



EXEMPLE D'APLICACIÓ DEL REGLAMENT EN UN CAS D'ADEQUACIÓ

1.- Introducció

2.- Instal·lacions d'enllumenat vial funcional ó vial ambiental ?

3.- Elecció de la lluminària

4.- Càlculs luminotècnics: factor de manteniment

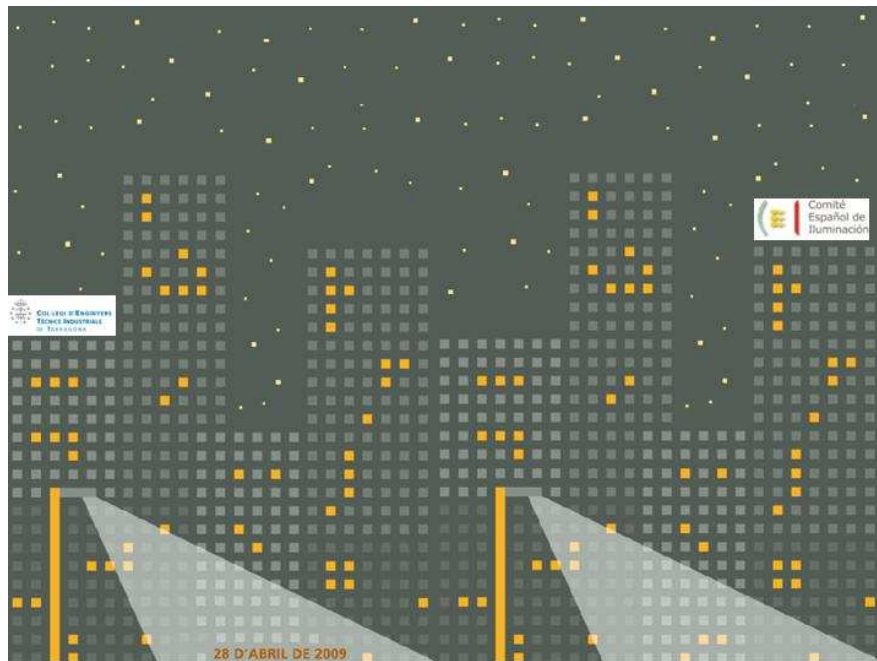
5.- Càlculs luminotècnics: raval de santa Anna

6.- Eficiència i qualificació energètica

7.- Documentació tècnica del projecte

8.- Càlculs pel carrer de Jesús

9.- Conclusions



Josep M^a Ollé Martorell
Tècnic municipal enllumenat públic de l'Ajuntament de Reus
Delegat a Catalunya del Comité Español de Iluminación



EXEMPLE D'APLICACIÓ DEL REGLAMENT EN UN CAS D'ADEQUACIÓ

1 .- INTRODUCCIÓ

El nucli antic de Reus està delimitat pel tomb de raval, espai que ocupaven les muralles antigament, i tots els carrers interiors. El tomb de raval constitueix la primera circumval·lació i tot ella i els carrers del seu interior formen un nucli urbà amb una gran vocació comercial, principalment botigues de roba, comerços tradicionals amb moda pròpia que conviuen amb totes les franquícies i també sabateries i joieries. Esta considerat com zona E3 als efectes de protecció del medi ambient nocturn a la contaminació lumínica



La il·luminació actual d'aquest nucli es va renovar a finals dels anys 80 amb llums asimètrics amb làmpades de 250 w. VMCC R.F. amb uns nivells de il·luminació de 30 lux en horari de vespre i 15 lux en horari de nit. Aquests llums passen desapercebuts de dia,

També es van instal·lar intercalats, varis braços murals de fosa amb fanals tipus Gas per mantenir la estètica dels primers enllumenats a gas instal·lats a Reus. Aquesta estètica es vol conservar, però amb lluminàries de millor rendiment.



El Decret 82/2005 pel qual s'aprova el Reglament de desenvolupament de la Llei 6/2001 d'ordenació ambiental de l'enllumenat per a la protecció del medi nocturn (conegut com Reglament de la contaminació lumínica a Catalunya) ens obliga a eliminar les làmpades de Vapor de Mercuri d'alta pressió. De sempre ens hem resistit a il·luminar aquests carrers tant comercials amb la llum groga del Sodi d'alta pressió.

Si volguéssim optar a una subvenció del Departament de Medi Ambient per adequar la il·luminació, una condició difícil de obviar seria que les làmpades fossin de Sodi alta pressió. Per les dimensions de la major part del carrers hauríem de instal·lar làmpades de Na.A.P. de 50 w. ó 70 w. Aquestes làmpades tenen una eficàcia lluminosa de 88 i 86 lm/w i un índex de reproducció cromàtica IRC = 20, el que fa que per obtenir la mateixa sensació de visió els nivells d'il·luminació hagin de ser superiors que il·luminant amb llum amb un IRC = 80.

Darrerament hem realitzat varies proves pilot d'adequació de l'enllumenat amb làmpades d'halogenurs metàl·lics ceràmics G-12 de 20 w, 35 w i 70 w. Aquestes làmpades amb un IRC = 80 tenen una eficàcia lluminosa que arriba a 85, 92 i 97 lm/w per tant compleixen amb el requisit de l'apartat 2 de la ITC-EA-04 que diu que les làmpades han de tenir una eficàcia lluminosa de com a mínima 65 lm/w. Pensem que, en aquests moments son la millor opció per il·luminar una zona comercial com és el nucli antic de Reus.

Analitzant la tipologia dels carrers del nucli antic de Reus veiem que el tom de ravals te una calçada que varia entre 3,5m. i 6,3m. amb voreres entre 2,7m. i 4,3m. d'ample. Amb un trànsit limitat a 40 km/h molt lent en hores punta que arriba a quedar-se bloquejat, mentre que en hores nocturnes fora de l'horari comercial és fluid. El tomb de ravals es una circumval·lació, via principal urbana, de moderada velocitat i d'accés dels vehicles als aparcaments del centre.

La resta de carrers son d'us exclusiu de vianants a excepció d'alguns on encara es permet la circulació en alguns casos compartint el mateix espai els vianants i els vehicles amb amplades que van des dels 3m. fins als 6m.



