

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: Anexo B

Cálculos de balizamiento

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	81
2. MÉTODO DE CÁLCULO	81
2.1 Cálculo del transformador.....	81
2.2 Cálculo del regulador.....	82
3. RESULTADOS PARA LUCES HALÓGENAS.....	84
3.1 Balizas de aproximación Cabecera 09	84
3.2 Balizas de aproximación Cabecera 27	86
3.3 Balizas de toma de contacto.....	87
3.4 Balizas de eje de calle de rodaje	88
4. RESULTADOS PARA LUCES LED.....	91
4.1 Balizas de aproximación Cabecera 27	91
4.2 Balizas de toma de contacto.....	92
4.3 Balizas de eje de calle de rodaje	93
5. DIAGRAMA DE ISOCANDELAS	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Descripción gráfica de la elección del secundario para AP09-A/B	84
Figura 2. Diagrama de isocandelas para las luces de eje y barras transversales de aproximación	95
Figura 3. Diagrama de isocandelas para las luces LED de eje y barras transversales de aproximación	96
Figura 4. Diagrama de isocandelas para las luces de toma de contacto	96
Figura 5. Diagrama de isocandelas para las luces LED de toma de contacto	97
Figura 6. Diagrama de isocandelas para luces de eje de calle de rodaje en tramos rectos	97
Figura 7. Diagrama de isocandelas para las luces LED de eje de calle rodaje en tramos rectos.....	98
Figura 8. Diagrama de isocandelas para luces de eje de calle de rodaje en tramos curvos	98
Figura 9. Diagrama de isocandelas para las luces LED de eje de calle rodaje en tramos curvos	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Resultados para el circuito AP09-A.....	85
Tabla II. Resultados para el circuito AP09-B.....	85
Tabla III. Resultados para el circuito AP27-A	86
Tabla IV. Resultados para el circuito AP27-B	87
Tabla V. Resultados para el circuito TDZ-A.....	88
Tabla VI. Resultados para el circuito TDZ-B.....	88
Tabla VII. Resultados para el circuito EJ-A.....	89
Tabla VIII. Resultados para el circuito EJ-B.....	89
Tabla IX. Resultados para el circuito EJ-C	89
Tabla X. Resultados para el circuito EJ-D	90
Tabla XI. Resultados para el circuito AP27-A LED	91
Tabla XII. Resultados para el circuito AP27-B LED	91
Tabla XIII. Resultados para el circuito TDZ-A LED.....	92
Tabla XIV. Resultados para el circuito TDZ-B LED	92
Tabla XV. Resultados para el circuito EJ-A LED.....	93
Tabla XVI. Resultados para el circuito EJ-B LED.....	93
Tabla XVII. Resultados para el circuito EJ-C LED	94
Tabla XVIII. Resultados para el circuito EJ-D LED.....	94

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este Anexo es explicar cómo se calcula la potencia demandada por un circuito en serie para después mostrar los resultados detallados de cada uno de los nuevos circuitos instalados en el Aeropuerto de Granada.

2. MÉTODO DE CÁLCULO

El cálculo del circuito en serie está encaminado a la elección del regulador adecuado para alimentar cada uno de los circuitos, así como la elección de los transformadores correspondientes a cada una de las balizas del circuito.

Por ello, este cálculo se divide en dos etapas, la primera de ellas corresponde al cálculo del transformador, mientras que la segunda corresponde al cálculo del regulador.

2.1 Cálculo del transformador

Las balizas del presente proyecto tienen asociadas cada una de ellas un transformador, el cual se encargará de alimentar la luz o luces de la baliza a la que esté conectado.

Cada transformador debe ser elegido de forma que la potencia consumida aguas abajo del transformador esté dentro del rango de potencias de trabajo del transformador y siempre que sea posible por debajo de su potencia nominal.

La potencia consumida aguas abajo del transformador (P_c) es la suma de la potencia de las luces más las pérdidas en el cableado secundario y viene dada por la expresión [9]:

$$P_c = N \cdot P + L_s \cdot p_s \quad [9]$$

Donde:

- $P_c \rightarrow$ Potencia consumida aguas abajo del transformador (W).
- $N \rightarrow$ Número de luces conectadas al mismo transformador.
- $P \rightarrow$ Potencia de cada luz (W).
- $L_s \rightarrow$ Longitud de los cables del secundario (km)
- $p_s \rightarrow$ Pérdidas por unidad de longitud de los cables del secundario (W/ km)

Las pérdidas por unidad de longitud de los cables del secundario (p_s) se calcularán de acuerdo a la expresión [10]:

$$p_s = I^2 \cdot R_s = 6,6^2 \text{ A} \cdot 7,45 \frac{\Omega}{\text{km}} = 324,522 \frac{\text{W}}{\text{km}} \quad [10]$$

Se ha considerado una intensidad de 6,6 A para el cable secundario y una resistencia de 7,45 Ω/km . Estos valores se supondrán constantes en todos los cálculos realizados en este anexo, y por tanto p_s también lo será.

Debido a que los transformadores se eligen con un margen amplio de potencia nominal respecto a P_c , esta suposición no supondrá ninguno error a la hora de elegir los transformadores.

Una vez calculada la potencia aguas abajo del transformador (P_c), se selecciona un transformador de potencia nominal $P_{trafo,nominal}$, de manera que quede dentro del rango de potencias a las que sirve el transformador, cumpliéndose siempre que sea posible:

$$P_{trafo,nominal} \geq P_c$$

Los valores que se utilizarán para la potencia nominal de los transformadores de balizamiento serán siempre valores comerciales, es decir, los siguientes: 45, 65, 100, 150, 200, 300, 400 y 500 W.

