualmente, existen luces empotradas de eje de pista espaciadas cada 15 m con una potencia de 48 W cada luz (al ser bidireccional, son dos luces). Tales luces cumplen el diagrama de isocandelas de la figura 4, para CAT I y II, en el caso de que en un futuro se necesitara CAT III, tales luces deben ser sustituidas por una potencia mayor para adecuarse a tal diagrama.

Las luces están distribuidas de la siguiente forma:

- 1095 m luces blancas variables.
- 1200 m luces alternadas blancas y rojas.
- 605 m luces rojas.

Como se puede ver difiere de lo establecido en la norma, pero dado que los requisitos para CAT II no cambian respecto a CAT I en cuanto a la distribución de estas luces, no se modificarán debido a que se ha supuesto que Aena le ha permitido esta distribución al Aeropuerto de Granada.

4.2.1.3 Luces de umbral y extremo de pista

Según recoge el capítulo 5.3.10 del Anexo 14, se instalarán luces de umbral en aquellas pistas que estén equipadas con luces de borde de pista. Cuando un umbral esté en el extremo de una pista, las luces de umbral estarán emplazadas en una fila perpendicular al eje de pista, tan cerca del extremo de pista como sea posible, y en ningún caso a más de 3 m al exterior del mismo.

En pistas para aproximaciones de precisión de Categoría II o III, tales luces serán uniformemente espaciadas entre las filas de luces de borde de pista, a intervalos no superiores a 3 m.

En cuanto a las luces de barra de ala, éstas deberían instalarse en las pistas para aproximaciones de precisión cuando se estime conveniente una indicación más visible del umbral. Estarán dispuestas en el umbral, simétricamente respecto al eje de pista en dos grupos (es decir, dos barras de alas), formadas como mínimo por 5 luces que se extenderán por lo menos sobre 10 m hacia el exterior de la fila de luces de borde de pista.

Las luces de umbral de pista y de barra de ala serán luces fijas, unidireccionales, de color verde y visibles en la dirección de la aproximación de pista.

Actualmente en el Aeropuerto de Granada las luces de umbral de pista están formadas por 6 luces empotradas bidireccionales (en cada cabecera) con 2 lámparas halógenas de 105 W (para las luces de extremo y umbral) y 10 luces empotradas unidireccionales con una lámpara de 105 W, con una separación de 3 m. Además, cuenta con barras de ala formadas por 5 luces elevadas de 150 W cada una, separadas 2,5 m.

En la figura 5, se puede observar con el nº1 la disposición actual en el aeropuerto, que como se puede ver es igual a la necesaria para pistas con aproximación de precisión de Categoría II (nº 2), por lo que no será necesario ninguna modificación.

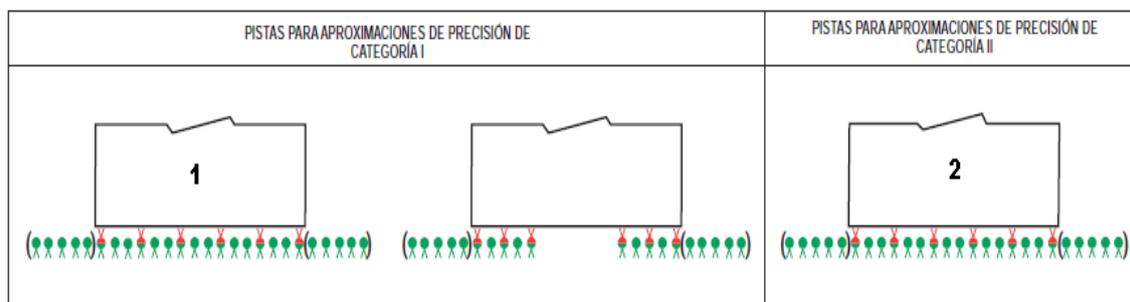


Figura 5. Disposición de las luces de umbral de pista y de luces de extremo de pista
(Fuente: Anexo 14)

En cuanto a las especificaciones de las luces de extremo de pista, se recogen en el capítulo 5.3.11 del Anexo 14. La normativa exige que se instale tales luces en pistas dotadas con luces de borde de pista, que sean fijas, unidireccionales, de color rojo y visibles en la dirección de la pista. Se recomienda que sean al menos 6 luces y que se encuentren espaciadas uniformemente entre las filas de luces de borde de pista.

Actualmente, el aeropuerto cuenta con 6 luces de extremo de pista en cada cabecera.

4.2.1.4 Luces de barra de parada

Según recoge el capítulo 5.3.19 del Anexo 14, se deberá instalar una barra de parada en cada punto de espera de la pista asociado a una pista destinada a ser utilizada en condiciones de alcance visual con valores comprendidos entre 350 y 550 m

Consistirán en luces de color rojo que serán visibles en los sentidos previstos de las aproximaciones hacia la intersección o punto de espera de la pista, espaciadas a intervalos de 3 m, y colocadas transversalmente en la calle de rodaje.

El circuito eléctrico estará concebido de modo que:

- Las barras de parada emplazadas transversalmente en calles de rodaje de entrada sean de conmutación independiente.
- Las barras de parada emplazadas transversalmente en calles de rodaje, previstas únicamente para salidas, sean de conmutación independiente o por grupos.
- Cuando se ilumine una barra de parada, las luces de eje de calle de rodaje instaladas más allá de la barra de parada se apagarán hasta una distancia por lo menos de 90 m.

- d) Las barras de parada estarán interconectadas (interconexión de bloqueo) con las luces de eje de calle de rodaje, de tal forma que si se iluminan las luces de eje de calle de rodaje se apaguen las de la barra de parada y viceversa.

Actualmente, en el Aeropuerto de Granada existen barras de parada en los puntos de espera de las calles de rodaje: E1, E2, E3, E4, E5 y E6, con luces que cumplen el diagrama de isocandelas de la figura 6. Por tanto, no será necesario modificarlas ya que este diagrama es válido para condiciones de CAT II.

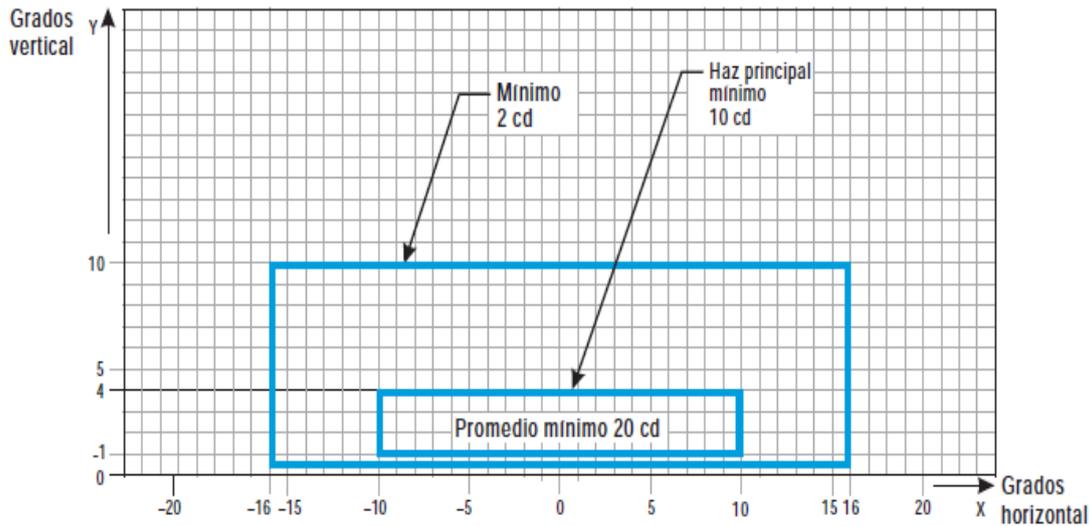


Figura 6. Diagrama de isocandelas para luces de barra de parada en tramos rectos para condiciones de alcance visual igual o superior a un valor de 350 m
(Fuente: Anexo 14)

En el caso de que se tuviera que aumentar a CAT III, habría que modificarlas, debido a que el diagrama de isocandelas de la figura 7 correspondiente a la Categoría III de operación es diferente al anterior (habría que dar mayor potencia a las luces para que se cumpliese).

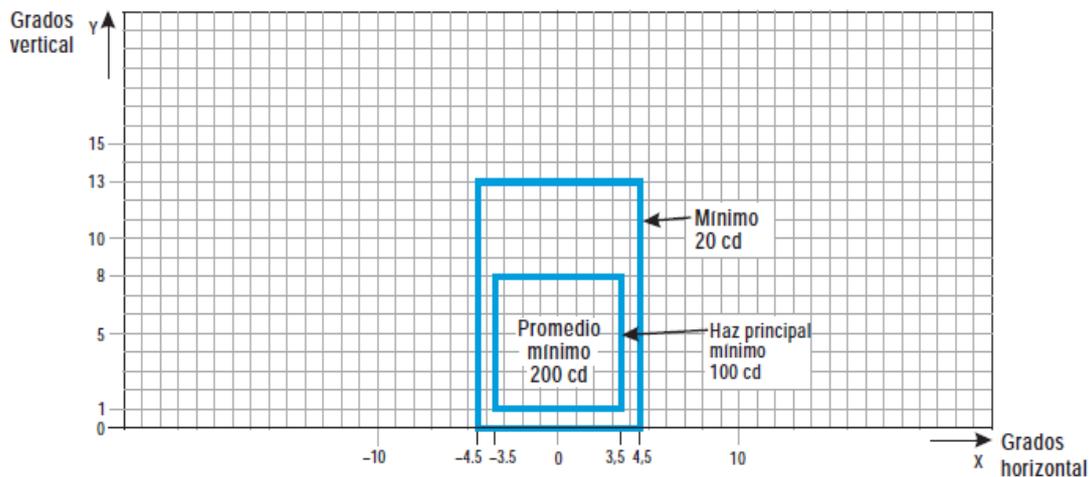


Figura 7. Diagrama de isocandelas para luces de barra de parada en tramos rectos para condiciones de alcance visual inferior a un valor de 350 m
(Fuente: Anexo 14)

4.2.1.5 Luces de borde de calle de rodaje

Según recoge el capítulo 5.3.17 del Anexo 14, se instalarán luces de borde de calle de rodaje en las pistas que formen parte de rutas normalizadas para el rodaje y estén destinadas al rodaje durante la noche, cuando la pista no cuente con luces de eje de calle de rodaje.

Tales luces, serán fijas de color azul y serán visibles por lo menos hasta 75° por encima de la horizontal y desde todos los ángulos de azimut necesarios para proporcionar guía a los pilotos que circulen en cualquiera de los dos sentidos. En cuanto al espaciado longitudinal, no debería exceder de 60 m en tramos rectilíneos, mientras que en tramos curvos este espaciado debe ser inferior de forma que proporcione una clara indicación de la curva.

Actualmente, existen luces elevadas de borde de plataforma y rodaje que están constituidas por una lámpara de 45 W de color azul, por lo que no necesitará modificación alguna.

4.2.1.6 Luces indicadoras de calle de salida rápida (RETIL)

Según recoge el capítulo 5.3.14 del Anexo 14, se deberían proporcionar luces indicadoras de calle de salida rápida en las pistas destinadas a utilizarse en condiciones de alcance visual inferiores a un valor de 350 m o cuando haya mucha densidad de tránsito.

La norma especifica que se debe emplazar un juego de luces indicadoras de calle de salida rápida en la pista, al mismo lado del eje de la pista asociada con una calle de salida rápida como se indica en la figura 6. En cada juego, las luces estarán espaciadas a intervalos de 2 m y la luz más cercana al eje de la pista estará a 2 m de separación del eje de la pista.

Estas luces serán fijas unidireccionales de color amarillo, alineadas de modo que sean visibles para el piloto de un avión que esté aterrizando en la dirección de aproximación a la pista.

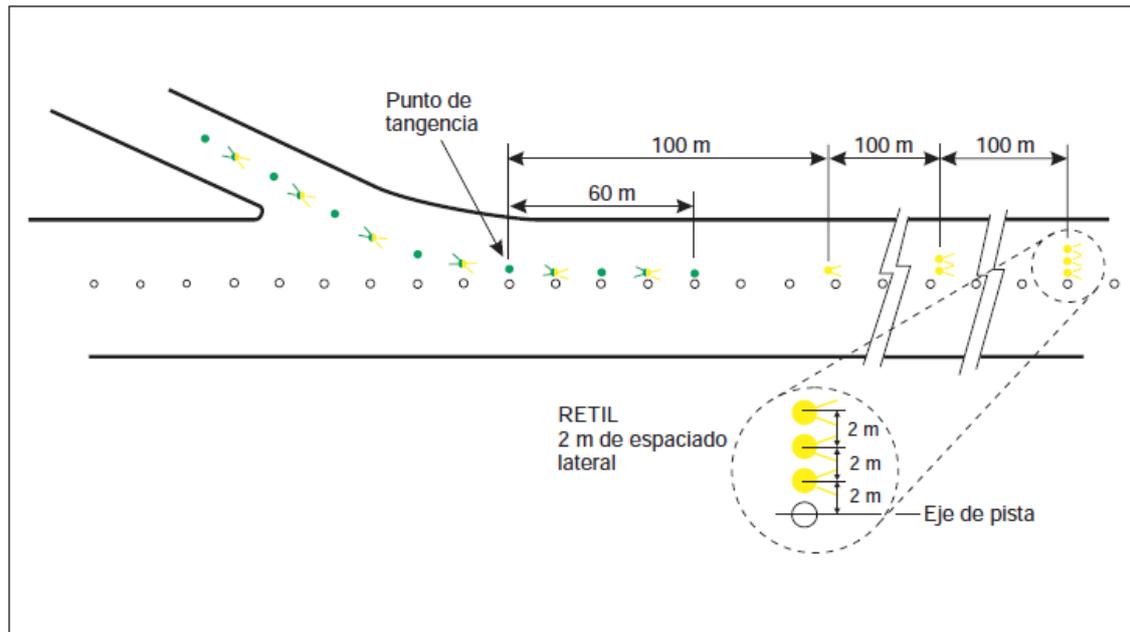


Figura 8. Luces indicadoras de calle de salida rápida (RETIL)
(Fuente: Anexo 14)

Actualmente, en el aeropuerto se disponen de estas luces indicadoras de calles de salida rápida en las calles E3 y E4, por lo que no será necesario modificarlas. Sí será necesario, como se verá en el apartado 4.2.2.4, instalar las luces alternadas verde/amarillo correspondiente al eje de calle de salida.²

4.2.2 Luces modificadas

Seguidamente, se detallan las luces que necesitan modificación para elevar la actual categoría de operación del aeropuerto.