Inicialment hem pensat en instal·lar els nous llums a una alçada de 4,5m. en tots els carrers menys en els ravals que podrien arribar a estar entre 5 i 7m.



Raval de Santa Anna

2.- INSTAL·LACIONS D'ENLLUMENAT VIAL FUNCIONAL Ó VIAL AMBIENTAL ?

Segons la ITC-EA-01 els llums instal·lats per sota de 5m. d'alçada son considerats d'enllumenat vial ambiental i corresponen a situacions de projecte C, D, ó E, en canvi els situats per damunt de 5m. es consideren enllumenat vial funcional i corresponen a situacions de projecte A ó B.

L'enllumenat de tots els carrers interiors al tomb de ravals, amb llums a 4,5 m. d'alçada està considerat per la ITC-EA-01 com enllumenat vial ambiental i la ITC-EA-02 considera situacions de projecte C,D, i E:

Tabla 1 – Clasificación de las vías

Clasificación	Tipo de vía	Velocidad del tráfico rodado (km/h)
A	de alta velocidad	$v > 60$
B	de moderada velocidad	$30 < v \leq 60$
C	carriles bici	--
D	de baja velocidad	$5 < v \leq 30$
E	vías peatonales	$v \leq 5$

Com que la majoria de carrers son de vianants sembla estar clar que la classificació de les vies es la E i que estem davant d'una situació de projecte E1: Àrees comercials de vianants i també E2: Zones de vianants amb accés restringit i us prioritari de vianants. El flux de trànsit de vianants en qualsevol cas és alt (aclaparador en hores comercials).

Tabla 5 – Clases de alumbrado para vías tipo E

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de Alumbrado(*)
E1	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Espacios peatonales de conexión, calles peatonales, y aceras a lo largo de la calzada.</i> • <i>Paradas de autobús con zonas de espera</i> • <i>Áreas comerciales peatonales.</i> 	CE1A / CE2 / S1 S2 / S3 / S4
	Flujo de tráfico de peatones Alto..... Normal.....	
E2	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Zonas comerciales con acceso restringido y uso prioritario de peatones.</i> 	CE1A / CE2 / S1 S2 / S3 / S4
	Flujo de tráfico de peatones Alto..... Normal.....	

(*) Para todas las situaciones de alumbrado E1 y E2, cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.

Per aquestes situacions de projecte li corresponen les classes d'enllumenat: CE1A, CE2 ò S1. El reglament no ens diu de que depèn. Haurem de decidir-ho:

Aquests carrers ara estan il·luminats amb 30/15 lux (100% / R.F.) i hem tingut alguna queixa de que està fosc. Possiblement perquè en hores comercials el nivell mitjà d'il·luminació de bastants carrers és superior a 200 lux degut a les estores de llum que els botiguers produeixen al paviment amb els seus projectors situats damunt dels aparadors. (puntualment hem mesurat estores de llum de més de 1.000 lux). Aquestes estores de llum desapareixen després de tancar les botigues i en aquest moment els carrers recuperen els 30/15 lux. Creiem que aquests enllumenats particulars exteriors també haurien de complir amb aquest R.D. i deixar de distorsionar la il·luminació vial pública.



Atès que l'apartat 2.1.3 de la ITC-EA-02 diu que es pot seleccionar la classe d'enllumenat en funció de la complexitat del traçat, del control del trànsit, de la separació dels diferents tipus d'usuari i d'altres paràmetres específics, nosaltres, **per prudència**, hem optat per la classe d'enllumenat CE1A a la que li correspon una



il·luminància mitja mínima mantinguda de 25 lux amb una uniformitat mitja de 0,4 com a mínim. (recordem que no es pot superar en un 20 % el valor de la il·luminància indicat)

En quant al tomb de ravals, amb llums per damunt de 5m d'alçada i amb un trànsit de vehicles amb velocitat moderada ($30 < V < 60$) podriem considerar que estem davant d'una situació de projecte B. Però quina situació: B1 ó B2 ?

Tabla 3 – Clases de alumbrado para vías tipo B

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de Alumbrado ^(*)
B1	<ul style="list-style-type: none"> Vías urbanas secundarias de conexión a urbanas de tráfico importante. Vías distribuidoras locales y accesos a zonas residenciales y fincas. 	ME2 / ME3c ME4b / ME5 / ME6
	Intensidad de tráfico IMD \geq 7.000 IMD $<$ 7.000	
B2	<ul style="list-style-type: none"> Carreteras locales en áreas rurales. 	ME2 / ME3b ME4b / ME5
	Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera. IMD \geq 7.000 IMD $<$ 7.000	

^(*) Para todas las situaciones de proyecto B1 y B2, cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.

Mirant la Taula 3: el tomb de ravals no és una carretera local en àrea rural, per tant no estem davant d'una situació de projecte B2, tampoc és una via urbana secundària de connexió a urbanes de trànsit important. Només ens queda la opció de via distribuïdora local i accessos a zones residencials i finques. Tampoc diríem que ho es.

I si consideréssim que l'enllumenat dels ravals es vial ambiental? Obviant el detall de que els llums estan a més de 5 m d'alçada. Aleshores podríem considerar que estem davant d'una situació de projecte D. També haurien de obviar que el límit de velocitat en els ravals es de 40 km/h en lloc dels 30 que limiten la situació de projecte D. Si tot i així mirem la taula 4:

Tabla 4 – Clases de alumbrado para vías tipos C y D

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de Alumbrado ^(*)
C1	<ul style="list-style-type: none"> Carriles bici independientes a lo largo de la calzada, entre ciudades en área abierta y de unión en zonas urbanas 	S1 / S2 S3 / S4
	Flujo de tráfico de ciclistas Alto Normal	
D1 - D2	<ul style="list-style-type: none"> Áreas de aparcamiento en autopistas y autovías. Aparcamientos en general. Estaciones de autobuses. 	CE1A / CE2 CE3 / CE4
	Flujo de tráfico de peatones Alto Normal	
D3 - D4	<ul style="list-style-type: none"> Calles residenciales suburbanas con aceras para peatones a lo largo de la calzada Zonas de velocidad muy limitada 	CE2 / S1 / S2 S3 / S4
	Flujo de tráfico de peatones y ciclistas Alto Normal	

^(*) Para todas las situaciones de alumbrado C1-D1-D2-D3 y D4, cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.