Una vez elegido el transformador, se calcula la potencia del conjunto ‘transformador/baliza’ ($P_{conjunto}$) con la expresión 11. Ésta tiene en cuenta las pérdidas que se producen en el transformador y será la que se utilizará en el cálculo de la potencia total del circuito en el apartado siguiente.

$$P_{conjunto} = P_c \cdot \frac{1}{\eta_t} \quad [11]$$

Donde η_t es el rendimiento del transformador, que se supondrá de aquí en adelante un valor constante e igual a 0,9.

2.2 Cálculo del regulador

La elección del regulador debe hacerse de forma que la potencia total del circuito en serie al que está conectado, esté por debajo de su potencia nominal.

Para ello, hay que tener en cuenta los factores que influyen en el cálculo de la potencia demanda por un circuito en serie, como son:

- Potencia consumida por los conjuntos ‘transformador/baliza’ ($P_{conjunto}$)
- Pérdidas en los conectores (p_{conect}): se supondrán un 2 % de la potencia nominal del transformador de aislamiento.
- Pérdidas por unidad de longitud en el cableado primario (p_p): se calcularán de acuerdo a la expresión [12]:

$$p_p = I^2 \cdot R_s = 6,6^2 A \cdot 3,20 \frac{\Omega}{km} = 139,392 \frac{W}{km} \quad [12]$$

Se ha considerado una intensidad de 6,6 A para el cable primario y una resistencia de 3,20 Ω /km. Estos valores se supondrán constantes en todos los cálculos realizados en este anexo, y por tanto p_p también lo será.

Debido a que los reguladores se eligen con un margen amplio de potencia nominal respecto a $P_{circuito}$, esta suposición no supondrá ninguno error a la hora de elegir los reguladores.

Una vez tenidos en cuenta los factores que influyen en la potencia demandada, ésta se puede calcular con la ecuación [13]:

$$P_{circuito} = \sum_i B_i \cdot (P_{conjunto\ i} + p_{conect}) + L_p \cdot p_p \quad [13]$$

Donde:

- $P_c \rightarrow$ Potencia demanda por el circuito serie (W).
- $B_i \rightarrow$ Número de balizas del tipo i del circuito.
- $P_{conjunto\ i} \rightarrow$ Potencia consumida por el conjunto ‘transformador/baliza’ tipo i
- $p_{conect} \rightarrow$ Pérdidas en los conectores (W).
- $L_p \rightarrow$ Longitud de los cables del primario (km).
- $p_p \rightarrow$ Pérdidas por unidad de longitud de los cables del primario (W/ km).

Esta potencia se ha calculado en W, pero lo normal es que la potencia del regulador venga expresada en KVA, para la conversión se va a tomar un factor de potencia de 0,9. De forma que:

$$P_{circuito} (KVA) = \frac{P_{circuito} (KW)}{0,90} \quad [14]$$

Por último, una vez calculada la anterior potencia en KVA, se selecciona un regulador para el circuito de forma que la potencia nominal de éste sea superior a la potencia del circuito al que esté conectado.

$$P_{regulador} (KVA) > P_{circuito} (KVA)$$

3. RESULTADOS PARA LUCES HALÓGENAS

Una vez detallado el proceso de cálculo que se va a seguir, se muestran los resultados que se han obtenido para cada circuito nuevo instalado. En primer lugar, se hallarán considerando que se instalan luces halógenas, mientras que en el siguiente apartado se hallarán considerando que se instalan luces LED.

3.1 Balizas de aproximación Cabecera 09

Las balizas que se instalarán en la aproximación de la Cabecera 09 se alimentarán mediante los circuitos AP09-A y AP09-B. La longitud de estos circuitos (L_p) se ha estimado en 1,93 km. En los planos correspondientes se puede ver la situación aproximada de ellos.

La longitud del secundario se ha considerado la siguiente:

- $L_s = 20 \text{ m}$ → Para todas las balizas de eje central. Se ha elegido de la siguiente forma: *distancia desde la luz más alejada (15 m) + margen de seguridad (5 m)*.
- $L_s = 35 \text{ m}$ → Para todas las balizas de las barras transversales. Se ha elegido de la siguiente forma: *longitud de la barra transversal más larga (30 m) + margen de seguridad (5 m)*.
- $L_s = 29 \text{ m}$ → Para todas las balizas de eje lateral (balizas rojas). Se ha elegido de la siguiente forma: *distancia entre las luces rojas de los extremos (24 m) + margen de seguridad (5 m)*.

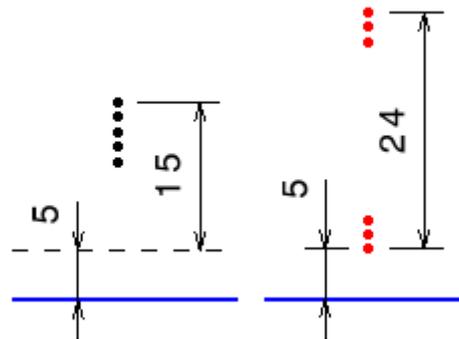


Figura 1. Descripción gráfica de la elección del secundario para AP09-A/B

La mayoría o todas tendrán un cable secundario inferior a estos valores, pero se ha optado por tener un margen de seguridad en los cálculos.

Aplicando el proceso del Apartado 2 de este Anexo, se llega a los resultados mostrados en las tablas I y II.