Para todos los elementos que se describen a continuación, se contemplará su instalación incluyendo las obras civiles y eléctricas necesarias para el funcionamiento del sistema.

Inicialmente no se incluirá la potencia de tales luces ni los transformadores necesarios, ya que son distintos según se utilice luces halógenas o LED. Esto se añadirá en el capítulo 5 de la actual memoria.

4.2.2.1 Sistema de iluminación de aproximación de Categoría II (Cabecera 09)

El Aeropuerto de Granada tiene actualmente en la cabecera 09 un sistema de iluminación de Categoría I de 900 m con clave de distancia que se describirá brevemente en los siguientes párrafos y está definido de acuerdo a la normativa presente en los capítulos 5.3.4.10 a 5.3.4.21 del Anexo 14.

² En todo el apartado 4.2.1 sólo se ha mostrado los diagramas de isocandelas de las luces que cambian de diagrama según tenga una categoría de operación u otra.

El sistema de iluminación de precisión de Categoría I está formado por una fila de luces situadas en la prolongación del eje de pista hasta una distancia de 900 m a partir del umbral, con una fila de luces que formen una barra transversal de 30 m de longitud a una distancia de 300 m del umbral de la pista perpendicular a la fila de luces de la línea central.

Las luces que forman la línea central se sitúan a intervalos longitudinales de 30 m con la luz situada más próxima a la pista instalada a 30 m del umbral. Estas luces así como la barra transversal son luces fijas de color blanco variable.

Cada una de las posiciones de luces de la línea central consiste en una sola luz en los 300 m internos de la línea central, dos luces en los 300 m intermedios de la línea central y tres luces en los 300 m externos de la línea central, para proporcionar información a distancia.

Además de la barra transversal a 300 m del umbral, existen barras transversales adicionales de luces situadas a 150, 450, 600 y 750 m del umbral.

En la figura 9 se puede ver el sistema actual de CAT I que existe en el Aeropuerto de Granada y que se ajusta a lo descrito anteriormente.

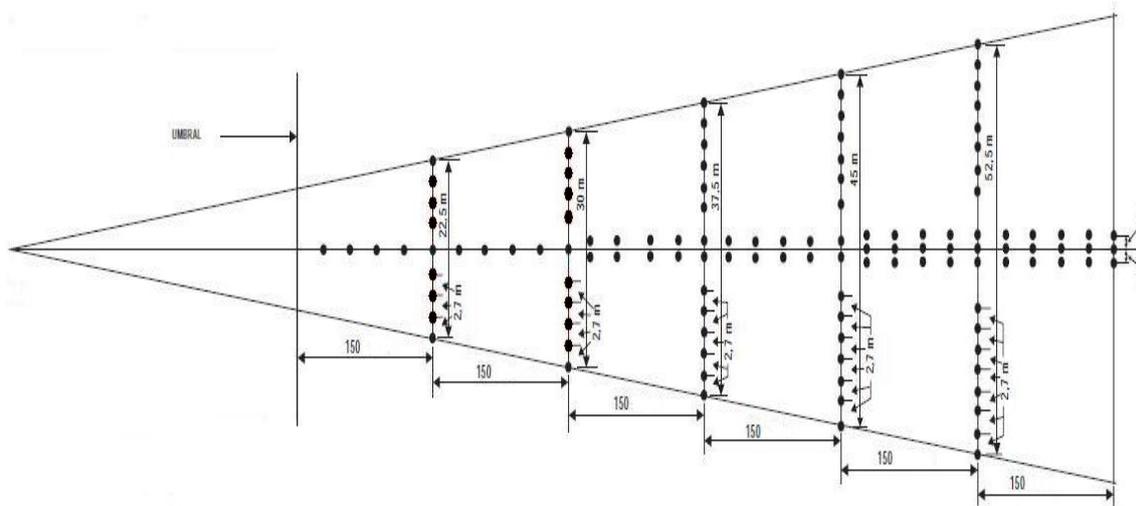


Figura 9. Esquema del Sistema de Aproximación de CAT I actual
(Fuente: Anexo 14)

Este sistema de iluminación de aproximación se ajustará ahora a los capítulos 5.3.4.22 a 5.3.4.39 del Anexo 14, es decir, a la normativa existente para sistemas de iluminación de Categoría II.

Para ello será necesario realizar diferentes modificaciones al sistema actual, pero de manera que el coste sea lo mínimo posible.

Configuración Sistema de Aproximación CAT II

El sistema de aproximación contará con lo siguiente:

1. Sistema de luces laterales

Se proyectarán dos filas de nueve barretas laterales simétricas respecto a la prolongación del eje de pista, constituidas cada una de ellas por 3 luces que se extenderán hasta 270 m a partir del umbral. Éstas se colocarán a cada lado de la línea central con un espaciado longitudinal igual al que tienen las luces de la línea central (cada 30 m) y con la primera luz instalada a 30 m del umbral. El espaciado lateral entre las luces de las filas laterales más cercanas será igual al de las luces de la zona de toma de contacto, que como se verá en el apartado 4.2.2.3 del proyecto, será de 18 m (es decir, cada una de ellas se sitúa a 9 m de la prolongación del eje de pista).

La separación entre luces será la misma que en las luces de la zona de toma de contacto, es decir, 1,5 m.

Los primeros 150 m serán balizas empotradas, mientras que las balizas situadas desde 180 a 270 m del umbral serán luces elevadas.

El total de luces será de 54 (18 barretas de 3 luces cada una), de las cuales 30 serán empotradas y 24 elevadas.

2. Sistema de luces de eje central

Debido a que existe el sistema de iluminación de Categoría I de 900 m, sólo será necesario modificar los primeros 300 m del actual sistema para ajustarlo a CAT II, ya que el sistema de luces de eje central existente desde los 300 a los 900 m es válido para ambas categorías. Los cambios a introducir en los 300 primeros metros son:

Un sistema formado por barretas de 5 luces situadas en la prolongación del eje de pista con una separación de 1,5 m entre ellas.

Será un total de 8 barretas separadas a intervalos longitudinales de 30 m, sin tener en cuenta las barras transversales que existen a los 150 y 300 m. Es decir, las barretas estarán situadas a 30, 60, 90, 120, 180, 210, 240 y 270 m del umbral.

Se ha optado por una barreta de 5 luces, en lugar de una de 4 (que es lo mínimo permitido por la normativa) para aprovechar la luz central existente actualmente cada 30 m en la prolongación del eje de pista del sistema de aproximación actual de CAT I. Para mayor comprensión, ver el esquema de la figura 10, donde se puede ver las luces aprovechadas y desmontadas del sistema actual.

Por tanto, habrá que añadir 4 luces nuevas en cada barreta (dos a cada lado del eje), lo que hace un total de 32 nuevas balizas. La baliza que se mantiene es justo la central.

Las primeras cuatro barretas serán balizas empotradas, mientras que las últimas cuatro serán luces elevadas.

3. Sistema de barras transversales

Es necesario modificar dos barras transversales de luces, las situadas a 150 m y 300 m del umbral.

La primera barra transversal (la situada a 150 m del umbral) estará formada ahora por 11 balizas empotradas simétricamente respecto al eje de pista, separadas entre ellas 1,5 m. Las 9 luces existentes actualmente a esa distancia del umbral serán sustituidas todas ellas por estas nuevas, excepto la central, que está bien situada. Por lo tanto, serán necesarias 10 nuevas balizas empotradas.

La segunda barra transversal, ubicada a 300 m del umbral, está compuesta por 21 balizas. Actualmente, existen 11 balizas, tres de ellas están bien colocadas (las dos de los extremos y la que se encuentra en la prolongación del eje de pista); las demás serán sustituidas por 18 nuevas balizas separadas cada una de ellas por 1,5 m, de manera que esta segunda barra tenga una longitud de 30 m.

Lo expuesto en los dos párrafos anteriores se puede observar en la figura 10.

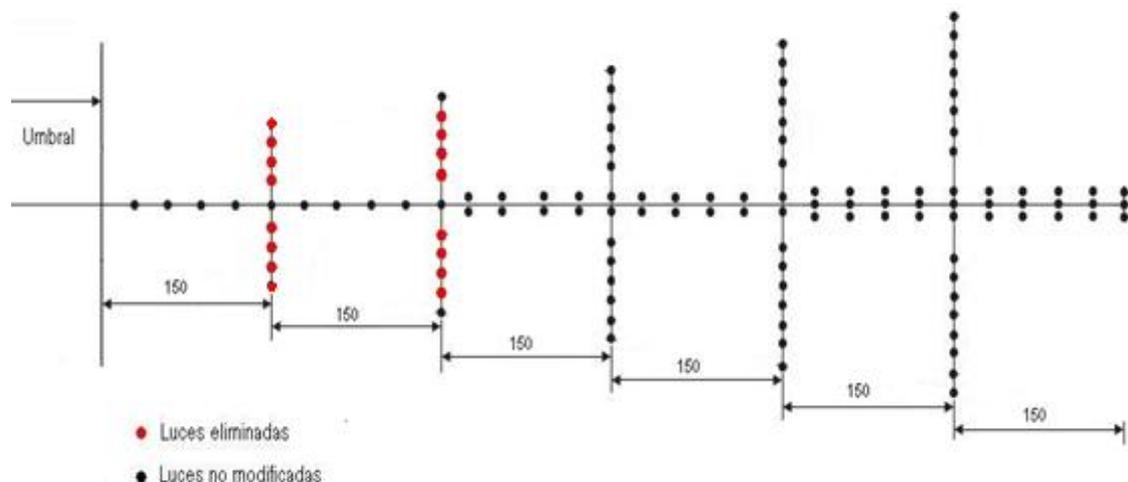


Figura 10. Esquema de las luces desmontadas en el sistema actual de aproximación

Características de las luces

Todas las luces serán fijas y unidireccionales en el sentido de la aproximación. La línea central y las barretas transversales consistirán en luces de color blanco variable. Mientras que las filas laterales consistirá en barretas cuyo color será rojo y tendrá una intensidad compatible con la de las luces blancas.

Circuitos eléctricos

Se colocarán dos circuitos serie ‘AP09-A’ y ‘AP09-B’ para la alimentación de las luces pertenecientes a la modificación realizada en el sistema de iluminación de aproximación de precisión de Categoría II.

Las 12 balizas existentes que no son modificadas en estos primeros 300 m, así como las balizas existentes hasta los 900 m, tendrán el mismo circuito eléctrico que hasta ahora, y por tanto, no serán tenidas en cuenta en el cálculo que se presenta a lo largo del proyecto. Las balizas eliminadas serán desconectadas de estos circuitos.

Las luces nuevas del sistema estarán alimentadas de forma alternada por medio de los dos circuitos mencionados de forma que se obtenga una disposición simétrica respecto de la prolongación del eje de pista.

Para evitar que un circuito esté mucho más sobrecargado que otro, se ha ido alternando la disposición simétrica respecto de la prolongación del eje de pista, así las luces situadas a 30, 90, 150, 210 y 270 m del umbral de la pista llevan una configuración (**ABABAXABABA**), mientras que las restantes luces situadas a 60, 120, 180, 240 y 300 m del umbral de pista llevan la configuración opuesta.

Donde A corresponde al circuito AP09-A, B al circuito AP09-B, X corresponde a la luz no modificada del sistema de Categoría I y con las letras rojas se ha querido indicar que corresponden a las luces de las filas laterales.

Instalación

Según el Adjunto A del Anexo 14 en los apartados 11.2.7 a 11.2.12, la disposición ideal sería que todas las luces de aproximación se montaran en el plano horizontal que pasa a través del umbral. Sin embargo, la presencia de elementos físicos puede ocultar las luces a los pilotos que vengán en aproximación a la pista.

Por ello, se definirá un plano de luces ascendente con una pendiente máxima de 1:66 a partir de los primeros 150 m del umbral. En este proyecto, se calculará los mástiles de las luces elevadas desde los 180 a 300 m, que son las luces que necesitan modificación y se supondrá que las luces no modificadas en este tramo tienen la misma altura de mástiles.

La pendiente del terreno, así como el plano de luces definido se podrá ver en los planos correspondientes.

La altura hallada de los mástiles de estas luces se puede ver en la tabla XII. Estos mástiles serán de material compuesto de fibra de vidrio para montaje de 1 sola luz de aproximación.