Veurem que no hi ha cap situació de projecte D on classificar el tomb de ravals.

Recordem que el tomb de ravals es una circumval·lació, es una via principal urbana de moderada velocitat i d'accés dels vehicles als aparcaments del centre. Estem davant d'una situació de projecte B però no sabríem dir quina. Potser el més adient sigui "considerar-la" via distribuïdora local per poder "considerar" que estem en una situació de projecte B1 amb una classe d'enllumenat ME2 i que segons la taula 6 ha de tenir una luminància de $1,5\text{cd/m}^2$

Com que aquest valor es pot incrementar un màxim d'un 20% podríem arribar fins $1,8\text{cd/m}^2$ (~ 27 lux). La uniformitat global haurà de ser de 0,4 la longitudinal de 0,7 i el llindar de contrast TI <10%. Amb aquesta elecció el tomb de ravals tindrà una il·luminació similar als carrers del seu interior pels quals hem decidit la classe d'enllumenat CE1A ($E_m = 25\text{lux}$) i no pas inferior.

Entre la classe d'enllumenat ME2 i la ME3c hi ha la ME3a i la ME3b. No es tenen en consideració per una situació de projecte B1?

3.- ELECCIÓ DE LA LLUMINÀRIA:

Un cop determinats els nivells màxims d'il·luminació cal decidir la lluminària que es vol instal·lar. Segons la taula 1 de la ITC-EA-04 el rendiment de la lluminària i el factor d'utilització han de ser superiors als següents:

Tabla 1 - Características de las luminarias y proyectores.

PARÁMETROS	ALUMBRADO VIAL		RESTO ALUMBRADOS (1)	
	Funcional	Ambiental	Proyectores	Luminarias
Rendimiento	$\geq 65\%$	$\geq 55\%$	$\geq 55\%$	$\geq 60\%$
Factor de utilización	(2)	(2)	$\geq 0,25$	$\geq 0,30$

(1) A excepción de alumbrado festivo y navideño.
(2) Alcanzarán los valores que permitan cumplir los requisitos mínimos de eficiencia energética establecidos en las tablas 1 y 2 de la ITC-EA-01.

Considerem de molta ajuda la nota (2).

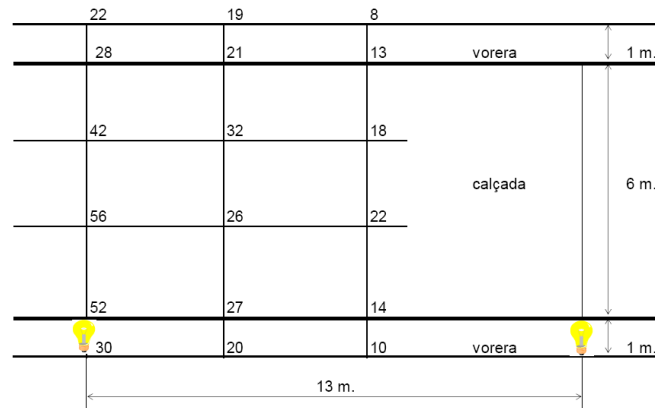
En base a diferents proves pilot que hem realitzat hem decidit utilitzar lluminàries amb reflector asimètric transversal amb dos làmpades d'halogenurs metàl·lics ceràmics, portàmpades G-12 amb potències de 20, 35 ó 70 w amb una temperatura de color de 3.000°K



La potència màxima consumida entre l'equip i la làmpada segons la taula 2 de la ITC-EA-04 ha de ser inferior a 84 w per les làmpades de 70 w HM. Per les làmpades de 35w i 20w la taula no indica valors. Deixem aquest punt perquè l'ampliïn els fabricants



Prova pilot a c/Arnavat i Vilaró 2x35 w



💡 Punt de llum = TST-404/A40 2x35 w HM 3.000°K

Valors reals en calçada:

Il·luminància mitjana = 29,25 lux

Uniformitat mitjana = 0,44

Uniformitat longitud. = 0,62

Valors reals en vorera:

Il·luminància mitjana = 22,00 lux

Uniformitat mitjana = 0,36

4.- CÀLCULS LUMINOTÈCNICS: FACTOR DE MANTENIMENT

Ja estem en condicions de poder fer els càlculs luminotècnics. Ens falta determinar encara amb quin factor de manteniment els farem. Segons la ITC-EA-06 tenim que considerar:

$$F_m = F_{DFL} \times F_{SL} \times F_{DLU}$$

en la que

FDFL = factor de depreciació del flux lluminós de les làmpades

FSL = factor de supervivència de la làmpada

FDLU = factor de depreciació de la lluminària



Una “ullada ràpida” a les taules 1, 2 i 3 de la ITC-EA-06 ens permet determinar que pel fet de utilitzar làmpades de halogenurs metàl·lics i una lluminària IP-65 en els ravals (carrers amb un grau de contaminació mitja) hem de considerar un factor de manteniment:

$$F_m = 0,73 \times 0,88 \times 0,87 = 0,56$$

Les làmpades tenen una vida mitja >12.000h.

No està previst fer cap neteja en tres anys. Només amb el canvi de làmpades que preveiem que serà cada 4 anys.