Circuito	Descripción	Balizas	Tipo Balizas	N	P (W)	L_s (m)	$P_{conjunto}$ (W)	P_{trafo} (W)	P_{total} (KW)
AP09-A	Fila eje central	8	Empotrada	3	105	20	357,21	400	2,92
	Fila eje central	8	Elevadas	1	150	20	173,88	200	1,42
	Barra transversal a 150 m	4	Empotrada	3	105	35	362,62	400	1,48
	Barra transversal a 300 m	8	Elevadas	1	150	35	179,29	200	1,47
	Fila lateral	16	Empotrada	3	105	29	360,46	400	5,90
	Fila lateral	12	Elevadas	1	100	29	121,57	150	1,49

Tabla I. Resultados para el circuito AP09-A

Circuito	Descripción	Balizas	Tipo Balizas	N	P (W)	L_s (m)	$P_{conjunto}$ (W)	P_{trafo} (W)	P_{total} (KW)
AP09-B	Fila eje central	8	Empotrada	3	105	20	357,21	400	2,92
	Fila eje central	8	Elevadas	1	150	20	173,88	200	1,42
	Barra transversal a 150 m	6	Empotrada	3	105	35	362,62	400	2,22
	Barra transversal a 300 m	10	Elevadas	1	150	35	179,29	200	1,83
	Fila lateral	14	Empotrada	3	105	29	360,46	400	5,16
	Fila lateral	12	Elevadas	1	100	29	121,57	150	1,49

Tabla II. Resultados para el circuito AP09-B

Donde P_{total} se calcula de la siguiente forma:

$$P_{total,i} = Balizas \cdot (P_{conjunto i} + p_{conect}) \quad [15]$$

Una vez se tiene los anteriores resultados, se puede calcular la potencia del circuito ($P_{circuito}$) con la ecuación [13], obteniendo:

$$P_{circuito, AP09-A} = 14,95 \text{ KW} \quad \rightarrow \quad P_{circuito, AP09-A} = 16,61 \text{ KVA}$$

$$P_{circuito, AP09-B} = 15,31 \text{ KW} \quad \rightarrow \quad P_{circuito, AP09-B} = 17,01 \text{ KVA}$$

Por tanto, se deduce que se necesitarán 2 reguladores con una potencia nominal de 20 KVA para los circuitos AP09-A y AP09-B.

En cuanto a los transformadores necesarios para los dos circuitos, serán los siguientes:

- 56 transformadores con una potencia nominal de 400 W.
- 34 transformadores con una potencia nominal de 200 W.
- 24 transformadores con una potencia nominal de 150 W.

3.2 Balizas de aproximación Cabecera 27

Las balizas que se instalarán en la aproximación de la Cabecera 27 se alimentarán mediante los circuitos AP27-A y AP27-B. La longitud de estos circuitos (L_p) se ha estimado en 3,20 km. En los planos correspondientes se puede ver la situación aproximada de ellos.

La longitud del secundario se ha considerado la siguiente:

- $L_s = 20 \text{ m}$ → Para todas las balizas de eje central, de forma similar a las balizas de aproximación de la cabecera 09.
- $L_s = 35 \text{ m}$ → Para todas las balizas de la barra transversal situada a 300 m del umbral. Se ha elegido de la siguiente forma: *longitud de la barra transversal (30 m) + margen de seguridad (5 m)*. Esto es debido a que el cable primario solo irá por la derecha del sistema de aproximación, por lo que la longitud mínima del cable secundario de la baliza del extremo izquierdo de la barra será de 30 m.

La mayoría o todas tendrán un cable secundario inferior a estos valores, pero se ha optado por tener un margen de seguridad en los cálculos.

Aplicando el proceso del Apartado 2 de este Anexo, se llega a los resultados mostrados en las tablas III y IV.

Circuito	Descripción	Balizas	Tipo Balizas	N	P (W)	L_s (m)	$P_{conjunto}$ (W)	P_{trafo} (W)	P_{total} (KW)
AP27-A	Fila eje central	10	Empotrada	3	105	20	357,21	400	3,65
	Fila eje central	50	Elevadas	1	150	20	173,88	200	8,89
	Barra transversal a 300 m	8	Elevadas	1	150	35	179,29	200	1,47

Tabla III. Resultados para el circuito AP27-A

Circuito	Descripción	Balizas	Tipo Balizas	N	P (W)	L_s (m)	$P_{conjunto}$ (W)	P_{trafo} (W)	P_{total} (KW)
AP27-B	Fila eje central	10	Empotrada	3	105	20	357,21	400	3,65
	Fila eje central	50	Elevadas	1	150	20	173,88	200	8,89
	Barra transversal a 300 m	8	Elevadas	1	150	35	179,29	200	1,47

Tabla IV. Resultados para el circuito AP27-B

Una vez se tiene los anteriores resultados, se puede calcular la potencia del circuito ($P_{circuito}$) con la ecuación [13], obteniendo:

$$P_{circuito, AP27-A} = 14,46 \text{ KW} \rightarrow P_{circuito, AP27-A} = 16,07 \text{ KVA}$$

$$P_{circuito, AP27-B} = 14,46 \text{ KW} \rightarrow P_{circuito, AP27-B} = 16,07 \text{ KVA}$$

Por tanto, se deduce que se necesitarán 2 reguladores con una potencia nominal de 20 KVA para los circuitos AP27-A y AP27-B.

En cuanto a los transformadores necesarios para los dos circuitos, serán los siguientes:

- 20 transformadores con una potencia nominal de 400 W.
- 116 transformadores con una potencia nominal de 200 W.

3.3 Balizas de toma de contacto

Estas balizas se alimentarán mediante los circuitos TDZ-A y TDZ-B. La longitud de estos circuitos (L_p) se ha estimado en 2,59 km. En los planos correspondientes se puede ver la situación aproximada de ellos.

La longitud del secundario se ha considerado la siguiente:

- $L_s = 44 \text{ m} \rightarrow$ Se ha elegido de la siguiente forma: *margen de pista (7,5 m) + distancia al eje de pista (22,5 m) + distancia del eje de pista a la luz más alejada del margen de pista (9 m) + margen de seguridad (5 m).*

La mayoría de las balizas tendrán un cable secundario inferior a estos valores, pero se ha optado por tener un margen de seguridad en los cálculos.

Aplicando el proceso del Apartado 2 de este Anexo, se llega a los resultados mostrados en las tablas V y VI.