Distancia de las luces al umbral	Altura de los mástiles
180	0,4
210	0,8
240	1,2
270	1,6
300	2

Tabla XII. Altura de los mástiles de la cabecera 09

La altura de los mástiles desde los 330 hasta los 900 m no se conoce, pero se supondrá que tendrá compatibilidad con lo expresado en este apartado.

Obra civil

Para llevar a cabo la implantación de estas modificaciones explicadas será necesario realizar movimientos de tierra.

El objetivo será nivelar el terreno y dejarlo apto para la instalación de las balizas (sobre todo para las empotradas). En los últimos años, Aena ha empleado diversos presupuestos en este aeropuerto para mantener las cabeceras en buenas condiciones de nivelación y limpieza, por lo que no habrá que hacer una gran inversión.

4.2.2.2 Sistema de iluminación de aproximación de Categoría I (Cabecera 27)

El Aeropuerto de Granada tiene actualmente en la cabecera 27 un sistema sencillo de iluminación de aproximación de 420 m de longitud que se describirá brevemente en los siguientes párrafos. Este sistema está definido de acuerdo a la normativa presente en los capítulos 5.3.4.2 a 5.3.4.9.

El sistema sencillo instalado en la cabecera 27 consiste en una fila de luces situadas en la prolongación del eje de la pista hasta una distancia de 420 m desde el umbral. Además, a los 300 m del umbral, existe una fila de luces que forman una barra transversal de 30 m de longitud.

Las luces que forman la línea central están separadas longitudinalmente 60 m, mientras que las luces de la barra transversal tienen un espaciado lateral de 2,7 m.

Las luces del sistema son fijas, unidireccionales en el sentido de aproximación y de color blanco variable.

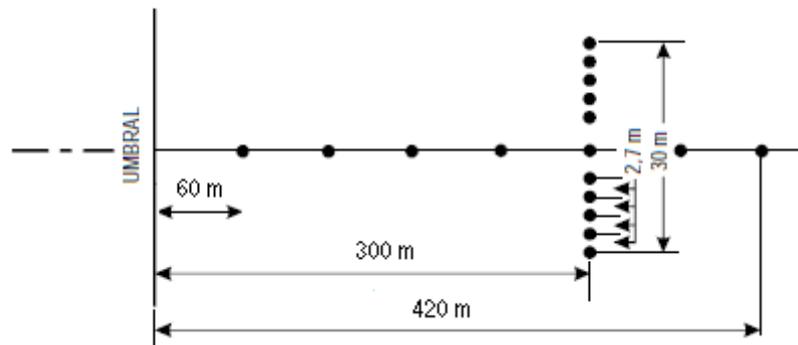


Figura 11. Esquema del sistema sencillo instalado actualmente
 (Fuente: Anexo 14)

Configuración Sistema de Aproximación CAT I

El sistema estará definido de acuerdo a la normativa presente en los capítulos 5.3.4.10 a 5.3.4.21 del Anexo 14.

Consistirá en una fila de barretas situadas en la prolongación del eje de pista, hasta una distancia de 900 m a partir del umbral, con una fila de luces que formen una barra transversal de 30 m de longitud, a una distancia de 300 m del umbral de la pista.

Las barretas que forman la línea central se situarán a intervalos longitudinales de 30 m con la barreta situada más próxima a la pista instalada a 30 m del umbral. Estas barretas estarán formadas por 4 luces simétricas respecto del eje de pista, separadas 1,5 m, de forma que la longitud total de la barreta sea de 4,5 m.

En cuanto a la barra transversal situada a 300 m del umbral, estará formada por dos barretas simétricas respecto a la prolongación del eje de pista, de 8 luces separadas 1,5 m, de forma que la longitud total de cada barreta sea de 10,5 m. Estas barretas laterales estarán separadas de la barreta central por 2,25 m.

En total, se instalarán 136 nuevas balizas (30 barretas de 4 luces y 2 barretas de 8 luces). De estas, 20 serán balizas empotradas (las correspondientes a los primeros 150 m desde el umbral) y 116 serán balizas elevadas.

En la figura 12, se puede ver un esquema del sistema descrito en los párrafos anteriores.

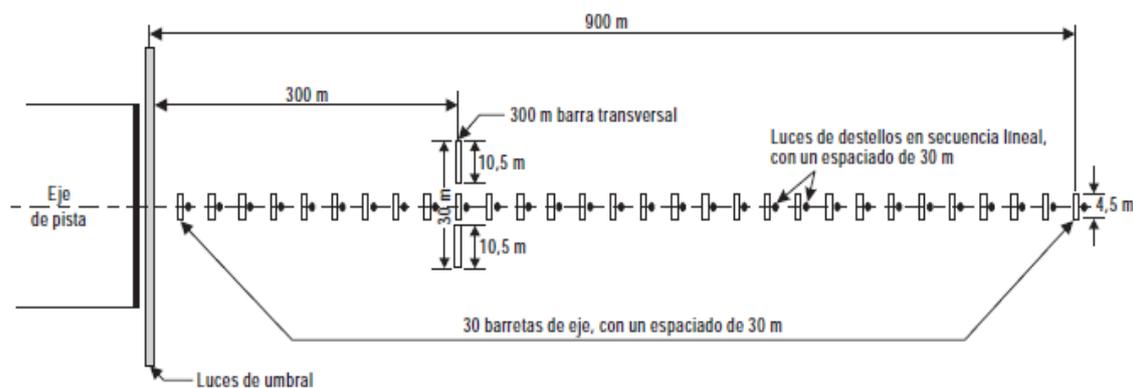


Figura 12. Esquema del Sistema de Aproximación de CAT I proyectado
(Fuente: Anexo 14)

Para este sistema, al contrario de lo que ocurría en la cabecera 09, no se aprovechará nada del sistema actual de aproximación.

Características de las luces

Todas las luces, serán fijas, unidireccionales en el sentido de aproximación de las aeronaves y de color blanco variable.

Circuitos eléctricos

Se colocarán dos circuitos serie ‘AP27-A’ y ‘AP27-B’ para la alimentación de las luces pertenecientes al sistema de aproximación de CAT I.

Los circuitos existentes para el anterior sistema de aproximación sencillo no se utilizarán a partir de ahora.

La alimentación eléctrica se hará de forma que se obtenga una disposición simétrica respecto a la prolongación del eje de pista, es decir, que tenga la siguiente configuración: ABBA.

Instalación

Al igual que ocurría en la cabecera 09, se seguirá la normativa presente en el Adjunto A del Anexo 14 en los apartados 11.2.7 a 11.2.12.

En este caso, al contrario de lo que ocurría en la cabecera anterior, se debe hallar la altura de los mástiles de todas las luces elevadas, no sólo de los primeros 300 m.

Para ello, hay que tener en cuenta los siguientes aspectos en cuanto al plano de luces:

- a) El plano de luces ascendente puede tener una pendiente máxima de 1:66.

- b) No se permite la existencia de objetos más altos que el plano de luces dentro de los límites del mismo, es decir, ningún objeto puede sobresalir del plano de iluminación de aproximación a una distancia de 60 m a cada lado del sistema de línea central ni 60 m posteriores al fin del sistema de aproximación.

Los obstáculos que se encuentran dentro del plano de luces y que se tendrán en cuenta para elegir la altura de las balizas elevadas son los siguientes:

Obstáculo nº 1: Entre los 430 – 465 m del umbral, las barretas centrales cruzan una finca de olivos, que se supondrán de una altura de 3,5 m.

Obstáculo nº 2: Entre los 610 – 640 m del umbral, se encuentra un cortijo a unos 20 m a la derecha de la fila central de luces, en el sentido de aproximación de una aeronave. Se supondrá de una altura de 4 m.

Obstáculo nº 3: Entre los 680 – 760 m del umbral, se encuentra unos árboles a unos 45-60 m a la izquierda de la fila central de luces, en el sentido de aproximación de una aeronave. Se supondrán de 4 m de altura.

Obstáculo nº 4: Entre los 823 – 833 m del umbral y entre los 878 – 898 m se encuentran dos carreteras. Según el Adjunto A del Anexo 14, todos los caminos y autopistas se considerarán obstáculos de una altura de hasta 4,8 m.

Obstáculo nº 5: En la prolongación del eje de pista a los 950 m del umbral, se encuentra una nave que se considerará de una altura de 6 m.

Teniendo en cuenta los obstáculos anteriores, se ha seguido lo siguiente para determinar el plano de luces de la cabecera 27:

- Plano de luces ascendente con una pendiente 1:75 (menor al máximo) desde los 150 m del umbral hasta los 450 m. Esto hace que cada 30 m, la altura de los mástiles suba 0,4 m. Por lo que a 420 m del umbral la altura de los mástiles (3,6 m) es lo suficientemente alta como sortear el obstáculo nº 1.
- Plano de luces horizontal desde los 450 a los 570 m del umbral, debido a que con esa altura es suficiente para los obstáculos de esa zona.
- Plano de luces ascendente con una pendiente 1:75 desde los 570 a 600 m del umbral, para superar el obstáculo nº 2.
- Plano de luces horizontal desde los 600 a los 720 m del umbral, ya que con la altura de 4,4 m se superan los obstáculos nº 2 y nº 3.
- Plano de luces ascendente con una pendiente 1:75 desde los 720 a los 840 m del umbral, para superar el obstáculo nº 4 y nº 5.

- Plano de luces horizontal desde los 840 a 900 m del umbral de pista, ya que con una altura de 6 m, es posible superar el obstáculo nº 5.

La altura hallada de los mástiles de estas luces considerando lo anterior, se puede ver en la tabla XIII. Estos mástiles serán de material compuesto de fibra de vidrio para montaje de 1 sola luz de aproximación hasta los 300 m inclusive, a partir de ahí será un mástil abatible para montaje de 4 luces.

Distancia de las luces al umbral	Altura de los mástiles	Distancia de las luces al umbral	Altura de los mástiles
180	0,4	570	4
210	0,8	600	4,4
240	1,2	630	4,4
270	1,6	660	4,4
300	2	690	4,4
330	2,4	720	4,4
360	2,8	750	4,8
390	3,2	780	5,2
420	3,6	810	5,6
450	4	840	6
480	4	870	6
510	4	900	6
540	4	-	-

Tabla XIII. Altura de los mástiles de la cabecera 27

La pendiente del terreno, así como el plano de luces definido se podrá ver en los planos correspondientes.

Obra civil

Para llevar a cabo la implantación de estas modificaciones explicadas será necesario ejecutar diversas actividades como son:

- Desmontaje de balizas. En primer lugar, será necesario desmontar las balizas existentes del sistema de aproximación sencillo, ya que no serán reutilizadas para este nuevo sistema.
- Movimientos de tierra. El objetivo será dejar apto los 900 m del terreno para la instalación de las nuevas balizas.
- Camino perimetral. Se realizará un camino perimetral alrededor de la cabecera 27 para permitir el acceso del personal de obra, maquinaria y mantenimiento de las nuevas balizas.

- Vallado. Para evitar cualquier tipo de altercado con las nuevas balizas, se instalará un vallado alrededor de ellas.

4.2.2.3 Luces de toma de contacto

Según recoge el capítulo 5.3.13 del Anexo 14, se instalarán luces de toma de contacto en aquellas pistas que tengan aproximaciones de precisión de Categoría II.

Configuración

Las luces de zona de toma de contacto se extenderán desde el umbral hasta una distancia longitudinal de 900 m en sentido contrario a las luces de aproximación.

El sistema estará formado por pares de barretas dispuestas simétricamente respecto al eje de pista. El espaciado longitudinal entre ellas será de 30 m, por lo que se proyecta un total de 60 barretas, 30 a cada lado del eje de pista.

Se ha decidido que el espaciado longitudinal sea de 30 m en lugar de 60 m para permitir operaciones con mínimos de visibilidad más bajos.

Las barretas estarán formadas por 3 balizas empotradas separadas 1,5 m entre sí, teniendo una longitud total de 3 m cada una de ellas. El total de balizas será por tanto de 180 (60 barretas con 3 balizas cada una).

La distancia lateral entre los extremos más cercanos de las barretas será de 18 m.

Características de las luces

Todas las luces serán fijas, unidireccionales en el sentido de aproximación y de color blanco variable.

Circuitos eléctricos

Se dispondrán de dos circuitos serie alternados 'TDZ-A' y 'TDZ-B', con configuración ABAB. Es decir, se irá alternando cada fila completa (6 luces) con un circuito diferente.

La alimentación se realizará desde arquetas situadas fuera del pavimento. En dichas arquetas se colocarán los transformadores de aislamiento correspondientes a cada luz. El cableado secundario se tenderá a través de tubo corrugado enterrado en zanja y bajo el pavimento después, desde la arqueta hasta la caja base profunda.

4.2.2.4 Luces de eje de calle de rodaje

Según recoge el capítulo 5.3.16 del Anexo 14, se instalarán luces de eje de calle de rodaje en las calles de salida de pista, calles de rodaje, instalaciones de deshielo/antihielo y plataformas destinadas a ser utilizadas en condiciones de alcance visual en la pista inferiores a 350 m, de manera que proporcionen una guía continua entre el eje de la pista y los puestos de estacionamiento de aeronaves.