El grau de contaminació segons la ITC-EA-06 es mitja

Tabla 1 – Factores de depreciación del flujo luminoso de las lámparas (FDL)

Tipo de lámpara	Período de funcionamiento en horas				
	4.000 h	6.000 h	8.000 h	10.000 h	12.000 h
Sodio alta presión	0,98	0,97	0,94	0,91	0,90
Sodio baja presión	0,98	0,96	0,93	0,90	0,87
Halogenuros metálicos	0,82	0,78	0,76	0,76	0,73
Vapor de mercurio	0,87	0,83	0,80	0,78	0,76
Fluorescente tubular Trifósforo	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
Fluorescente tubular Halofósforo	0,82	0,78	0,74	0,72	0,71
Fluorescente compacta	0,91	0,88	0,86	0,85	0,84

Tabla 2 – Factores de supervivencia de las lámparas (FSL)

Tipo de lámpara	Período de funcionamiento en horas				
	4.000 h	6.000 h	8.000 h	10.000 h	12.000 h
Sodio alta presión	0,98	0,96	0,94	0,92	0,89
Sodio baja presión	0,92	0,86	0,80	0,74	0,62
Halogenuros metálicos	0,98	0,97	0,94	0,92	0,88
Vapor de mercurio	0,93	0,91	0,87	0,82	0,76
Fluorescente tubular Trifósforo	0,99	0,99	0,99	0,98	0,96
Fluorescente tubular Halofósforo	0,99	0,98	0,93	0,86	0,70
Fluorescente compacta	0,98	0,94	0,90	0,78	0,50

Tabla 3 – Factores de depreciación de las luminarias (FDLU)

Grado protección sistema óptico	Grado de contaminación	Intervalo de limpieza en años				
		1 año	1,5 años	2 años	2,5 años	3 años
IP 2X	Alto	0,53	0,48	0,45	0,43	0,42
	Medio	0,62	0,58	0,56	0,54	0,53
	Bajo	0,82	0,80	0,79	0,78	0,78
IP 5X	Alto	0,89	0,87	0,84	0,80	0,76
	Medio	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82
	Bajo	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88
IP 6X	Alto	0,91	0,90	0,88	0,85	0,83
	Medio	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
	Bajo	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90

A los efectos del cálculo del factor de mantenimiento, 1 año equivale a 4.000 h de funcionamiento.

Aquest valor de 0,56 queda lluny del 0,80 que fins ara hem estat considerat en els nostres càlculs. Darrerament amb lluminàries IP 65 i làmpades d'halogenurs metàl·lics ceràmics hem estat utilitzant un factor de manteniment de 0,9.



5.- CÀLCULS LUMINOTÈCNICS: RAVAL DE SANTA ANNA:

Analitzarem el càlcul luminotècnic fet pel raval de Santa Anna amb una calçada de 3,5m d'ample i voreres de 3m. Situant les lluminàries a 6m. d'alçada i al portell cada 24m. al mateix costat. Considerant un $F_m = 0,8$ i amb dos làmpades de 35w hm obtindrem:

1.2 Parámetros de Calidad de la Instalación

Superficie	Resultados	Medio	Mínimo	Máximo	Mín/Medio	Mín/Máx	Medio/Máx
Plano de Trabajo (h=0.00 m)	Iluminancia Horizontal (E)	21 lux	10 lux	38 lux	0.48	0.26	0.54
Acera A	Iluminancia Horizontal (E)	18 lux	10 lux	34 lux	0.56	0.30	0.54
Calzada A	Iluminancia Horizontal (E)	25 lux	14 lux	38 lux	0.57	0.37	0.65
Acera B	Iluminancia Horizontal (E)	18 lux	10 lux	34 lux	0.56	0.30	0.54
Acera A	Luminancia (L)	3.2 cd/m ²	1.8 cd/m ²	5.9 cd/m ²	0.56	0.30	0.54
Calzada A	Luminancia (L)	0.9 cd/m ²	0.6 cd/m ²	1.2 cd/m ²	0.63	0.47	0.75
Acera B	Luminancia (L)	3.2 cd/m ²	1.8 cd/m ²	5.9 cd/m ²	0.56	0.30	0.54

Confort Visual

Nombre del Tramo	Ancho Tramo [m] (W)	y1 [m]	y2 [m]	Pt.Cálc.Y	TablaR	Coef.Refl. Factor q0	Observador x Absoluto [m]	Observador y Absoluto [m]	Luminancia de Velo [cd/m ²]	Incremento de Umbral [%]	Uniformidad Longitudinal
Acera A	3.00	0.00	3.00	3		55.00					
Calzada A	3.50	3.00	6.50	4	R3	7.01	-60.00	3.88	0.02	1.35	0.61
Acera B	3.00	6.50	9.50	3		55.00					

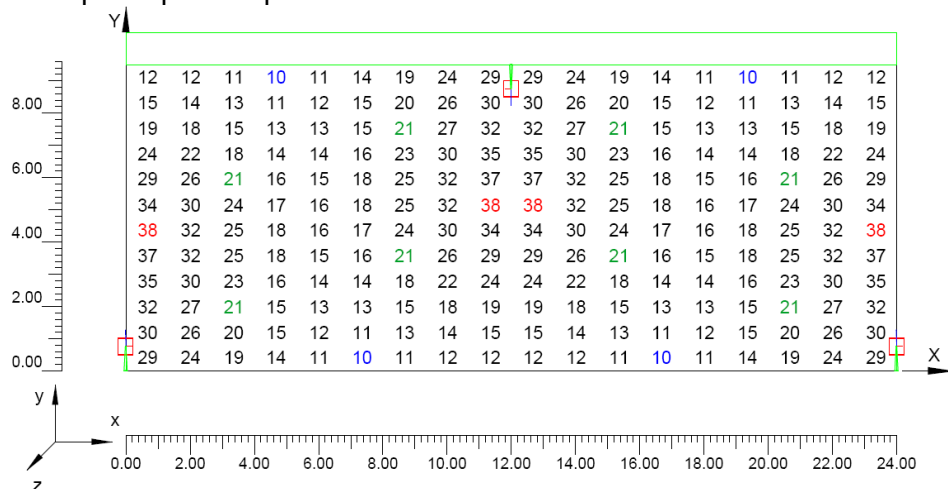
Contaminación Luminosa

Relación Media - Rn -	Intensidad Máxima
0.06 %	412 cd/klm

Destaquem:

- II-luminància mitja en calçada $E_m = 25$ lux amb una uniformitat mitja = 0,57
- II-luminància mitja en voreres de 18 lux
- Luminància mitja en calçada $L_m = 0,9$ cd/m² amb una uniformitat mitja de 0,63
- Uniformitat longitudinal = 0,61
- Llindar de contrast $TI = 1,35\%$

Amb un llindar de contrast de 1,35% no hi haurà enlluernament. El màxim permès per una classe d'enllumenat CE2 es de 10%. Amb un reflector vial asimètric longitudinal en ocasions es pot superar aquest 10%.