Circuito	Descripción	Balizas	Tipo Balizas	N	P (W)	L_s (m)	$P_{conjunto}$ (W)	P_{trafo} (W)	P_{total} (KW)
TDZ-A	Circuito A de toma de contacto	90	Empotrada	1	45	44	65,87	65	6,04

Tabla V. Resultados para el circuito TDZ-A

Circuito	Descripción	Balizas	Tipo Balizas	N	P (W)	L_s (m)	$P_{conjunto}$ (W)	P_{trafo} (W)	P_{total} (KW)
TDZ-B	Circuito B de toma de contacto	90	Empotrada	1	45	44	65,87	65	6,04

Tabla VI. Resultados para el circuito TDZ-B

Una vez se tiene los anteriores resultados, se puede calcular la potencia del circuito ($P_{circuito}$) con la ecuación [13], obteniendo:

$$P_{circuito, TDZ-A} = 6,41 \text{ KW} \rightarrow P_{circuito, TDZ-A} = 7,12 \text{ KVA}$$

$$P_{circuito, TDZ-B} = 6,41 \text{ KW} \rightarrow P_{circuito, TDZ-B} = 7,12 \text{ KVA}$$

Por tanto, se deduce que se necesitarán 2 reguladores con una potencia nominal de 7,5 KVA para los circuitos TDZ-A y TDZ-B.

En cuanto a los transformadores necesarios para los dos circuitos, serán suficientes con 180 con una potencia nominal de 65 W

3.4 Balizas de eje de calle de rodaje

Para las balizas de eje de calle de rodaje serán necesarios los siguientes circuitos: EJ-A y EJ-B para las calles de rodaje E1 y T1; EJ-C y EJ-D para las calles de rodaje T2, E4 y E6.

La longitud de estos circuitos (L_p) se ha estimado en 1,73 km para EJ-A y EJ-B y de 3,45 km para EJ-C y EJ-D. En los planos correspondientes se puede ver la situación aproximada de ellos.

La longitud del secundario se ha considerado la siguiente:

- $L_s = 30 \text{ m} \rightarrow$ Para todas las balizas. Se ha elegido de la siguiente forma: *distancia máxima desde el eje de pista al borde exterior del margen de pista (24,5 m) + margen de seguridad (5,5 m).*

La mayoría de las balizas tendrán un cable secundario inferior a estos valores, pero se ha optado por tener un margen de seguridad en los cálculos.

Aplicando el proceso del Apartado 2 de este Anexo, se llega a los resultados mostrados en las tablas VII, VIII, IX y X.

Circuito	Descripción	Balizas	Tipo Balizas	N	P (W)	L_s (m)	$P_{conjunto}$ (W)	P_{trafo} (W)	P_{total} (KW)
EJ-A	Circuito A - Eje rodaje T1	20	Empotrada	2	40	30	99,71	100	2,03
	Circuito A - Eje rodaje E1	10	Empotrada	2	40	30	99,71	100	1,02

Tabla VII. Resultados para el circuito EJ-A

Circuito	Descripción	Balizas	Tipo Balizas	N	P (W)	L_s (m)	$P_{conjunto}$ (W)	P_{trafo} (W)	P_{total} (KW)
EJ-B	Circuito B - Eje rodaje T1	21	Empotrada	2	40	30	99,71	100	2,13
	Circuito B - Eje rodaje T1	9	Empotrada	2	40	30	99,71	100	0,92

Tabla VIII. Resultados para el circuito EJ-B

Circuito	Descripción	Balizas	Tipo Balizas	N	P (W)	L_s (m)	$P_{conjunto}$ (W)	P_{trafo} (W)	P_{total} (KW)
EJ-C	Circuito C - Eje rodaje T2	20	Empotrada	2	40	30	99,71	100	2,03
	Circuito C - Eje rodaje E4	19	Empotrada	2	40	30	99,71	100	1,93
	Circuito C - Eje rodaje E6	18	Empotrada	2	40	30	99,71	100	1,83

Tabla IX. Resultados para el circuito EJ-C

Circuito	Descripción	Balizas	Tipo Balizas	N	P (W)	L_s (m)	$P_{conjunto}$ (W)	P_{trafo} (W)	P_{total} (KW)
EJ-D	Circuito D - Eje rodaje T2	19	Empotrada	2	40	30	99,71	100	1,93
	Circuito D - Eje rodaje E4	20	Empotrada	2	40	30	99,71	100	2,03
	Circuito D - Eje rodaje E6	18	Empotrada	2	40	30	99,71	100	1,83

Tabla X. Resultados para el circuito EJ-D

Una vez se tiene los anteriores resultados, se puede calcular la potencia del circuito ($P_{circuito}$) con la ecuación [13], obteniendo:

$$P_{circuito, EJ-A} = 3,29 \text{ KW} \quad \rightarrow \quad P_{circuito, EJ-A} = 3,66 \text{ KVA}$$

$$P_{circuito, EJ-B} = 3,29 \text{ KW} \quad \rightarrow \quad P_{circuito, EJ-B} = 3,66 \text{ KVA}$$

$$P_{circuito, EJ-C} = 6,27 \text{ KW} \quad \rightarrow \quad P_{circuito, EJ-C} = 6,97 \text{ KVA}$$

$$P_{circuito, EJ-D} = 6,27 \text{ KW} \quad \rightarrow \quad P_{circuito, EJ-D} = 6,97 \text{ KVA}$$

Por tanto, se deduce que se necesitarán:

- 2 reguladores con una potencia nominal de 5 KVA para los circuitos EJ-A y EJ-B.
- 2 reguladores con una potencia nominal de 7,5 KVA para los circuitos EJ-C y EJ-D.

En cuanto a los transformadores necesarios, serán los siguientes:

- 60 transformadores con una potencia nominal de 100 W para los circuitos EJ-A y EJ-B.
- 114 transformadores con una potencia nominal de 100 W para los circuitos EJ-C y EJ-D.

4. RESULTADOS PARA LUCES LED

Ahora se mostrarán los resultados para balizas que utilizan lámparas LED en aquellos casos que sean posibles. No se utilizarán en las balizas de aproximación de la Cabecera 09 por la razón explicada en el Capítulo 5 de la Memoria.