Debido a que el campo de vuelo se está acondicionando para CAT II en la cabecera 09, estas luces de eje de calle de rodaje no son obligatorias instalarlas. Pero se ha decidido instalarlas en ciertas calles de rodaje, basándose en la siguiente recomendación del Anexo 14:

“Deberían instalarse luces de eje de calle de rodaje en las calles de rodaje destinadas a ser utilizadas de noche en **condiciones de alcance visual en la pista iguales a 350 m o más**, y especialmente en las intersecciones complicadas de calles de rodaje y en las calles de salida de pista, pero no es necesario proporcionar estas luces cuando haya reducida densidad de tránsito y las luces de borde y las señales de eje de calle de rodaje proporcionen guía suficiente”

De acuerdo a lo anterior, se instalarán luces de eje de calle de rodaje en aquella parte del área de movimiento destinada a la rodadura de las aeronaves que se vea influenciada por una operación de Categoría II, es decir, las siguientes calles:

- a) T1: para proporcionar una guía a las aeronaves que vayan a despegar por la cabecera 09 en condiciones de CAT II.
- b) T2: para proporcionar una guía a las aeronaves que aterricen por la cabecera 09 y puedan llegar hasta la plataforma.
- c) E1: se proporcionarán tales luces desde la intersección con la calle de rodaje T1 hasta la barra de parada existente en E1.
- d) E4: para proporcionar una guía a las aeronaves que utilicen esta calle de salida rápida una vez que aterricen por la cabecera 09.
- e) E6: para proporcionar una guía a las aeronaves que utilicen esta calle de salida de pista para las aeronaves que aterricen por la cabecera 09.

Estas luces sólo estarán disponibles cuando las condiciones meteorológicas sean superiores a los requisitos de operación de CAT I.

Configuración

Las luces de eje de calle de rodaje en un tramo rectilíneo estarán separadas a intervalos longitudinales que no excedan de 30 m para condiciones de alcance visual en la pista iguales a 350 m o más.

Mientras que si estas luces se encuentran en una curva de calle de rodaje, se emplazarán a continuación de las de la parte rectilínea de la calle de rodaje, a una distancia constante del borde exterior de la curva. El espaciado longitudinal para radios de curva menor a 400 m, será de 7,5 m, tal y como recomienda este capítulo del Anexo 14.

En cuanto a las luces de eje de calle de rodaje en calles de salida rápida, éstas deben comenzar a 60 m antes del comienzo de la curva del eje de la calle de rodaje. En la porción paralela al eje de pista, las luces deben estar siempre a 60 cm por lo menos de cualquier fila de luces de eje de pista. En el proyecto, se ha decidido colocarlas a 1 m de distancia de las luces de eje de pista. El espaciado longitudinal será de 15 m en tramos rectos y 7,5 m en tramos curvos en esta calle de salida rápida.

Por último, las luces de eje de calle de rodaje en calles de salida que no sean rápidas comienzan en el punto en el que las señales del eje de calle de rodaje inician la parte curva separándose del eje de pista. La primera luz debe estar al menos a 60 cm de cualquier fila de luces de eje de pista, en el proyecto se ha decidido colocarla a 1 m de distancia. El espaciado longitudinal será de 7,5 m, salvo en algún tramo recto de la calle que será siempre inferior a 15 m.

Características de las luces

Las luces de eje de una calle de rodaje que no sea calle de salida y de una pista que forme parte de una ruta normalizada para el rodaje serán fijas, bidireccionales y de color verde y las dimensiones de los haces serán tales que sólo sean visibles desde aviones que estén en la calle de rodaje o en la proximidad de la misma.

Las luces de eje de calle de rodaje de una calle de salida serán fijas y bidireccionales. Dichas luces serán alternativamente de color verde y amarillo desde su comienzo cerca del eje de la pista hasta la barra de parada de dicha calle y seguidamente todas las luces deberán verse de color verde. La luz más cercana al perímetro será siempre de color amarillo.

Todas las balizas serán empotradas.

Circuitos eléctricos

Se instalarán cuatro circuitos serie:

- ‘EJ-A’ y ‘EJ-B’ para la alimentación de las luces pertenecientes a las calles de rodajes E1 y T1.
- ‘EJ-C’ y ‘EJ-D’ para la alimentación de las luces pertenecientes a las calles de rodajes E4, E6 y T2.

Las luces estarán alimentadas de forma alternada por medio de los cuatro circuitos mencionados de forma que se obtenga una disposición lo más repartida posible.

La alimentación se realizará desde arquetas situadas fuera del pavimento. En dichas arquetas se colocarán los transformadores de aislamiento correspondientes a cada luz. El cableado secundario se tenderá a través de tubo corrugado enterrado en zanja y bajo el pavimento después, desde la arqueta hasta la caja base profunda.

A continuación, en la tabla XIV se puede ver un resumen de lo explicado para las luces de eje de calle de rodaje.

Calle de rodaje	Separación longitudinal	Número de balizas	Color	Circuito eléctrico
T1	30 m	41	Verde	EJ - A/B
T2	30 m	39	Verde	EJ - C/D
E1	7,5 m	19	Verde	EJ - A/B
E4-1	15 m	24	Alternadas verde y amarillo	EJ - C/D
E4-2	Tramos rectos 15 m, tramos curvos 7,5 m	15	Verde	EJ - C/D
E6-1	Tramos rectos 10-15 m, tramos curvos 7,5 m	18	Alternadas verde y amarillo	EJ - C/D
E6-2	7,5	18	Verde	EJ - C/D
TOTAL	-	174	-	-

Tabla XIV. Resumen balizas de eje de calle de rodaje

Observación: Las calles de salida se han renombrado dividiéndolas a su vez en dos partes. Las balizas que van desde la pista hasta la barra de parada, son nombradas mediante E4-1, y E6-1, mientras que desde la barra de parada a la calle de rodaje T2, son nombradas mediante E4-2 y E6-2.

4.3 Letreros

Los letreros se ajustarán a las normativas y recomendaciones descritas en el capítulo 5.4 y en el Apéndice 4 del Anexo 14 de OACI.

Los letreros de información no serán modificados, ya que son válidos los actuales.

En cuanto a los letreros obligatorios, serán reemplazados los letreros de punto de espera de las calles de rodaje E1, E2, E5 y E6. Estos tendrán inscripciones en blanco sobre fondo rojo.

En las calles E1 y E2:

- Letrero indicador de punto de espera de Categoría II. La inscripción del letrero de punto de espera consiste en el designador: **09 CAT II**

Mientras que en las calles E5 y E6:

- Letrero indicador de punto de espera de Categoría I. La inscripción del letrero de punto de espera consiste en el designador: **27 CAT I**

El emplazamiento y dimensiones de los letreros reemplazados se puede observar en los planos correspondientes. Mientras que en las figuras 13 y 14 se puede ver como quedarían las inscripciones de los letreros con el color correspondiente.



Figura 13. Inscripción letrero calles E1 y E2



Figura 14. Inscripción letrero calles E5 y E6

Estos letreros instalados tendrán iluminación interna como los sustituidos. Para la alimentación eléctrica se utilizarán los circuitos existentes hasta ahora para alimentar a tales letreros.

El promedio de luminancia de los letreros será como mínimo:

- Rojo → 10 cd / m²
- Blanco → 100 cd/ m².

La relación de luminancia entre los elementos rojo y blanco de un letrero con instrucciones obligatorias será de entre 1:5 y 1:10.

5. ELECCIÓN DE BALIZAS

Este capítulo tiene como objetivo elegir las nuevas balizas a montar en el Aeropuerto de Granada. Para ello, habrá que decidir si se utilizan las tradicionales luces halógenas, las modernas luces LED o una combinación de ambas.

Antes de tomar la decisión al final del capítulo, se calculará la potencia que demanda los circuitos descritos en el Capítulo 4 de esta memoria tanto con luces halógenas como con luces LED. Con estos resultados se tendrán argumentos para tomar la decisión final.

Sólo se mostrarán los resultados finales obtenidos, debido a que el proceso de cálculo para hallar tales potencias se explica detalladamente en el Anexo B de este proyecto.

5.1 Opción A: Luces halógenas

En esta primera opción, sólo se contempla la instalación de luces halógenas. En la tabla XV se muestran los distintos tipos de balizas a instalar y la potencia de cada uno de ellas en esta opción.

Baliza	Tipo	Color	Número de luces	Potencia de cada lámpara (W)	Potencia baliza (W)
Eje central de aproximación	Halógena-Empotrada	Blanca variable	3	105	315
Eje central de aproximación	Halógena-Elevada	Blanca variable	1	150	150
Eje lateral de aproximación	Halógena-Empotrada	Roja	3	105	315
Eje lateral de aproximación	Halógena-Elevada	Roja	1	100	100
Barra transversal de aproximación	Halógena-Empotrada	Blanca variable	3	105	315
Barra transversal de aproximación	Halógena-Elevada	Blanca variable	1	150	150
Toma de contacto	Halógena-Empotrada	Blanca variable	1	45	45
Eje de calle de rodaje	Halógena-Empotrada	Verde	2	40	80
Eje de calle de salida	Halógena-Empotrada	Verde/ Amarilla	2	40	80

Tabla XV. Potencia de las balizas - Opción A

Utilizando las anteriores balizas y con los cálculos realizados en el Anexo B, es posible calcular la potencia demandada, transformadores y reguladores necesarios para cada circuito.

En la tabla XVI se puede observar los resultados más relevantes:

Circuito	Número de balizas	Potencia demandada (KW)	Transformadores necesarios	Regulador
AP09-A	56	14,95	28 de 400 W 16 de 200 W 12 de 150 W	1 de 20 KVA
AP09-B	58	15,31	28 de 400 W 18 de 200 W 12 de 150 W	1 de 20 KVA
AP27-A	68	14,46	10 de 400 W 58 de 200 W	1 de 20 KVA
AP27-B	68	14,46	10 de 400 W 58 de 200 W	1 de 20 KVA
TDZ-A	90	6,41	90 de 65 W	1 de 7,5 KVA
TDZ-B	90	6,41	90 de 65 W	1 de 7,5 KVA
EJ-A	30	3,29	30 de 100 W	1 de 5 KVA
EJ-B	30	3,29	30 de 100 W	1 de 5 KVA
EJ-C	57	6,27	57 de 100 W	1 de 7,5 KVA
EJ-D	57	6,27	57 de 100 W	1 de 7,5 KVA
TOTAL	604	91,12	76 de 400 W 150 de 200 W 24 de 150 W 174 de 100 W 180 de 65 W	4 de 20 KVA 4 de 7,5 KVA 2 de 5 KVA

Tabla XVI. Cálculos de balizamiento – Opción A

La potencia total demanda en el conjunto de circuitos es de **91,12 KW**, mientras que los transformadores necesarios serán de las siguientes potencias nominales: 65, 100, 150, 200 y 400 W. En cuanto a los reguladores, serán necesarios de potencias comprendidas entre los 5 y los 20 KVA, tal y como se puede ver en la tabla anterior.

5.2 Opción B: Luces halógenas + Luces LED

En esta segunda opción, se ha decidido introducir luces LED. En primer lugar, se ha comprobado que tales luces están certificadas por la OACI y cumplen los requisitos fotométricos y mecánicos exigidos por la normativa actual.

La empresa Safegate Group es puntera en este tipo de tecnologías y tiene gran parte de las luces del aeropuerto certificadas para el uso de LED.

Particularizando para el proyecto, todas las luces proyectadas pueden ser LED, excepto las balizas empotradas de aproximación, que no están certificadas para este tipo de luces.

Por tanto, en esta opción B, se ha decidido utilizar las siguientes luces:

a) Aproximación 09

Como se ha detallado en el apartado 4.2.2.1, se mantendrá la fila central de luces además de las luces de los extremos de la barra transversal situada a 300 metros del umbral (todas ellas halógenas). Ante esta situación, se ha decidido no instalar luces LED en esta cabecera, ya que los diagramas de isocandelas no son exactamente iguales para luces halógenas y LED (como se puede observar en las figuras 15 y 16) y dado que la separación entre ellas en la fila central y en la barreta transversal es de sólo 1,5 m, se justifica la decisión tomada.