Si haguéssim considerat el factor de manteniment de 0,56 tindriem:



1.2 Parámetros de Calidad de la Instalación

Superficie	Resultados	Medio	Mínimo	Máximo	Min/Medio	Min/Máx	Medio/Máx
Plano de Trabajo (h=0.00 m)	Iluminancia Horizontal (E)	14 lux	7 lux	25 lux	0.47	0.26	0.55
Acera A	Iluminancia Horizontal (E)	12 lux	7 lux	22 lux	0.55	0.31	0.56
Calzada A	Iluminancia Horizontal (E)	17 lux	10 lux	26 lux	0.57	0.37	0.65
Acera B	Iluminancia Horizontal (E)	12 lux	7 lux	22 lux	0.56	0.30	0.54
Acera A	Luminancia (L)	2.2 cd/m ²	1.2 cd/m ²	3.9 cd/m ²	0.55	0.31	0.56
Calzada A	Luminancia (L)	0.59 cd/m ²	0.37 cd/m ²	0.78 cd/m ²	0.62	0.47	0.75
Acera B	Luminancia (L)	2.1 cd/m ²	1.2 cd/m ²	3.9 cd/m ²	0.56	0.30	0.54

Confort Visual

Nombre del Tramo	Ancho Tramo [m] (W)	y1 [m]	y2 [m]	Pt.Cálc.Y	TablaR	Coef.Refl. Factor q0	Observador x Absoluto [m]	Observador y Absoluto [m]	Luminancia de Velo [cd/m ²]	Incremento de Umbral [%]	Uniformidad Longitudinal
Acera A	3.00	0.00	3.00	3		55.00					
Calzada A	3.50	3.00	6.50	4	R3	7.01	-60.00	3.88	0.02	1.35	0.61
Acera B	3.00	6.50	9.50	3		55.00					

Contaminación Luminosa

Relación Media - Rn -	Intensidad Máxima
0.06 %	412 cd/klm

Amb un factor de manteniment Fm de 0,56, per aconseguir el valor mínim de luminància de 1,5 cd/m² indicat per ME2 hauríem d'ajuntar les lluminàries a 16 m. al mateix costat (no es presenta el càlcul). I amb aquesta disposició en el moment de fer la inspecció inicial per un organisme de control autoritzat (Fm=1) i els primers mesos de cada recanvi de làmpades tindrem:

1.2 Parámetros de Calidad de la Instalación

Superficie	Resultados	Medio	Mínimo	Máximo	Min/Medio	Min/Máx	Medio/Máx
Plano de Trabajo (h=0.00 m)	Iluminancia Horizontal (E)	37 lux	20 lux	51 lux	0.56	0.40	0.71
Acera A	Iluminancia Horizontal (E)	32 lux	21 lux	45 lux	0.64	0.46	0.71
Calzada A	Iluminancia Horizontal (E)	44 lux	38 lux	52 lux	0.87	0.74	0.85
Acera B	Iluminancia Horizontal (E)	32 lux	21 lux	45 lux	0.64	0.46	0.71
Acera A	Luminancia (L)	5.6 cd/m ²	3.6 cd/m ²	7.9 cd/m ²	0.64	0.46	0.71
Calzada A	Luminancia (L)	1.6 cd/m ²	1.3 cd/m ²	1.7 cd/m ²	0.84	0.76	0.91
Acera B	Luminancia (L)	5.6 cd/m ²	3.6 cd/m ²	7.9 cd/m ²	0.64	0.46	0.71

La luminància mitja en el moment de fer la inspecció serà de 1,6 cd/m². que no excedeix del 20% del valor de 1,5 cd/m² per una classe d'enllumenat ME2. Però si que s'excedeix el màxim de il·luminància permès a Catalunya pel Decret 82/2005 que es de 25 lux per vies de trànsit moderat (35 lux per trànsit intens).

Cal aclarir quin factor de manteniment s'ha de utilitzar. Ens pot ajudar la publicació 154-2003 de la CIE: "El mantenimiento de sistemas de iluminación exterior" en la que en l'exemple pràctic prescindeix del factor FSL factor de supervivència de la làmpada, ja que suposa que quan una làmpada deixa de funcionar es canvia de immediat. També caldria determinar el valor real del factor de depreciació del flux lluminós de les làmpades d'halogenurs metàl·lics ceràmiques en posició horitzontal (i si fos 0,9 ?). I podríem considerar que en els ravals la contaminació es baixa. En aquest supòsit el factor de manteniment seria:

$$F_m = 0,9 \times 0,90 = 0,81$$

Cal que els fabricants de lluminàries, els de làmpades i les empreses de manteniment d'enllumenats es pronunciïn.

Atès que el tomb de ravals es pot tancar al trànsit de vehicles en qualsevol moment i convertir-se en una zona de vianants també considerarem com quedaria l'enllumenat al ser una situació de projecte E. Segons la taula 9 de la ITC-EA-02



Tabla 9 – Series CE de clase de alumbrado para viales tipos D y E

Clase de Alumbrado (1)	Iluminancia horizontal	
	Iluminancia Media <i>Em (lux)</i> [mínima mantenida ⁽¹⁾]	Uniformidad Media <i>Um</i> [mínima]
CE0	50	0,40
CE1	30	0,40
CE1A	25	0,40
CE2	20	0,40
CE3	15	0,40
CE4	10	0,40
CE5	7,5	0,40

(1) Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado. A fin de mantener dichos niveles de servicio, debe considerarse un factor de mantenimiento (f_m) elevado que dependerá de la lámpara adoptada, del tipo de luminaria, grado de contaminación del aire y modalidad de mantenimiento preventivo.

(2) También se aplican es espacios utilizados por peatones y ciclistas.