En este apartado se utilizarán las mismas longitudes de cables primario y secundario de los circuitos anteriores, por lo que no se volverá a explicar este detalle.

4.1 Balizas de aproximación Cabecera 27

Las balizas que se instalarán en la aproximación de la Cabecera 27 se alimentarán mediante los circuitos AP27-A y AP27-B. Todas serán balizas con lámparas LED excepto aquellas que sean empotradas, para las cuáles no hay certificadas por la OACI en estos momentos.

Aplicando el proceso del Apartado 2 de este Anexo, se llega a los resultados mostrados en las tablas XI y XII.

Circuito	Descripción	Balizas	Tipo Balizas	N	P (W)	L_s (m)	$P_{conjunto}$ (W)	P_{trafo} (W)	P_{total} (KW)
AP27-A	Fila eje central	10 ¹	Empotrada	3	105	20	357,21	400	3,65
	Fila eje central	50	Elevadas	1	79	20	94,99	100	4,85
	Barra transversal a 300 m	8	Elevadas	1	79	35	100,40	100	0,82

Tabla XI. Resultados para el circuito AP27-A LED

Circuito	Descripción	Balizas	Tipo Balizas	N	P (W)	L_s (m)	$P_{conjunto}$ (W)	P_{trafo} (W)	P_{total} (KW)
AP27-B	Fila eje central	10 ¹	Empotrada	3	105	20	357,21	400	3,65
	Fila eje central	50	Elevadas	1	79	20	94,99	100	4,85
	Barra transversal a 300 m	8	Elevadas	1	79	35	100,40	100	0,82

Tabla XII. Resultados para el circuito AP27-B LED

¹ Son balizas con luces halógenas y tienen las mismas características que el Apartado 3.2 del Anexo 2.

Una vez se tiene los anteriores resultados, se puede calcular la potencia del circuito ($P_{circuito}$) con la ecuación [13], obteniendo:

$$P_{circuito, AP27-A,LED} = 9,77 \text{ KW} \rightarrow P_{circuito, AP27-A,LED} = 10,86 \text{ KVA}$$

$$P_{circuito, AP27-B,LED} = 9,77 \text{ KW} \rightarrow P_{circuito, AP27-B,LED} = 10,86 \text{ KVA}$$

Por tanto, se deduce que se necesitarán 2 reguladores con una potencia nominal de 15 KVA para los circuitos AP27-A y AP27-B, cuando se utilicen balizas led para todas aquellas que sean elevadas (116).

En cuanto a los transformadores necesarios para los dos circuitos, serán los siguientes:

- 20 transformadores con una potencia nominal de 400 W.
- 116 transformadores con una potencia nominal de 100 W.

4.2 Balizas de toma de contacto

Las balizas se alimentarán mediante los circuitos TDZ-A y TDZ-B. Todas tendrán lámparas LED de 15 W de potencia.

Aplicando el proceso del Apartado 2 de este Anexo, se llega a los resultados mostrados en las tablas XIII y XIV.

Circuito	Descripción	Balizas	Tipo Balizas	N	P (W)	L_s (m)	$P_{conjunto}$ (W)	P_{trafo} (W)	P_{total} (KW)
TDZ-A	Circuito A de toma de contacto	90	Empotrada	1	15	44	32,53	45	3,01

Tabla XIII. Resultados para el circuito TDZ-A LED

Circuito	Descripción	Balizas	Tipo Balizas	N	P (W)	L_s (m)	$P_{conjunto}$ (W)	P_{trafo} (W)	P_{total} (KW)
TDZ-B	Circuito B de toma de contacto	90	Empotrada	1	15	44	32,53	45	3,01

Tabla XIV. Resultados para el circuito TDZ-B LED

Una vez se tiene los anteriores resultados, se puede calcular la potencia del circuito ($P_{circuito}$) con la ecuación [13], obteniendo:

$$P_{circuito, TDZ-A,LED} = 3,42 \text{ KW} \rightarrow P_{circuito, TDZ-A,LED} = 3,80 \text{ KVA}$$

$$P_{circuito, TDZ-B,LED} = 3,42 \text{ KW} \rightarrow P_{circuito, TDZ-B,LED} = 3,80 \text{ KVA}$$

Por tanto, se deduce que se necesitarán 2 reguladores con una potencia nominal de 5 KVA en el caso de que se utilicen en los circuitos TDZ-A y TDZ-B balizas LED.

En cuanto a los transformadores necesarios para los dos circuitos, serán suficientes con 180 con una potencia nominal de 45 W.

4.3 Balizas de eje de calle de rodaje

Las balizas se alimentarán mediante los circuitos EJ-A, EJ-B, EJ-C y EJ-D. Todas tendrán dos lámparas LED de 15 W de potencia.

Aplicando el proceso del Apartado 2 de este Anexo, se llega a los resultados mostrados en las tablas XV, XVI, XVII y XVIII.

Circuito	Descripción	Balizas	Tipo Balizas	N	P (W)	L_s (m)	$P_{conjunto}$ (W)	P_{trafo} (W)	P_{total} (KW)
EJ-A	Circuito A - Eje rodaje T1	20	Empotrada	2	15	30	44,15	45	0,90
	Circuito A - Eje rodaje E1	10	Empotrada	2	15	30	44,15	45	0,45

Tabla XV. Resultados para el circuito EJ-A LED

Circuito	Descripción	Balizas	Tipo Balizas	N	P (W)	L_s (m)	$P_{conjunto}$ (W)	P_{trafo} (W)	P_{total} (KW)
EJ-B	Circuito B - Eje rodaje T1	21	Empotrada	2	15	30	44,15	45	0,95
	Circuito B - Eje rodaje T1	9	Empotrada	2	15	30	44,15	45	0,41