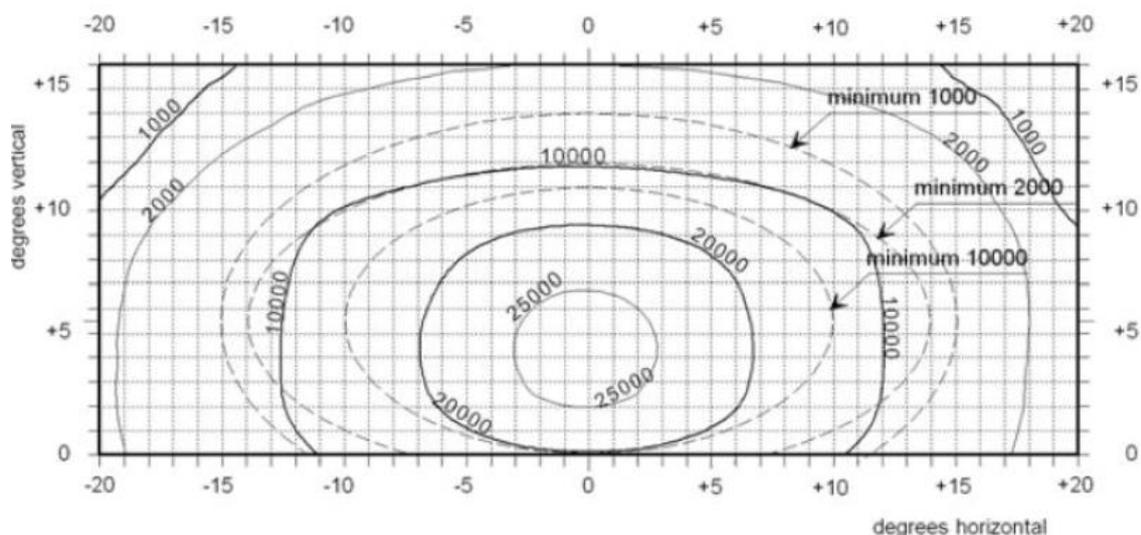
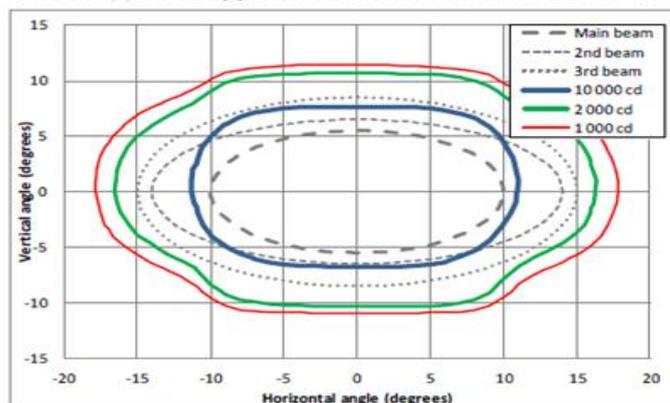


Figura 15. Diagrama de isocandelas para luces de aproximación elevadas – Luces halógenas
(Fuente: Safegate Group)

SafeLED IQ AC-E Approach Centre Line and Crossbar White



	Requirement ICAO Fig A2-1:	Typical value:
Main beam average	> 20 000 cd	22 594 cd
Main beam minimum	> 10 000 cd	12 581 cd
2nd beam minimum	> 2 000 cd	4 830 cd
3rd beam minimum	> 1 000 cd	3 048 cd
Ratio (max/min main beam)	< 3.0	2.2

Figura 16. Diagrama de isocandelas para luces de aproximación elevadas – Luces LED
(Fuente: Safegate Group)

Además del sistema de luces de la fila central y de las barretas transversales, en la aproximación de la cabecera 09 se encuentra el sistema de luces de eje lateral (balizas rojas). Existen en total, 18 barretas de 3 balizas cada una de ellas, de las cuales 10 están empotradas por lo que no se pueden utilizar luces LED. Por ello, se ha tomado la decisión de no instalarlas en ninguna de las ocho barretas restantes debido a que el ahorro que se produce de potencia es ínfimo al ser sólo 24 balizas.

Por tanto, tanto en la opción A como en la B, la aproximación de la cabecera 09 será con luces halógenas.

b) Aproximación 27

Todas las balizas elevadas (116) serán con luces LED de 79 W de potencia, mientras que las empotradas (20) serán halógenas, al no existir balizas con luces LED certificadas para este tipo.

c) Toma de contacto

Todas las balizas empotradas (180) serán con luces LED de 15 W de potencia.

d) Eje de calle de rodaje/ Eje de calle de salida

Todas las balizas empotradas (174) contarán con dos luces LED de 15 W de potencia cada una.

En la tabla XVII, se muestran las potencias de las balizas utilizadas en esta opción B, donde la última columna muestra el porcentaje de reducción de potencia de una baliza LED respecto a la halógena correspondiente.

Baliza	Tipo	Color	Número de luces	Potencia de cada luz (W)	Potencia baliza (W)	Reducción de potencia (%)
Eje central de aproximación	Halógena-Empotrada	Blanca variable	3	105	315	-
Eje central de aproximación	Halógena-Elevada	Blanca variable	1	150	150	-
Eje central de aproximación	LED - Elevada	Blanca variable	1	79	79	47,33
Eje lateral de aproximación	Halógena-Empotrada	Roja	3	105	315	-
Eje lateral de aproximación	Halógena-Elevada	Roja	1	100	100	-
Barra transversal de aproximación	Halógena-Empotrada	Blanca variable	3	105	315	-
Barra transversal de aproximación	Halógena-Elevada	Blanca variable	1	150	150	-
Barra transversal de aproximación	LED-Elevada	Blanca variable	1	79	79	47,33
Toma de contacto	LED - Empotrada	Blanca variable	1	15	15	66,27
Eje de calle de rodaje	LED - Empotrada	Verde	2	15	30	62,5
Eje de calle de salida	LED - Empotrada	Verde/ Amarilla	2	15	30	62,5

Tabla XVII. Potencia de las balizas - Opción B

Utilizando las anteriores balizas y con los cálculos realizados en el Anexo B, es posible calcular la potencia demanda, transformadores y reguladores necesarios para cada circuito.

En la tabla XVIII se puede observar los resultados más relevantes.

Circuito	Número de balizas	Potencia demandada (KW)	Transformadores necesarios	Regulador
AP09-A	56	14,95	28 de 400 W 16 de 200 W 12 de 150 W	1 de 20 KVA
AP09-B	58	15,31	28 de 400 W 18 de 200 W 12 de 150 W	1 de 20 KVA
AP27-A	68	9,77	10 de 400 W 58 de 100 W	1 de 15 KVA
AP27-B	68	9,77	10 de 400 W 58 de 100 W	1 de 15 KVA
TDZ-A	90	3,42	90 de 45 W	1 de 5 KVA
TDZ-B	90	3,42	90 de 45 W	1 de 5 KVA
EJ-A	30	1,59	30 de 45 W	1 de 2,5 KVA
EJ-B	30	1,60 ³	30 de 45 W	1 de 2,5 KVA
EJ-C	57	3,05	57 de 45 W	1 de 5 KVA
EJ-D	57	3,05	57 de 45 W	1 de 5 KVA
TOTAL	604	65,93	76 de 400 W 34 de 200 W 24 de 150 W 116 de 100 W 354 de 45 W	2 de 20 KVA 2 de 15 KVA 4 de 5 KVA 2 de 2,5 KVA

Tabla XVIII. Cálculos de balizamiento – Opción B

La potencia total demanda en el conjunto de circuitos es de **65,93 KW**, mientras que los transformadores necesarios serán de las siguientes potencias nominales: 45, 100, 150, 200 y 400 W. En cuanto a los reguladores, serán necesarios de potencias comprendidas entre los 2,5 y los 20 KVA, tal y como se puede ver en la tabla anterior.

5.3 Elección final

Para elegir la opción final, se comparará la potencia demanda en ambos circuitos, como se puede ver en la tabla XIX.

³ Los circuitos EJ-A y EJ-B tienen las mismas balizas y por tanto, deben tener la misma potencia demandada en el circuito. Esa mínima diferencia se debe a los redondeos producidos.

Circuito	Potencia demandada (KW) – Opción A	Potencia demandada (KW) – Opción B
AP09-A	14,95	14,95
AP09-B	15,31	15,31
AP27-A	14,46	9,77
AP27-B	14,46	9,77
TDZ-A	6,41	3,42
TDZ-B	6,41	3,42
EJ-A	3,29	1,59
EJ-B	3,29	1,60
EJ-C	6,27	3,05
EJ-D	6,27	3,05
TOTAL	91,12	65,93

Tabla XIX. Comparación de potencias demandadas

Como se puede observar, mediante la opción B, se consigue un 27,75 % menos de potencia demandada. Esto supondrá un ahorro de energía para el aeropuerto durante la vida de estas balizas, aunque eso suponga una mayor inversión inicial debido a que el coste de las balizas LED es superior al coste de las balizas halógenas (entre 150-200 € más por baliza).

También hay que tener en cuenta, que al utilizar balizas LED se necesitarán transformadores y reguladores de menor potencia nominal (como se observa en las tablas XX y XXI).

Transformador/ Potencia nominal (W)	Número de transformadores Opción A	Número de transformadores Opción B
45	-	354
65	180	-
100	174	116
150	24	24
200	150	34
400	76	76

Tabla XX. Comparación de transformadores

Reguladores/ Potencia nominal (KVA)	Número de reguladores Opción A	Número de reguladores Opción B
2,5	-	2
5	2	4
7,5	4	-
15	-	2
20	4	2

Tabla XXI. Comparación de reguladores

Por tanto, antes estas evidencias, se ha elegido para el proyecto la **opción B**.

6. ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CAT II

Las balizas del sistema de CAT II instalado se alimentarán mediante una instalación autónoma de paneles fotovoltaicos fijos. El dimensionamiento se hará de forma que todos los circuitos eléctricos proyectados excepto AP27-A y AP27-B sean alimentados mediante esta instalación.

Los circuitos AP27-A y AP27-B serán alimentados por la red eléctrica del aeropuerto al igual que ocurre con las balizas existentes.

6.1 Diseño del sistema

En el capítulo 2 de la memoria se muestra que las desviaciones se producen principalmente en los meses de Diciembre y Enero. Es por ello que el diseño de la pequeña planta fotovoltaica se ha realizado para el mes más crítico, es decir, Diciembre. Ya que además de ser el mes donde se produce las mayores desviaciones, también es el mes con peor radiación solar.

Una vez conocido el mes de diseño, es posible definir dos ángulos muy importantes en las instalaciones fotovoltaicas:

- Ángulo de inclinación (β): es el ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal (figura 17). Su valor es 0° para módulos horizontales y 90° para verticales.

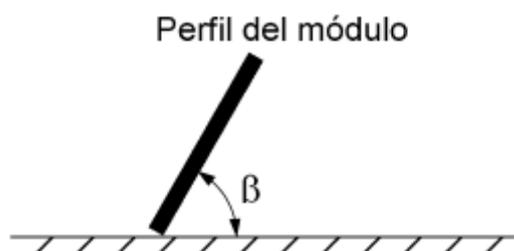


Figura 17. Ángulo de inclinación

- Ángulo de azimut (α): es el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar (figura 18). Valores típicos son 0° para módulos orientados al sur, -90 para módulos orientados al este y $+90$ para módulos orientados al oeste.

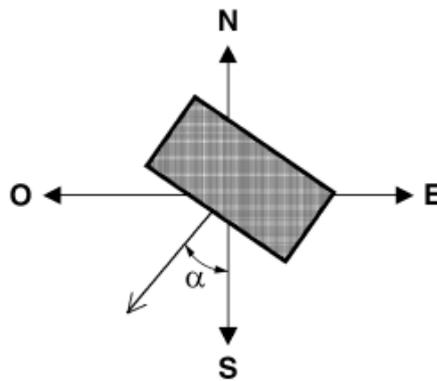


Figura 18. Ángulo de azimut

El ángulo de azimut suele ser 0° , ya que los módulos orientados al sur obtienen mayor irradiancia en el hemisferio norte, por tanto este será el valor elegido.

Para elegir el ángulo de inclinación, hay que tener en cuenta varios factores:

- **Elección del lugar:** la instalación fotovoltaica se situará en el terreno al lado de la central eléctrica para evitar mayores pérdidas eléctricas, ya que los sistemas necesarios para la instalación autónoma como son los inversores y baterías se situarán en la central eléctrica. Este terreno tiene unas dimensiones útiles para la colocación de los paneles fotovoltaicos de 75 x 75 m.

Las coordenadas del terreno son las siguientes:

Latitud: $37^\circ 11' 05''$ N; Longitud: $3^\circ 46' 53''$ W



Figura 19. Lugar elegido para la instalación fotovoltaica

- **Mes de diseño:** Diciembre. La inclinación se elegirá de forma que se maximice la irradiación en ese mes, aunque eso suponga no maximizar la producción anual de energía.

Para conocer la irradiación durante los distintos meses del año y elegir la inclinación óptima se utilizará los datos de radiación solar de la página pública de la Comisión Europea, PVGIS, la cual es una de las herramientas más utilizadas actualmente.

En la tabla XXII, se observa las inclinaciones óptimas según el mes del año.

Mes	Inclinación óptima (β)	Mes	Inclinación óptima (β)
Enero	62	Julio	7
Febrero	54	Agosto	19
Marzo	41	Septiembre	35
Abril	24	Octubre	49
Mayo	12	Noviembre	60
Junio	3	Diciembre	64

Tabla XXII. Inclinación óptima en los diferentes meses

Como se puede ver, la diferencia de inclinación entre los meses de verano e invierno es más que evidente. Pero dado que el diseño de la planta será para el mes de diciembre, **el ángulo de inclinación elegido será de 64°**.

La irradiación en diciembre sobre un plano inclinado de 64° y azimut 0° es de:

$$G_{am}(\alpha = 0, \beta = 64^\circ) = 4760 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$$

Todos los meses del año tienen con esa inclinación elegida una irradiación mayor a 4760 Wh/ (m²·día).

Una vez conocido el emplazamiento de la instalación, la inclinación y orientación de los paneles fotovoltaicos y la irradiación en el mes de diseño, sólo falta dimensionar los parámetros de la instalación.

6.2 Dimensionamiento del generador

Para dimensionar el generador (paneles fotovoltaicos a montar) será necesario en primer lugar estimar la energía media diaria consumida por el sistema E_D (Wh/día).

Para ello, se utilizará la programación de un día tipo del Aeropuerto de Granada del año 2014 proporcionada por la Directora de Operaciones, Raquel Blanco.