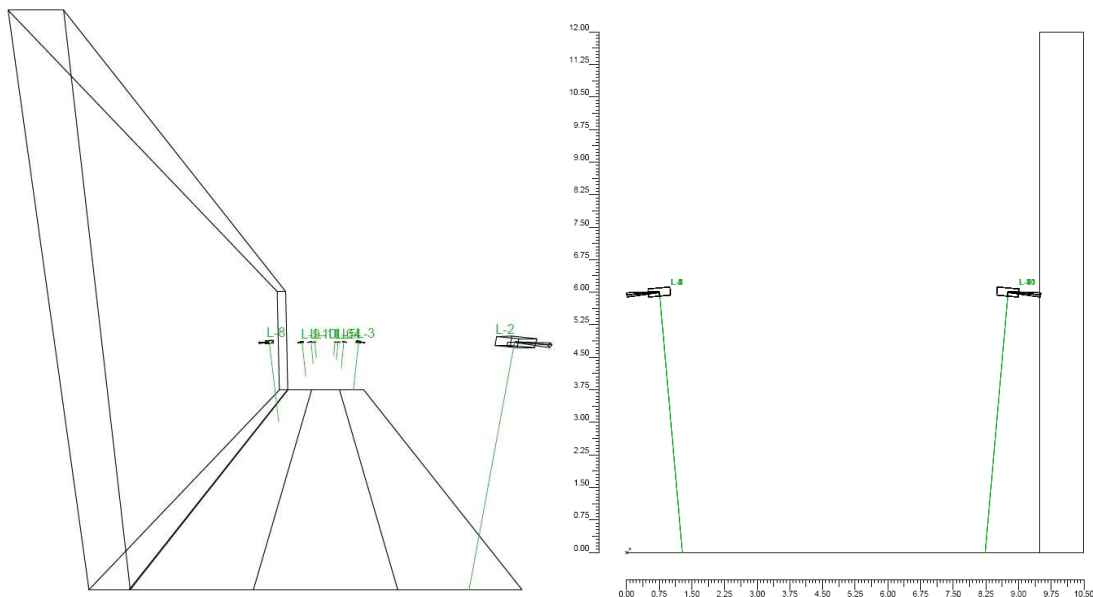
Considerarem tota la superfície que es pot trepitjar: voreres + calçada = pla de treball

Amb l'estudi que hem fet amb un $F_m=0,85$ el valor mitja de il·luminància pel pla de treball serà de 21 lux, el mínim de 10 lux i la uniformitat mitja de 0,48. Es complirà amb les prescripcions per una classe d'enllumenat CE2

A més si mirem els valors de la taula 3.1 de l'informe 136/2000 de la CIE veurem que a una via urbana de elevat prestigi li correspon una classe de il·luminació P1 i requereix un nivell mitja d'il·luminació de 20 lux amb un valor mínim de 7,5 lux. Com que també complim aquests valors podem tenir la tranquil·litat de que la visió i la seguretat estan suficientment garantides i per tant no cal sobre-il·luminar més del necessari.

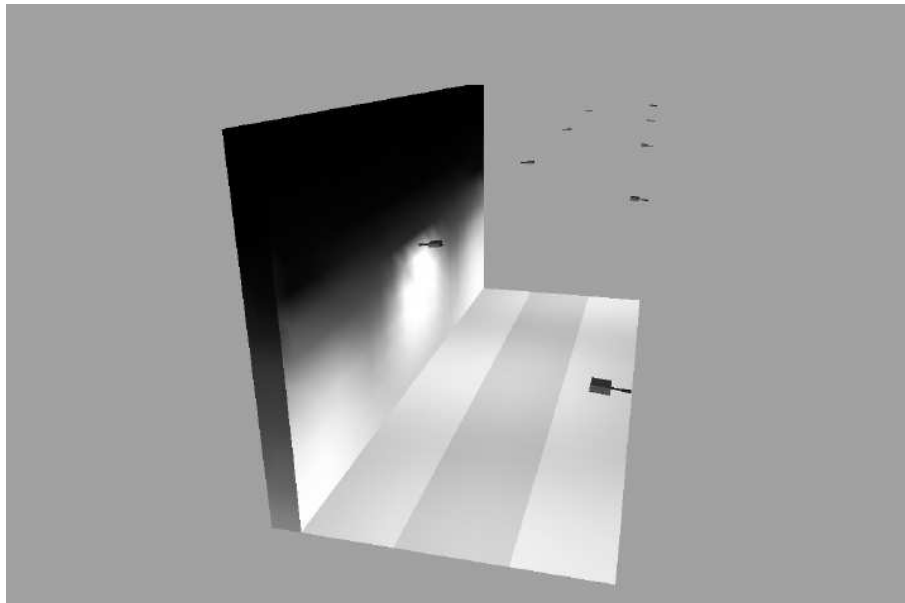
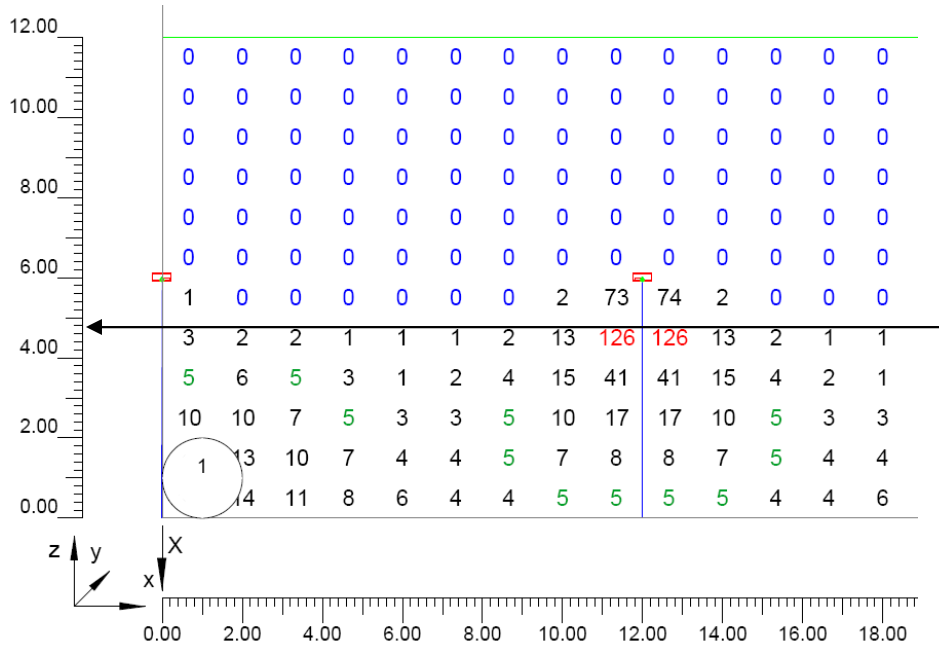
Ens falta calcular la llum intrusa.