Tabla XVI. Resultados para el circuito EJ-B LED

Círculo	Descripción	Balizas	Tipo Balizas	N	P (W)	L_s (m)	$P_{conjunto}$ (W)	P_{trafo} (W)	P_{total} (KW)
EJ-C	Círculo C - Eje rodaje T2	20	Empotrada	2	15	30	44,15	45	0,90
	Círculo C - Eje rodaje E4	19	Empotrada	2	15	30	44,15	45	0,86
	Círculo C - Eje rodaje E6	18	Empotrada	2	15	30	44,15	45	0,81

Tabla XVII. Resultados para el circuito EJ-C LED

Círculo	Descripción	Balizas	Tipo Balizas	N	P (W)	L_s (m)	$P_{conjunto}$ (W)	P_{trafo} (W)	P_{total} (KW)
EJ-D	Círculo D - Eje rodaje T2	19	Empotrada	2	15	30	44,15	45	0,86
	Círculo D - Eje rodaje E4	20	Empotrada	2	15	30	44,15	45	0,90
	Círculo D - Eje rodaje E6	18	Empotrada	2	15	30	44,15	45	0,81

Tabla XVIII. Resultados para el circuito EJ-D LED

Una vez se tiene los anteriores resultados, se puede calcular la potencia del circuito ($P_{circuito}$) con la ecuación [13], obteniendo:

$$P_{circuito, EJ-A,LED} = 1,59 \text{ KW} \rightarrow P_{circuito, EJ-A,LED} = 1,77 \text{ KVA}$$

$$P_{circuito, EJ-B,LED} = 1,60 \text{ KW}^2 \rightarrow P_{circuito, EJ-B,LED} = 1,78 \text{ KVA}$$

$$P_{circuito, EJ-C,LED} = 3,05 \text{ KW} \rightarrow P_{circuito, EJ-C,LED} = 3,39 \text{ KVA}$$

$$P_{circuito, EJ-D,LED} = 3,05 \text{ KW} \rightarrow P_{circuito, EJ-D,LED} = 3,39 \text{ KVA}$$

Por tanto, se deduce que se necesitarán:

² 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.

- 2 reguladores con una potencia nominal de 2,5 KVA para los circuitos EJ-A y EJ-B en el caso de utilizar balizas LED.
- 2 reguladores con una potencia nominal de 5 KVA para los circuitos EJ-C y EJ-D en el caso de utilizar balizas LED.

En cuanto a los transformadores necesarios, serán los siguientes:

- 60 transformadores con una potencia nominal de 45 W para los circuitos EJ-A y EJ-B.
- 114 transformadores con una potencia nominal de 45 W para los circuitos EJ-C y EJ-D.

5. DIAGRAMA DE ISOCANDELAS

Para finalizar este Anexo, se mostrarán los diagramas de isocandelas de las luces LED elegidas para comprobar que cumplen con los requisitos fotométricos de la OACI.

Estos diagramas han sido sacados de la empresa Safegate Group, excepto el de las balizas de las calles de rodaje, que se han utilizado los de la empresa ADB.

- Balizas elevadas de aproximación

La empresa Safegate Group ha desarrollado una baliza LED de 79 W capaz de cumplir los requisitos fotométricos de OACI, en lugar de la baliza halógena de 150 W. A continuación, se muestra el diagrama de isocandelas requerido por la OACI para estas balizas de aproximación y el correspondiente a la baliza LED creada por tal empresa donde se puede observar que cumple perfectamente los requisitos mínimos.

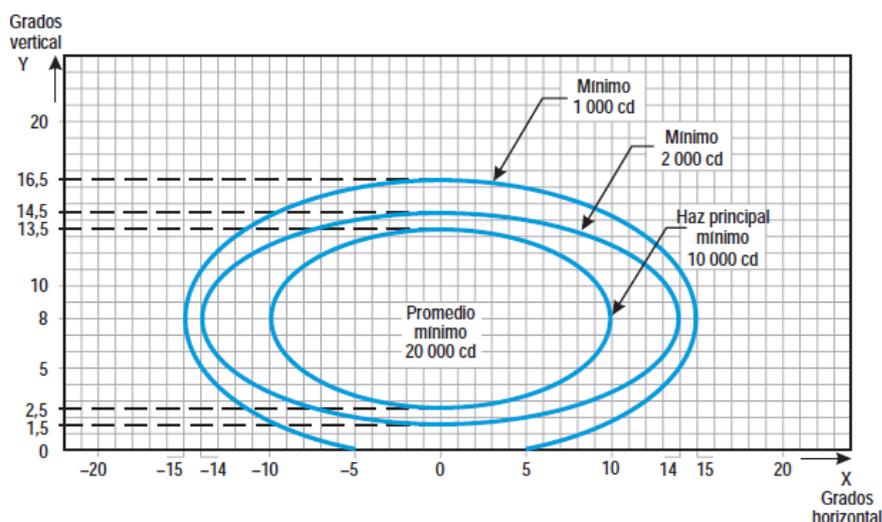
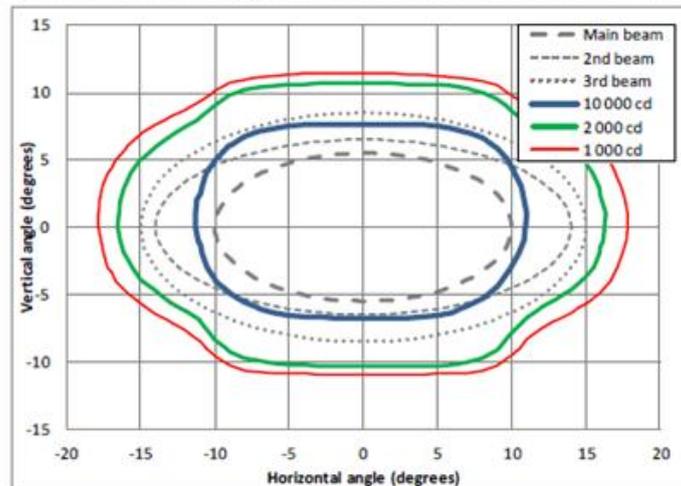


Figura 2. Diagrama de isocandelas para las luces de eje y barras transversales de aproximación (Fuente: Figura A2-1, Apéndice 2- Anexo 14)

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 3. Diagrama de isocandelas para las luces LED de eje y barras transversales de aproximación (Fuente: Safegate Group)

- Luces de toma de contacto

La empresa Safegate Group ha desarrollado una baliza LED de 15 W capaz de cumplir los requisitos fotométricos de OACI, en lugar de la baliza halógena de 45 W. A continuación, se muestra el diagrama de isocandelas requerido por la OACI para estas balizas de toma de contacto y el correspondiente a la baliza LED creada por tal empresa donde se puede observar que cumple perfectamente los requisitos mínimos.