LLEGADAS			SALIDAS		
			7:30	MAD	ESPAÑA
9:05	BCN	ESPAÑA	9:35	BCN	ESPAÑA
9:55	MAD	ESPAÑA	10:25	MAD	ESPAÑA
12:00	PMI	ESPAÑA	12:40	PMI	ESPAÑA
12:10	BCN	ESPAÑA	12:40	BCN	ESPAÑA
13:15	MAD	ESPAÑA	13:45	MAD	ESPAÑA
14:10	MLN	ESPAÑA	14:40	MLN	ESPAÑA
16:50	MAD	ESPAÑA	17:25	MAD	ESPAÑA
19:50	MAD	ESPAÑA	20:20	MAD	ESPAÑA
21:00	BCN	ESPAÑA	21:30	BCN	ESPAÑA
23:00	MAD	ESPAÑA			

Figura 20. Programación de un día tipo

Con esta programación y conociendo que las nieblas que se producen en el aeropuerto son matinales, se puede concluir que el sistema de operación de CAT II se utilizará mayormente a lo sumo hasta 12-12:30 de la mañana (conclusión obtenida de los datos meteorológicos del aeropuerto). Es decir, como máximo podrá afectar a 4 vuelos de llegada y a 3 vuelos de salida.

Para conocer las horas de utilización de los distintos circuitos, se ha llegado a las siguientes suposiciones:

- Los circuitos AP09-A, AP09-B, TDZ-A, TDZ-B, EJ-C y EJ-D se encenderán 15 minutos por cada llegada. Tiempo más que suficiente para la aproximación, aterrizaje y recorrido por las calles de rodaje.
- Los circuitos EJ-A y EJ-B se encenderán 10 minutos por cada vuelo de salida. Tiempo más que suficiente para recorrer las calles de rodaje hasta la pista.

Si se aplican tales suposiciones es posible hallar la energía media diaria consumida los días que sean necesarios encender el sistema de CAT II.

Circuito	Potencia demandada (KW)	Horas de utilización al día	Energía diaria consumida
AP09-A	14,95	1h = 4 x 15 min	14,95 KWh/día
AP09-B	15,31	1h = 4 x 15 min	15,31 KWh/día
TDZ-A	3,42	1h = 4 x 15 min	3,42 KWh/día
TDZ-B	3,42	1h = 4 x 15 min	3,42 KWh/día
EJ-A	1,59	0,5 h = 3 x 10 min	0,8 KWh/día
EJ-B	1,60	0,5 h = 3 x 10 min	0,8 KWh/día
EJ-C	3,05	1h = 4 x 15 min	3,05 KWh/día
EJ-D	3,05	1h = 4 x 15 min	3,05 KWh/día
TOTAL	46,75	-	44,80 KWh/día

Tabla XXIII. Energía diaria consumida

Una vez conocida esta energía, es posible determinar el dimensionado mínimo del generador, según la expresión [1].

$$P_{mp,min} = \frac{E_D \cdot G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot PR} = \frac{44800 \cdot 1000}{4760 \cdot 0,6} = 15687 \text{ Wp} \quad [1]$$

Donde:

- $P_{mp,min}$ → Potencia pico del generador expresado en Wp
- E_D → Consumo expresado en Wh/día.
- G_{CEM} → Valor de la irradiación en Condiciones Estándar de Medida (CEM). Su valor está fijado en 1000 W/ m².
- $G_{dm}(\alpha, \beta)$ → Valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano del generador en Wh/ (m² · día).

- *PR* → Rendimiento energético de la instalación o ‘performance ratio’. Este factor considera las pérdidas en la eficiencia energética debido a: temperatura, cableado, pérdidas por dispersión de parámetros y suciedad, eficiencia energética del inversor, etc. Según el Pliego de Condiciones Técnicas del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) este factor tiene un valor aproximado de 0,6 para el caso de un sistema con inversor y batería como es el caso.

Por tanto, la potencia mínima de la instalación será de 15687 Wp. Aunque IDAE en su Pliego de Condiciones Técnicas permite al instalador elegir el tamaño del generador (para ajustar a los valores de los paneles comerciales) siempre y cuando la potencia nominal de éste no supere en un 20 % el valor hallado como mínimo. Es decir, la potencia de la instalación debe estar comprendida entre 15687 y 18824 Wp en este caso.

La elección del modelo de panel fotovoltaico, las características técnicas más importantes, el número elegido de paneles y la agrupación de éstos se puede ver en la tabla XXIV.

Modelo panel fotovoltaico	EX – 250 M
Número de paneles	72
Potencia máxima del panel	250 Wp
Corriente de cortocircuito	5,40 A
Corriente en el punto de máxima potencia	4,90 A
Tensión de circuito abierto	61,70 V
Tensión en el punto de máxima potencia	51 V
Dimensiones	1580 x 1069 x 45 mm
Agrupación	Montaje en grupos de 24 paneles (12 arriba y 12 abajo) 3 filas de 24 paneles

Tabla XXIV. Modelo elegido de panel solar

La tensión y la intensidad de trabajo del generador (la que recibirá el inversor) será la siguiente:

- Tensión máxima de trabajo: los voltajes de las placas se suman si están en serie, en este caso, por cada fila hay 12 placas en serie, por tanto: $12 \cdot 51 = 612$ V.
- Intensidad máxima de trabajo: las intensidades de las placas se suman si están en paralelo. En cada fila, la intensidad es de $4,90 \cdot 2 = 9,8$ A; al tener 3 filas la instalación en paralelo: $9,8 \cdot 3 = 29,4$ A.

En cuanto a la potencia máxima de la instalación, será de 250 Wp por el número de paneles (72), es decir, 18000 Wp. Este valor se encuentra dentro del valor permitido.

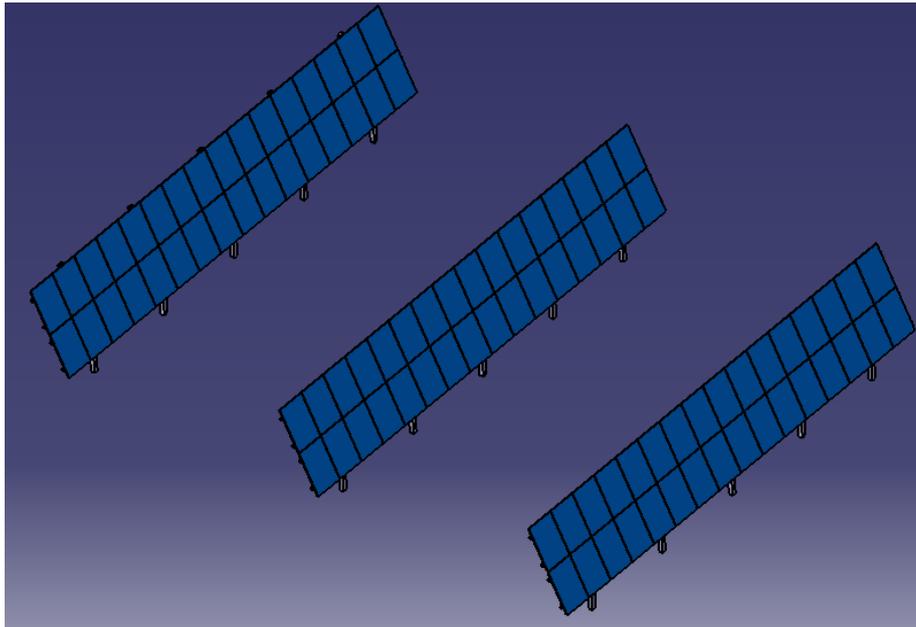


Figura 21. Representación en CATIA de la instalación fotovoltaica

6.2.1 Situación de los paneles fotovoltaicos

La instalación contará con 3 filas de paneles, para evitar que se produzcan sombras entre los distintos módulos se calculará la distancia mínima entre filas.

Para ello es necesario conocer la altura máxima de la agrupación de los paneles (ver plano correspondiente) y un factor K, el cual se calcula con la expresión [2]

$$\text{Factor } K = \frac{1}{\text{tg}(61^\circ - \text{latitud del lugar})} = \frac{1}{\text{tg}(61^\circ - 37,185^\circ)} = 2,266 \quad [2]$$

Una vez conocido este factor, la distancia mínima entre paneles es:

$$d_{\text{mín}} = \text{Altura máxima} \cdot \text{Factor } K = 3,913 \cdot 2,266 = 8,87 \text{ m} \quad [3]$$

Debido a que no existe problemas de espacio se ha elegido una distancia entre filas de 10 m.

También hay que tener en cuenta las vallas de seguridad de la instalación. Éstas son de 2,5 m de altura, por lo que utilizando la expresión [2] y [3] se llega a la conclusión de que la separación de los paneles a las vallas debe ser de 5,67 m como mínimo. Se ha elegido una separación de 6 m.

En el plano correspondiente se puede ver la situación de los paneles fotovoltaicos teniendo en cuenta las separaciones calculadas.

6.3 Dimensionamiento de las baterías

Para el dimensionamiento de las baterías es necesario conocer los siguientes parámetros:

- La tensión nominal a la que trabajará las baterías: V_{NOM} → Esta será de 360 Vdc debido a que el inversor que se ha elegido en el posterior apartado necesita una tensión entre 300 y 420 Vdc. Para conseguir este valor se agruparán en paralelo 30 baterías de 12 V.
- El consumo medio diario de la carga en Ah/ día: L_D → Este consumo se calcula mediante la expresión [4].

$$L_D = \frac{E_D \left(\frac{Wh}{día} \right)}{V_{NOM} (V)} = \frac{45160}{360} = 125,44 \frac{Ah}{día} \quad [4]$$

- El número de días de autonomía de las baterías → Se ha optado por ser conservador en el diseño, y elegir 5 días de autonomía aunque IDAE obliga a tener un mínimo de 3 días. Se ha elegido ese número teniendo en cuenta la tabla XXV, donde se tienen los datos meteorológicos del Aeropuerto de Granada para el periodo de referencia 1981-2010. En ella, se puede observar que de media sólo se producen 7,2 días despejados en el mes por lo que sólo en estos días las baterías se podrán recargar a plena carga, es por ello que se ha preferido ser cauteloso a la hora de elegir los días de autonomía.

Mes	Días despejados	Días nubosos	Días cubiertos	Días de niebla
Diciembre	7,2	15,1	8,7	5,6

Tabla XXV. Datos meteorológicos del Aeropuerto de Granada

- Profundidad de descarga máxima ($PD_{máx}$) → Es el cociente entre la carga extraída de una batería y su capacidad nominal. Se tomará la recomendación de IDAE, es decir, 0,8.

Una vez que se conocen estos parámetros es posible hallar la capacidad nominal de las baterías mediante la expresión [5]

$$C_{nominal} = \frac{C_{útil}}{PD_{máx}} = \frac{L_D \cdot Autonomía}{0,8} = 784 A \cdot h \quad [5]$$

Esta capacidad nominal es 24,2 veces la corriente de cortocircuito de la instalación fotovoltaica que es de 32,4 A. Esto implica que cumple el requisito del pliego de condiciones técnicas de IDEA que exige que sea menor de 25.

En la tabla XXVI, se exponen los detalles técnicos del dimensionamiento de las baterías.

Modelo batería	8 OPZS 800 12v
Número de baterías	30
Agrupación	En paralelo
Descarga	Desde 10 Ah a 853 Ah
Temperatura de trabajo	Desde -20 °C a 55° C
Autodescarga	2% al mes a 20° C
Ciclos	1500 al 80% de profundidad de descarga
Vida útil	20 años a 20° C
Dimensiones	210 x 191 x 711 mm

Tabla XXVI. Modelo elegido de baterías

6.4 Elección del inversor

El inversor elegido se adapta a las agrupaciones elegidas tanto en baterías como en los paneles fotovoltaicos.

El inversor lleva incorporado el regulador de carga, por lo que no será necesario calcularlo.

Las características principales del inversor se encuentran en la tabla XXVII.

Modelo Inversor	ZIGOR SOLAR HIT3C 50	
ENTRADAS		
Paneles fotovoltaicos	Rango de tensión	420/700 Vdc
	Corriente máxima	125 A
Baterías	Rango de tensión	300/420 Vdc
	Corriente máxima de carga	50 A
	Corriente máxima de descarga	173 A
Grupo Electrónico (RED)	Tensión nominal	400 Vac
	Frecuencia nominal	50/60 Hz
SALIDA		
Potencia continua de salida	50 KW	
Frecuencia nominal de salida	50/60 Hz	
Tensión nominal de salida	400 Vac	
Distorsión de tensión AC	< 3%	
Dimensiones	1950 x 1200 x 630 mm	

Tabla XXVII. Modelo elegido de inversor

Como se puede observar en la tabla, el inversor tiene 3 entradas, los paneles fotovoltaicos, la batería y el grupo electrónico. En el proyecto, el grupo electrónico será la red eléctrica del aeropuerto que se activará en caso de agotamiento de las baterías.

En cuanto a la salida, es capaz el inversor de dar una potencia de 50 KW de forma continua, cuando el máximo previsto por los circuitos instalados es de 46,75 KW, por tanto, entra dentro del rango necesario.

En cuanto a las baterías, la descarga máxima que puede hacer el inversor es de 173 A, valor más que suficiente, debido a que si todas las luces funcionaran a la vez, la intensidad de descarga sería de 125,44 A.

Este inversor cuenta con protecciones frente a polarizaciones inversas, cortocircuitos, sobretensiones y fallo de aislamiento con salida a relé.

En la figura 22, se muestra el inversor elegido.



Figura 22. Inversor ZIGOR SOLAR HIT3C

6.5 Diagrama unifilar

A continuación, se muestra un pequeño diagrama unifilar de la instalación fotovoltaica diseñada.