Hem simulat una paret per poder calcular la il·luminància vertical:





En la gráfica següent es mostren els valors puntuals en lux. Per sobre de 4,5 m, la llum intrusa serà nul·la a excepció del darrera de la lluminària.



6.- EFICIÈNCIA I QUALIFICACIÓ ENERGÈTICA:

Seguidament calcularem l'eficiència energètica pel nou enllumenat del raval de Santa Anna tal, com esta detallat en la ITC-EA-01:

$$\epsilon = \frac{\text{m}^2 \times \text{lux}}{w} = \frac{(3+3,5+3) \times 24 \times 21}{2 \times (2 \times 35) \times 1,15} = 29,74$$



En la superficie de muestra del cálculo tenemos 3 iluminarias, pero la mitad de la de la derecha y la mitad de la de la izquierda no afectan a la superficie de cálculo.

Según la tabla 2 de la ITC-EA-01 el valor mínimo de eficiencia energética por un alumbrado vial funcional con una iluminancia media de 25 lux es de 20. Cumplimos, no hay que interpolar.

Tabla 1 – Requisitos mínimos de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado vial funcional

Iluminancia media en servicio E_m (lux)	EFICIENCIA ENERGÉTICA MÍNIMA $\left(\frac{m^2 \cdot lux}{W}\right)$
≥ 30	22
25	20
20	17,5
15	15
10	12
$\leq 7,5$	9,5

Nota - Para valores de iluminancia media proyectada comprendidos entre los valores indicados en la tabla, la eficiencia energética de referencia se obtendrán por interpolación lineal

Para calificar energéticamente esta instalación se ha de calcular el índice de eficiencia energética y el índice de consumo energético:

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	EFICIENCIA ENERGÉTICA	ITC – EA – 01
--	-----------------------	---------------

El índice de eficiencia energética (I_ε) se define como el cociente entre la eficiencia energética de la instalación (ε) y el valor de eficiencia energética de referencia (ε_R) en función del nivel de iluminancia media en servicio proyectada, que se indica en tabla 3.

$$I_\varepsilon = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_R}$$

Tabla 3 – Valores de eficiencia energética de referencia

Alumbrado vial funcional		Alumbrado vial ambiental y otras instalaciones de alumbrado	
Iluminancia media en servicio proyectada E_m (lux)	Eficiencia energética de referencia ε_R $\left(\frac{m^2 \cdot lux}{W}\right)$	Iluminancia media en servicio proyectada E_m (lux)	Eficiencia energética de referencia ε_R $\left(\frac{m^2 \cdot lux}{W}\right)$
≥ 30	32	--	--
25	29	--	--
20	26	≥ 20	13
15	23	15	11
10	18	10	9
$\leq 7,5$	14	7,5	7
--	--	≤ 5	5

Nota - Para valores de iluminancia media proyectada comprendidos entre los valores indicados en la tabla, la eficiencia energética de referencia se obtendrán por interpolación lineal



$$I_e = \frac{E}{E_R} = \frac{29,74}{26,6} = 1,12 \quad \text{Interpolant: } E_R = \frac{(21-20)}{25-20} \times (29-26) + 26 = 26,6$$

$$\text{I finalment l'índex del consum energètic serà } ICE = \frac{1}{I_e} = \frac{1}{1,12} = 0,89$$

Tabla 4 – Calificación energética de una instalación de alumbrado.

Calificación Energética	Índice de consumo energético	Índice de Eficiencia Energética
A	ICE < 0,91	I _e > 1,1
B	0,91 ≤ ICE < 1,09	1,1 ≥ I _e > 0,92
C	1,09 ≤ ICE < 1,35	0,92 ≥ I _e > 0,74
D	1,35 ≤ ICE < 1,79	0,74 ≥ I _e > 0,56
E	1,79 ≤ ICE < 2,63	0,56 ≥ I _e > 0,38
F	2,63 ≤ ICE < 5,00	0,38 ≥ I _e > 0,20
G	ICE ≥ 5,00	I _e ≤ 0,20

La qualificació energètica A exigeix un índex de consum energètic ICE < 0,91. Per tant a l'enllumenat del raval de Santa Anna li correspondrà una etiqueta amb la lletra A. Com que estem molt aprop del límit del valor exigít per obtenir la etiqueta A, si haguéssim optat per sobreil·luminar el raval de Santa Anna probablement li correspondria la etiqueta B

7.- DOCUMENTACIÓ TÈCNICA DEL PROJECTE:

La ITC-EA-05 ens indica la documentació tècnica que cal incloure en el projecte que hem de presentar a una Entitat d'Inspecció i Control. Per tal de poder complimentar totes les dades que ens demanen tant si es tracta d'un projecte com si es tracta d'una memòria tècnica de disseny, ens falta calcular el factor d'utilització.

El factor d'utilització es la relació entre el flux útil i el que genera la làmpada. Les làmpades de 35 w d'halogenurs metàl·lics ceràmics generen 3400 lúmens, com que en la lluminària n'hi ha dos, el flux generat serà de 6.800 lúmens en horari de vespre.

El flux útil, "en servei mantingut", el podem calcular fàcilment. Sabem el nivell d'il·luminació mitja en servei i la superfície a il·luminar:

$$E_m = 21 \text{ lux} = \frac{\text{Flux útil}}{\text{Superfície}} \quad \text{per tant flux útil} = 21 \text{ lux} \times (3+3,5+3) \times 24 \text{ m}^2 = 4.780 \text{ lm}$$

$$\text{El factor d'utilització es doncs } F_u = \frac{4.780}{6.800} = 0,7$$



També hem de indicar el rendiment de la lluminària i el FHS inst. que els trobarem a les dades fotomètriques en el programa de càlcul.

Faltaria encara en el cas de presentar un projecte el pla de manteniment i calcular els costos d'explotació i manteniment.