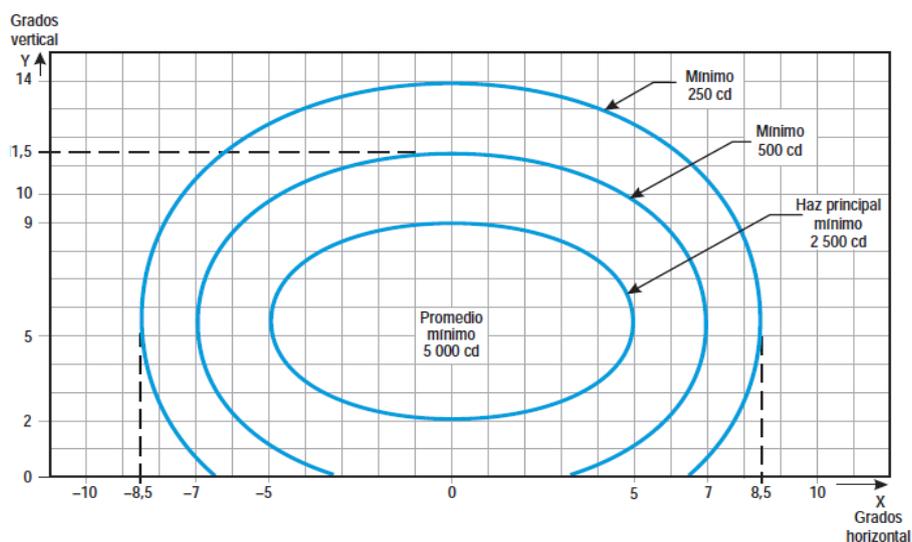


Figura 4. Diagrama de isocandelas para las luces de toma de contacto (Fuente: Figura A2-5, Apéndice 2- Anexo 14)

SafeLED IQ RZ-I Touchdown zone light White (also available with toe-in $\pm 4^\circ$)

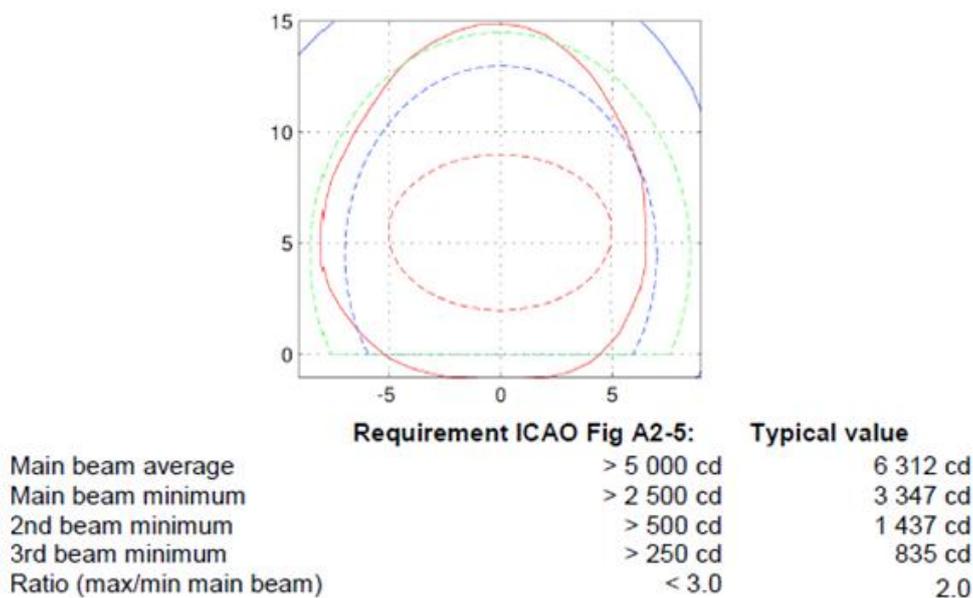


Figura 5. Diagrama de isocandelas para las luces LED de toma de contacto (Fuente: Safegate Group)

- Luces de eje de calle de rodaje

La empresa ADB ha desarrollado una baliza LED con dos luces de 15 W capaz de cumplir los requisitos fotométricos de OACI, en lugar de la baliza halógena que necesita dos luces de 40 W. A continuación, se muestra el diagrama de isocandelas requerido por la OACI para estas balizas de eje de rodaje (tanto en tramos rectos como en curvos) y el correspondiente a la baliza LED creada por tal empresa donde se puede observar que cumple perfectamente los requisitos mínimos (tanto para el color verde como para el amarillo).