Donde se ha añadido, un cuadro de agrupación de ramas definido como caja de nivel 1, capaz de soportar una tensión de 1000 V.

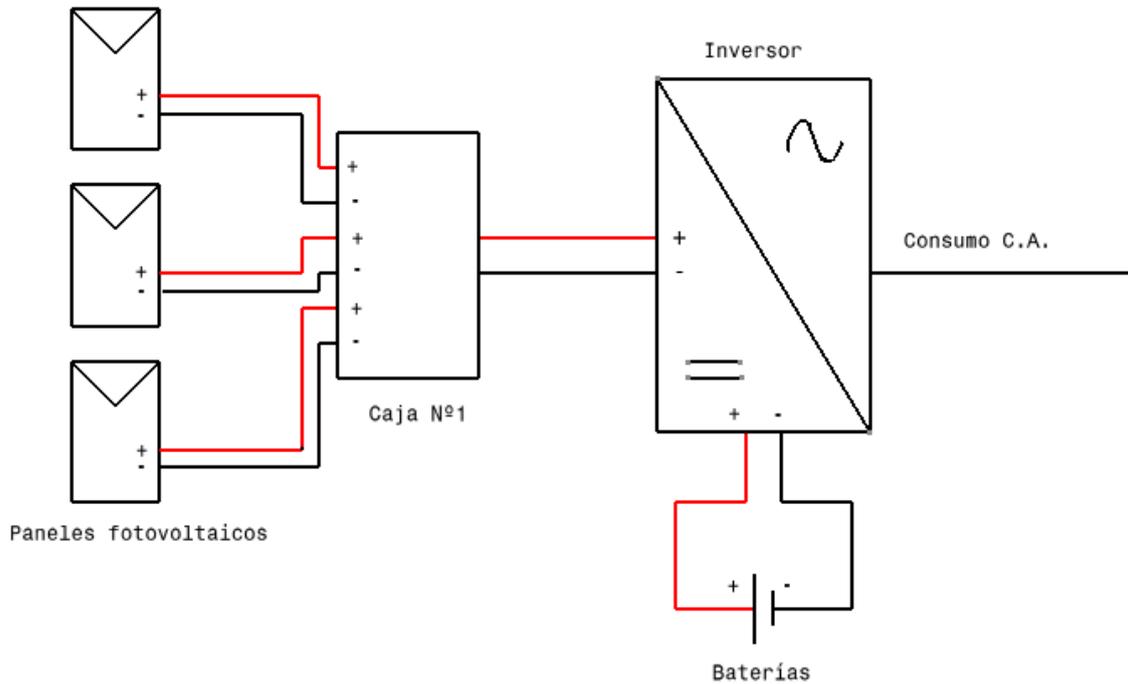


Figura 23. Diagrama unifilar

Las baterías y el inversor se colocarán en la Central Eléctrica del Aeropuerto de Granada, por lo que será necesario un pequeño espacio dentro de ésta. En el caso de que no hubiera espacio sería necesario ampliar tal instalación.

6.6 Utilización de la energía en exceso

Durante los meses de verano, principalmente, el sistema de CAT II no se utilizará debido a que no será necesario, por lo que la energía que proviene de la instalación fotovoltaica no será desaprovechada.

Para evitar esta situación, se propone utilizar esta energía sobrante para alimentar la terminal de pasajeros, así se conseguirá reducir la factura eléctrica del aeropuerto y rentabilizar de manera más rápida la instalación fotovoltaica.

No será objeto de este proyecto los sistemas eléctricos necesarios para que esta situación sea posible.

7. CABLES ELÉCTRICOS

En este capítulo se expondrán los cables seleccionados para el cableado primario y secundario, además de calcular de forma detallada los cables utilizados en la instalación fotovoltaica.

7.1 Cableado primario y secundario

El tipo de cable que se instalará en los nuevos sistemas de balizamiento del Aeropuerto de Granada será del mismo tipo que los existentes actualmente, es decir:

- Cableado primario (banco de tubos y peine): Cu UNE RHV 5KV 1 x 6 mm².
- Cableado secundario (peine y tubo corrugado): Cu UNE RV 1 x 2,5 mm² 0,6/1 KV

7.2 Cableado instalación fotovoltaica

Se calcularán las secciones de los siguientes cables con el criterio de diseño explicado a continuación.

- Cableado entre generador y caja de nivel 1.
- Cableado entre caja de nivel 1 e inversor.
- Cableado entre baterías e inversor.

7.2.1 Criterio de diseño

Los criterios para determinar las distintas secciones de los cables son las siguientes:

a) Caída de tensión

Es el criterio mediante el cual se especifica que la variación de tensión entre el generador y el receptor no debe superar un valor determinado, con el fin de que el receptor funcione a la tensión adecuada.

Para el proyecto en cuestión la caída de tensión máxima en los distintos cables será la siguiente:

- Cableado generador fotovoltaico – caja de nivel 1: 1%
- Cableado caja de nivel 1 – inversor: 0,5 %
- Cableado inversor – baterías: 1 %

Para calcular esta caída de tensión será necesario conocer la resistividad del material conductor, en este caso, el cobre. Esta se puede calcular mediante la expresión [6] donde se considerará una temperatura de 40° C para todos los cables.

$$\rho_{40} = \rho_{20} \cdot \frac{1 + \alpha \cdot t}{1 + \alpha \cdot 20} = 0,017 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \cdot \frac{1 + 0,00393 \cdot 40}{1 + 0,00393 \cdot 20} = 0,018 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \quad [6]$$

Donde ρ_{40} es la resistividad a 40° C, ρ_{20} es la resistividad a 20° C, α es el coeficiente de temperatura y t es la temperatura a considerar.

Una vez conocida la resistividad es posible hallar la sección mínima del cable mediante el criterio de caída de tensión con la expresión [7].

$$S_{mín} = \frac{100 \cdot \rho_{40} \cdot l \cdot I}{U \cdot \text{Caída de tensión (\%)}} \quad [7]$$

Donde l es la longitud del cable en metros e I la intensidad nominal.

b) Intensidad admisible

La intensidad nominal del circuito más un cierto factor de seguridad debe ser menor que la intensidad admisible de la sección seleccionada.

Finalmente, la mayor de las secciones mínimas de ambas será la sección elegida para el cable estudiado.

7.2.2 Resultados

Aplicando el proceso explicado en el apartado anterior, se llega a los siguientes resultados mostrados en las tablas XXVIII, XXIX y XXX.

En la primera de ellas, se muestra las secciones seleccionadas considerando el criterio de caída de tensión.

En la segunda, se muestra las secciones necesarias considerando el criterio de intensidad admisible. En esta tabla, la intensidad de cálculo es la intensidad nominal multiplicada por un factor de 1,25 tal y como indica el punto 5 de la ITC-BT 40 (Instalaciones de generadores de BT) del REBT.

En la tercera y última, se compara las secciones según los anteriores criterios, eligiendo la mayor de ellas.

Cable	Tensión máxima (V)	Longitud de la línea (m)	Caída de tensión máxima (%)	Intensidad nominal (A)	Sección mínima (mm ²)	Sección comercial (mm ²)
Generador – Caja N1	612	2 x 45	1	9,8	2,59	4
Caja N1- Inversor	612	2 x 30	0,5	29,4	10,38	16
Inversor - Baterías	360	2 x 10	1	173	17,3	25

Tabla XXVIII. Secciones según el criterio de caída de tensión

Cable	Intensidad nominal (A)	Intensidad de cálculo (A)	Sección comercial (mm ²)
Generador – Caja N1	9,8	12,25	1,5
Caja N1- Inversor	29,4	36,75	4
Inversor - Baterías	173	216,25	70

Tabla XXIX. Secciones según el criterio de intensidad admisible

Cable	Sección Criterio Caída de tensión (mm ²)	Sección criterio Intensidad admisible (mm ²)	Sección seleccionada (mm ²)
Generador – Caja N1	4	1,5	4
Caja N1- Inversor	16	4	16
Inversor - Baterías	25	70	70

Tabla XXX. Secciones elegidas

Estas secciones elegidas son para el modelo de cable P- SUN SP, ya que éste es un cable muy común en instalaciones fotovoltaicas.

8. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

En este capítulo se muestra el resumen del presupuesto que se detalla en el Documento nº4 del proyecto.

A continuación se muestra el precio detallado por capítulos del proyecto diseñado.

01 DESMONTAJE Y DEMOLICIONES	2.587,24
02 OBRA CIVIL	470.323,48
03 BALIZAMIENTO - APROXIMACIÓN CABECERA 09	598.606,26
04 BALIZAMIENTO - APROXIMACIÓN CABECERA 27	1.221.117,18
05 BALIZAMIENTO - TOMA DE CONTACTO	411.506,87
06 BALIZAMIENTO - EJE DE RODADURA	358.723,14
07 BALIZAMIENTO - LETREROS	39.565,12
08 EQUIPAMIENTO CENTRAL ELÉCTRICA	310.190,48
09 SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL	17.302,01
10 CONDUCTORES	151.974,92
11 INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	128.537,21
12 SEGURIDAD Y SALUD	75.000
TOTAL	3.785.443,91 €

El presente presupuesto suma la cantidad de tres millones setecientos ochenta y cinco mil doscientos veinte cinco euros con treinta y nueve céntimos.

9. INGRESOS

En este capítulo se pretende explicar los ingresos que se obtendrían al tener una cabecera con CAT II en el Aeropuerto de Granada. Estos ingresos serán producto de la no desviación de vuelos a los aeropuertos alternativos de Almería y Málaga.

En primer lugar, se calculará el avión tipo del aeropuerto en cuestión y una vez obtenido se pasará a calcular los ingresos que produciría tal avión al aterrizar.

9.1 Avión tipo

En el actual Plan Director del Aeropuerto prevé que la principal flota de aeronaves para los próximos años sea la mostrada en la tabla XXXI.

Modelo aeronave	Operaciones Esperadas (%)	Modelo aeronave	Operaciones Esperadas (%)
DASH 8	1,4	A-319	12,1
CRJ 200	3,6	A-320	39,2
CRJ 900	1,4	A-321	0,7
B 737-800	12,8	Avionetas ligeras	20,2

Tabla XXXI. Principal flota de diseño prevista en el Plan Director

En esta flota destaca la aeronave A-320 con casi un 40 % de operaciones en el Aeropuerto de Granada. Esto es debido a que una de las principales compañías aéreas que operan en el aeropuerto es Vueling que utiliza este tipo de aeronave en la mayor parte de sus operaciones.

Por tanto, se tomará esta aeronave como avión tipo del aeropuerto. En lo que resta de capítulo se considerará un peso máximo al despegue (MTOW) del A-320 de 78 toneladas. Este dato será necesario para calcular los diferentes ingresos.

9.2 Ingresos por aterrizaje

Los ingresos obtenidos por el aeropuerto al aterrizar una aeronave son los siguientes:

a) Aterrizaje y servicios de tránsito de aeródromo

Se determina en función del MTOW. La tarifa incluye la utilización de las pistas por parte de las aeronaves y la prestación de los servicios precisos para dicha utilización, así como los servicios de tránsito aéreo de aeródromo facilitados por el gestor aeroportuario.

- Tarifas:
 - Aterrizaje: 4,346217 €/Tn
 - Servicio tránsito aeródromo: 2,485117 €/ Tn

b) Pasarelas telescópicas

La tarifa incluye la utilización de las instalaciones aeroportuarias para facilitar el servicio de embarque y desembarque de pasajeros a través de pasarelas telescópicas o la simple ocupación de una posición de plataforma que impida la utilización de la correspondiente pasarela a otros usuarios.

- Tarifa: el importe se calcula en función del peso y el tiempo de permanencia de la aeronave en la pasarela según la expresión [8].

$$P = (p_1 + p_2 \cdot T_m) \cdot F_t \quad [8]$$

Donde

- $P \rightarrow$ Prestación total a pagar por el servicio.
- $p_1 \rightarrow$ Cuantía unitaria por tiempo de estancia en la pasarela, en este caso tiene un valor de 25,706615 €.
- $p_2 \rightarrow$ Cuantía por peso de la aeronave y tiempo de estancia en pasarela, en este caso tiene un valor de 0 €.
- $T_m \rightarrow$ Peso máximo al despegue de la aeronave, expresado en toneladas. En este caso, tiene un valor de 78.
- $F_t \rightarrow$ Tiempo de estancia de la aeronave en pasarela en periodos de 15 minutos.

Para obtener el tiempo de estancia de la aeronave en pasarela, se utilizará la programación de un día tipo del aeropuerto de Granada mostrado en la figura 20.

Como se puede observar, el tiempo de estancia de las aeronaves suele ser de unos 30 minutos, por lo tanto, $F_t = 2$.

c) Combustibles y lubricantes

La tarifa incluye la utilización del recinto aeroportuario para el transporte y suministro de combustibles y lubricantes, cualquiera que sea el modo de transporte o suministro.

- Tarifas:
 - Queroseno: 0,004311 €/litro
 - Lubricantes: 0,007335 €/litro

La capacidad máxima estándar de combustible del avión tipo A-320 es de 24210 litros, lo que le proporciona un alcance aproximado de 6000 km. Como la mayor parte del tráfico del aeropuerto es nacional, se considerará que en el aeropuerto se le suministrará 8000 l, es decir, aproximadamente un tercio de su capacidad.