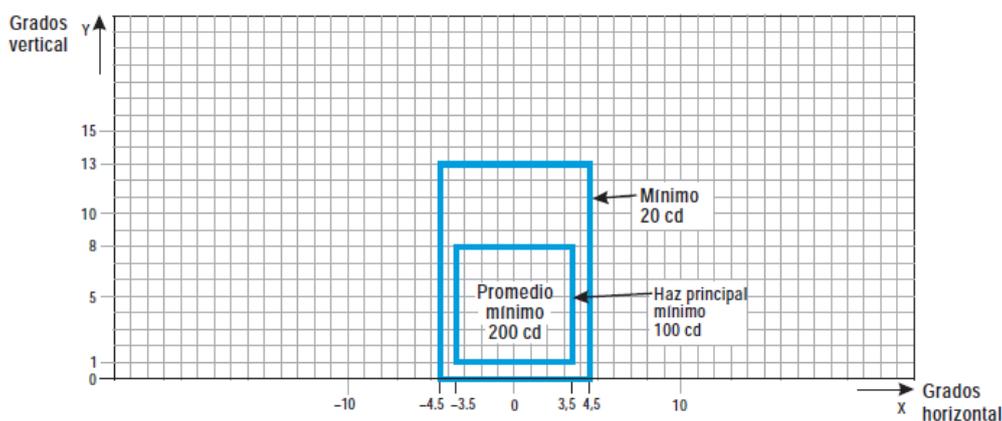


Figura 6. Diagrama de isocandelas para luces de eje de calle de rodaje en tramos rectos (Figura A2-13, Apéndice 2- Anexo 14)

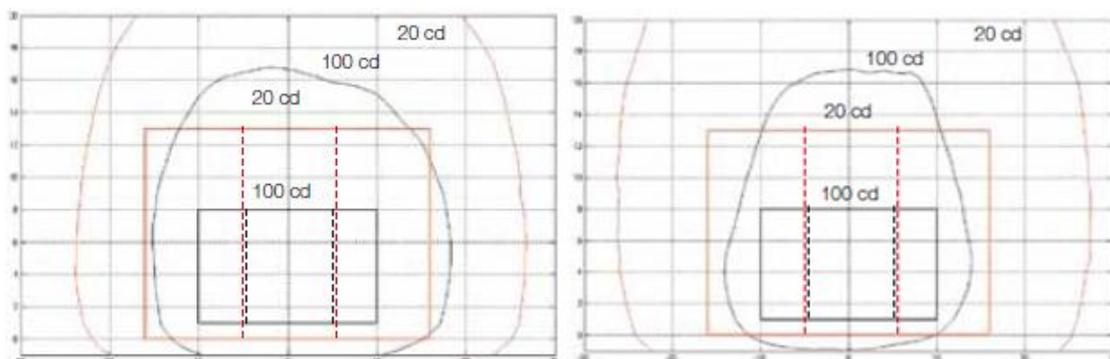


Figura 7. Diagrama de isocandelas para las luces LED de eje de calle rodaje en tramos rectos
Izquierda → Luz verde; Derecha → Luz amarilla (Fuente: ADB)

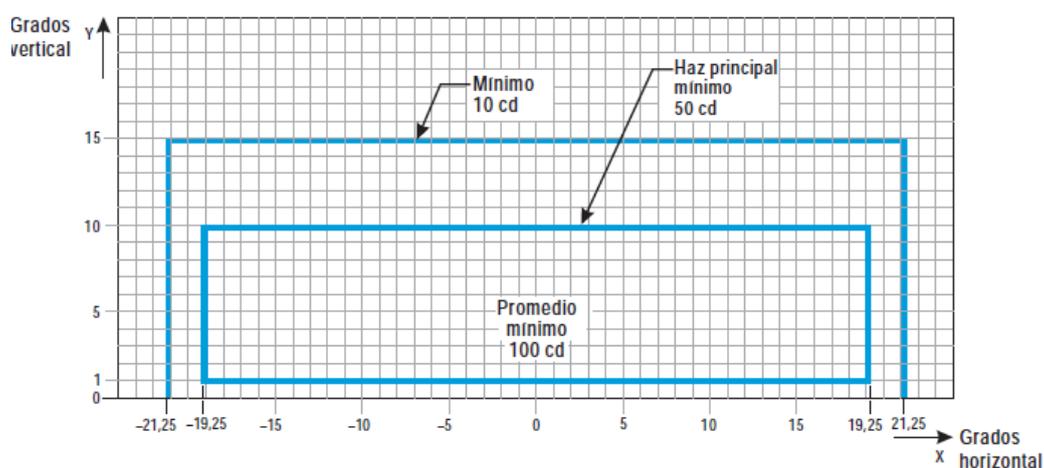


Figura 8. Diagrama de isocandelas para luces de eje de calle de rodaje en tramos curvos
(Figura A2-14, Apéndice 2- Anexo 14)

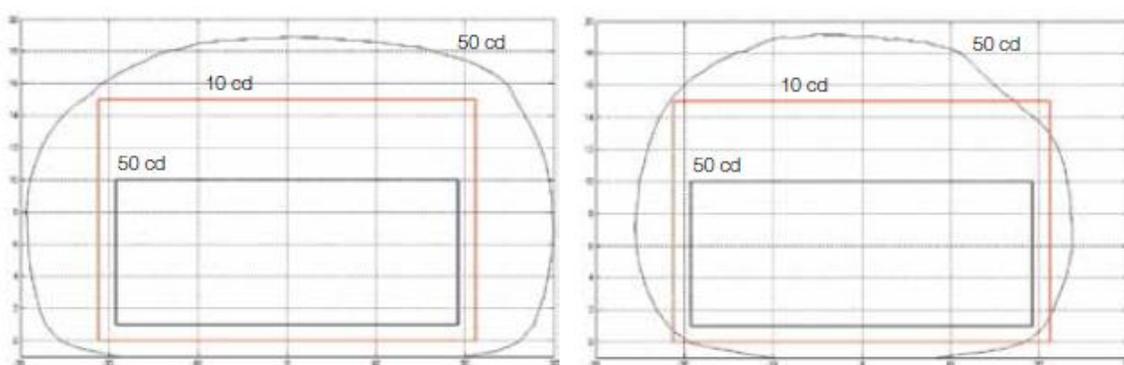


Figura 9. Diagrama de isocandelas para las luces LED de eje de calle rodaje en tramos curvos
Izquierda → Luz verde; Derecha → Luz amarilla (Fuente: ADB)