En cuanto a lubricantes, al no disponer del dato, no se considerará.

d) Asistencia en tierra

- Tarifas por asistencia de aeronaves
 - Servicios de Asistencia de equipajes: 63,55 €.
 - Servicios de Asistencia a las operaciones en pista: 20,18 €.
 - Servicios de Asistencia de limpieza y servicio de la aeronave: 11,08 €.
 - Servicios de Asistencia de mantenimiento en línea: 3,01 €
 - Servicios de Asistencia de mayordomía (catering): 10,55 €.

Todas las tarifas anteriores están expresadas para aeronaves cuyo MTOW está comprendido entre 56 y 71 toneladas. Para el avión tipo elegido, hay que aplicar un coeficiente de aumento del 20,33 % sobre los precios indicados.

e) Servicios meteorológicos

- Tarifa: el importe a abonar será en función del MTOW. En concreto, 0,18 €/Tn

Todos los precios presentados se pueden consultar en la guía de tarifas de Aena Aeropuertos de 2015.

En la tabla XXXII se muestran al detalle los ingresos obtenidos por aterrizaje de la aeronave tipo elegida.

INGRESOS POR ATERRIZAJE		
SERVICIO	€/Tn ó €/litro	Total (€)
Aterrizaje	4,34617	339,00
Tránsito de aeródromo	2,485117	193,84
Pasarelas telescópicas	-	51,41
Combustible	0,004311	34,49
Asistencia de equipaje	-	76,47
Asistencia operaciones	-	24,28
Asistencia de limpieza	-	13,33
Asistencia de mantenimiento	-	3,62
Asistencia de mayordomía	-	12,69
Meteorológico	0,18	14,04
Total		763,17

Tabla XXXII. Ingresos por aterrizaje en 2015

Como se puede observar, el precio que ganaría en 2015 el aeropuerto por aeronave aterrizada sería de 763,17 €.

Los ingresos aeroportuarios han subido una media del 5 % en los últimos 10 años, por lo que se esperaría que en los próximos años ocurriera lo mismo. Pero este año, el Gobierno ha mencionado en el borrador del real decreto ley que se congelarán las tarifas hasta 2025, siempre y cuando se cumplan los siguientes requisitos:

- Las inversiones de Aena no superen los 450 millones anuales.
- El incremento de los costes aeroportuarios supere el 1%.

Por tanto, en el proyecto se fijarán estos precios para el periodo (2015-2024), aunque muy probablemente estas tarifas se vean incrementadas en los próximos años por un cambio de Gobierno o por no cumplir los requisitos anteriores.

9.3 Ingresos por despegue

Debido al reducido número de operaciones que se realizan por día en el Aeropuerto de Granada, si una aeronave no puede aterrizar debido a las condiciones insuficientes de operación, el vuelo que sale aproximadamente a los 30 minutos se cancelará automáticamente debido a que esa aeronave no ha llegado.

El pasaje puede optar, según la Jefa de Operaciones del Aeropuerto de Granada, por desplazarse por carretera a su destino o bien reasignarle otro vuelo. En el caso de reasignación, dependiendo el lugar de destino, este retraso podría ser desde un par de horas hasta de un día entero.

Además, suponiendo que las aeronaves que despegan lo hacen con cerca de un 60-70% de ocupación, todo el pasaje no podría embarcar en el siguiente vuelo.

Por tanto, la pérdida de ingresos por despegue sería aproximadamente del 50 % debido a las circunstancias explicadas. Sin contar el coste que supondría los desplazamientos por carretera de los pasajeros a los destinos previstos que no se incluirán.

Por ello, a continuación se muestran los ingresos por despegue del avión tipo:

a) Salida de pasajeros

La prestación por salida de pasajeros se aplica por la utilización, por parte de éstos, de las zonas terminales aeroportuarias no accesibles a los visitantes, así como de las facilidades aeroportuarias complementarias.

- Tarifa: 4,01 €/ pasajero de salida.

b) Seguridad aeroportuaria

La tarifa se aplica por los servicios de inspección y control de pasajeros y equipajes en los recintos aeroportuarios.

- Tarifa: 3,78 €/ pasajero de salida.

c) Personas con movilidad reducida (PMRs)

La prestación se aplica por los servicios que permiten la movilidad general de los pasajeros y la asistencia necesaria a las PMRs para permitirles desplazarse desde un punto de llegada al aeropuerto hasta la aeronave, o desde ésta a un punto de salida, incluyendo el embarque y desembarque.

- Tarifa: 0,61 €/ pasajero de salida.

d) Por asistencia al pasajero

Cuantía por la utilización del recinto aeroportuario para la prestación de servicios de asistencia en tierra al pasajero.

- Tarifa: 0,0442 €/ pasajero de salida.

Como se puede observar, todas las tarifas dependen de los pasajeros de salida, para ello se utilizará la previsión de operaciones y pasajeros en los próximos 10 años del Anexo C.

En la tabla XXXIII, se muestran los pasajeros, operaciones, la media de pasajeros por operación y los ingresos por cada aeronave desviada en los próximos 10 años según lo explicado.

La columna Pasajeros/Operación se ha redondeado al número entero superior.

Año	Pasajeros	Operaciones	Pasajeros/ Operación	Ingresos por pasajero (sólo 50%) (€)	Ingreso por cada aeronave desviada (€)
2015	684316	7414	93	4,22	392,46
2016	732218	7764	95	4,22	400,90
2017	751621	7853	96	4,22	405,12
2018	771539	7944	98	4,22	413,56
2019	791985	8035	99	4,22	417,78
2020	830634	8271	101	4,22	426,22
2021	871169	8514	103	4,22	434,66
2022	913681	8765	105	4,22	443,10
2023	958269	9022	107	4,22	451,54
2024	1005033	9288	109	4,22	459,98

Tabla XXXIII. Ingresos por despegue en los próximos años

Estos ingresos son los que el Aeropuerto de Granada no recibiría al no poder despegar la aeronave posterior al vuelo desviado por las condiciones meteorológicas.

9.4 Ingresos en los próximos 10 años

Los ingresos totales que recibiría el Aeropuerto de Granada por cada aeronave que aterrizara y no se desviara por no poder hacerlo con CAT I serían:

- Ingresos por aterrizaje.
- 50 % Ingresos por despegue, debido a que si las aeronaves no pueden aterrizar, los pasajeros del vuelo posterior tendrían que ser trasladados por otros medios alternativos o incluso reembolsando el billete.

Año	Ingresos por aeronave no desviada (€)	Año	Ingresos por aeronave no desviada (€)
2015	1155,63	2020	1189,95
2016	1164,07	2021	1197,83
2017	1168,29	2022	1206,27
2018	1176,73	2023	1214,71
2019	1180,95	2024	1223,15

Tabla XXXIV. Ingresos recibidos por aeronave no desviada

Con los datos disponibles en el Anexo A se obtuvo que de media, 1 de cada 249 llegadas se desviaría como consecuencia de tener sólo CAT I en una cabecera. Con este resultado, y suponiendo que las operaciones se mantendrán estables cada mes, es posible predecir las aeronaves que se desviarán en los próximos 10 años y con ello, los ingresos que se podrán obtener con el actual CAT II y que antes se perdían.

En la tabla XXXV, se muestran los ingresos que percibiría el aeropuerto cada año debido a que con la nueva categoría del aeropuerto, no se tendrían que desviar esas aeronaves.

Se ha supuesto que las llegadas son un 50 % de las operaciones totales.

Año	Operaciones	Llegadas	Operaciones desviadas	Ingresos por aeronave no desviada (€)	Ingreso total
2015	7414	3707	15	1155,63	17334,45
2016	7764	3882	16	1164,07	18625,12
2017	7853	3927	16	1168,29	18692,64
2018	7944	3972	16	1176,73	18827,68
2019	8035	4018	17	1180,95	20076,15
2020	8271	4136	17	1189,95	20229,15
2021	8514	4257	18	1197,83	21560,94
2022	8765	4383	18	1206,27	21712,86
2023	9022	4511	19	1214,71	23079,49
2024	9288	4644	19	1223,15	23239,85
Total	82870	41437	171	-	203378,33

Tabla XXXV. Ingresos previstos por el nuevo sistema de CAT II

Como se puede observar, en los próximos 10 años se prevén unos ingresos de algo más de 200000 € debido a las nuevas instalaciones diseñadas. Además de evitar retrasos, cancelaciones e incomodidades a los 17251 pasajeros de los 171 vuelos previstos que se desviarían (dato obtenido utilizando los pasajeros/operación de la tabla XXXIII y las desviaciones/año de la tabla XXXV).

10. CONCLUSIONES

El proyecto presentado en la actual memoria adapta las instalaciones existentes del aeropuerto de manera que se permitan operaciones de CAT II en la cabecera 09 y de CAT I en la cabecera 27.

Esta adaptación de las instalaciones se ha realizado de forma que el coste sea mínimo para que el proyecto tuviera viabilidad económica.

A la vista del presupuesto de tales obras (3.785.433,91 €) y de los ingresos obtenidos a 10 años gracias a estas nuevas instalaciones (203.378,33 €), se puede ver que tales ingresos sólo suponen un 5,37 % del total, por lo que el proyecto tal y como se ha planteado no tiene viabilidad económica.

Esto no supone que el proyecto no sea válido, ya que como se ha podido ver en el Capítulo 2 de la memoria, 19520 pasajeros se han visto afectados en los últimos 10 años por tales desvíos, un número considerable para realizar la inversión por parte de Aena.

Este proyecto podría tener mayor viabilidad económica si no se adaptara la cabecera 27 a CAT I. Para ello, sería necesario conocer el motivo de las desviaciones de los vuelos, es decir, si se producen por no tener un CAT II en la cabecera 09 o por no tener un CAT I en la cabecera 27. Como ese dato no era conocido en el actual proyecto, se ha realizado la adaptación de las dos cabeceras.

El presupuesto del proyecto en el caso de que no se necesitar adaptarse la cabecera 27 a CAT I desciende a **2.336.277,38 €**, debido a los motivos expuestos en la tabla XXXVI. En este caso, los ingresos representarían el 8,71 % del total del presupuesto.

Hay que tener en cuenta que en los ingresos se ha considerado que las tarifas aeroportuarias se congelan durante los próximos 10 años, por lo que en caso de que esto no sucediese, los ingresos aumentarían de forma notable.

Por último, otra forma de conseguir ingresos es mediante la instalación solar diseñada, ya que si se adapta de forma que la energía sobrante se utilice para la terminal aeroportuaria haría que la factura de la luz eléctrica del aeropuerto se redujera de forma importante.

Unidad de obra	Medición (Ud/m/m²/m³)	Total importe (€)
Desmontaje de baliza existente	17	261,97
Desmontaje de letrero existente	4	208,52
Desmontaje de arqueta depósito trafo	17	526,83
Desmontaje vallado perimetral	60	639
Tala y desbroce	1800	2844
Retirada capa vegetal	3375	7121,25
Nivelación terreno	7200	61416
Preparación final terreno	1	3500
Canalización 5 surcos peine	900	52137
Balizamiento Aproximación Cab 27	-	1221117,18
Letrero punto de espera CAT I	4	16857,56
Regulador 15 KVA	2	49294,02
Cable primario	6400	27264
Cable secundario	2960	5979,2
Total Presupuesto Cab 27	-	1.449.166,53
Total Presupuesto sin Cab 27 = 3.785.443,91 – 1.449.166,53 = 2.336.277,38 €		

Tabla XXXVI. Presupuesto Cabecera 27

11. BIBLIOGRAFÍA

Alcor Cabrerizo, E. 1995, *Instalaciones solares fotovoltaicas*, 2a edn, Progensa, Sevilla.

Balcells Serra, F. & Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea 2006, *Luces aeronáuticas de superficie para el rodaje*, Aena, Madrid.

Díaz Corcobado, T. & Carmona Rubio, G. 2010, *Instalaciones solares fotovoltaicas*, McGraw-Hill, Madrid.

López Fernández, Paloma, *Actuaciones en Plataforma. Aeropuerto de Córdoba*, Aena.

Méndez Muñiz, J.M. & Cuervo García, R. 2006, *Energía solar fotovoltaica*, Fundación Confemetal, Madrid.

Organización de Aviación Civil Internacional 1995, *Aeródromos*, 2ª edn, OACI, Montreal.

Organización de Aviación Civil Internacional 1983, *Manual de proyecto de aeródromos*, Icao, Montreal.

Ramírez Hidalgo, M.T., Universidad de Sevilla 2008, *Aeropuerto de Valladolid: actuaciones para la puesta en categoría II/III*, S.l.

Sanjurjo Navarro, R. 2004, *Sistemas eléctricos en aeropuertos*, Centro de Documentación y Publicaciones de Aena, Madrid.

Sanjurjo Navarro, R. & Balcells Serra, F. *Sistemas de ayudas visuales para aeródromos*, Fundación Aena, Madrid.

Universidad Nacional de Educación a Distancia & Centro de Estudios de la Energía Solar 2009, *Curso de experto profesional en energía fotovoltaica*, Progensa, Sevilla.

Utrilla Navarro, L. & Atienza Rivero, E. 2008, *Historia de los aeropuertos de Granada*, Aena, Madrid.

11.1 Direcciones web

- www.adb-air.com
- www.aena.es
- www.aemet.es
- www.enaire.es
- www.flightlight.com
- www.idae.es
- www.ine.es
- www.safegate.com
- www.solemesl.com
- www.prysmiangroup.com
- www.pwc.es
- www.wikipedia.com
- www.zigor.com
- <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>