8.- CÀLCULS PEL CARRER DE JESUS:

En els carrers interiors al tomb de ravals el càlcul luminotècnic ens porta a instal·lar una làmpada de 20 w. i una de 35 w en la mateixa lluminària, apagant la de 20w en horari de nit:

Càlculs pel carrer de Jesus, carrer de vianants de 4m d'ample amb les lluminàries cada 11 m a un sol costat i a 4,5 m d'alçada:

1.2 Parámetros de Calidad de la Instalación

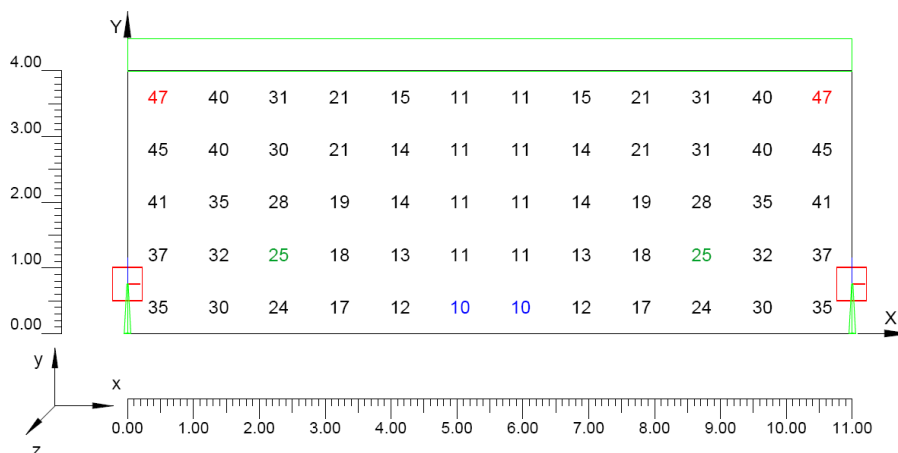
Superficie	Resultados	Medio	Mínimo	Máximo	Mín/Medio	Mín/Máx	Medio/Máx
Plano de Trabajo (h=0.00 m)	Iluminancia Horizontal (E)	25 lux	10 lux	47 lux	0.39	0.20	0.52
Calzada A	Iluminancia Horizontal (E)	25 lux	10 lux	47 lux	0.41	0.22	0.53
Calzada A	Luminancia (L)	1.0 cd/m ²	0.5 cd/m ²	1.4 cd/m ²	0.53	0.38	0.71

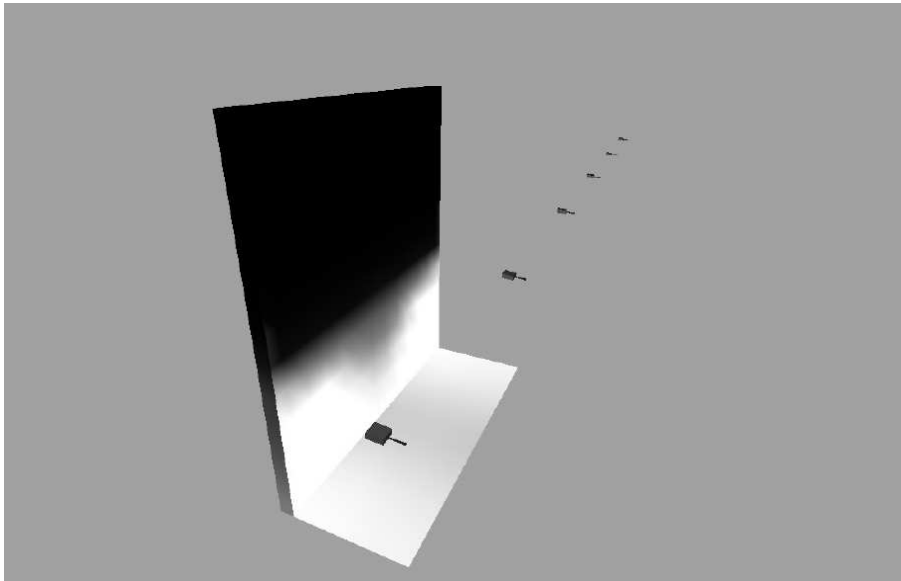
Confort Visual

Nombre del Tramo	Ancho Tramo [m] (W)	y1 [m]	y2 [m]	Pt.Cálc.Y	TablaR	Coef.Refl. Factor q0	Observador x Absoluto [m]	Observador y Absoluto [m]	Luminancia de Velo [cd/m ²]	Incremento de Umbral [%]	Uniformidad Longitudinal
Calzada A	4.00	0.00	4.00	5	R3	7.01	-60.00	1.00	0.03	1.81	0.54

Contaminación Luminosa

Relación Media - Rn -	Intensidad Máxima
0.06 %	412 cd/kim





L'eficiència energètica serà:
$$\epsilon = \frac{\text{m}^2 \times \text{lux}}{w} = \frac{11 \times 4 \times 25}{(1 \times 20 + 1 \times 35) \times 1,15} = 17,39$$

Complim amb escriure:

Tabla 2 – Requisitos mínimos de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado vial ambiental.

Iluminancia media en servicio $E_m(\text{lux})$	EFICIENCIA ENERGÉTICA MÍNIMA $\left(\frac{\text{m}^2 \cdot \text{lux}}{W}\right)$
≥ 20	9
15	7,5
10	6
7,5	5
≤ 5	3,5

Nota - Para valores de iluminancia media proyectada comprendidos entre los valores indicados en la tabla, la eficiencia energética de referencia se obtendrán por interpolación lineal

L'índex d'eficiència energètica serà:
$$I_\epsilon = \frac{\epsilon}{\epsilon_R} = \frac{17,39}{13} = 1,34$$



Tabla 3 – Valores de eficiencia energética de referencia

Alumbrado vial funcional		Alumbrado vial ambiental y otras instalaciones de alumbrado	
Iluminancia media en servicio proyectada E_m (lux)	Eficiencia energética de referencia ϵ_R $\left(\frac{m^2 \cdot lux}{W}\right)$	Iluminancia media en servicio proyectada E_m (lux)	Eficiencia energética de referencia ϵ_R $\left(\frac{m^2 \cdot lux}{W}\right)$
≥ 30	32	--	--
25	29	--	--
20	26	≥ 20	13
15	23	15	11
10	18	10	9
$\leq 7,5$	14	7,5	7
--	--	≤ 5	5

Nota - Para valores de iluminancia media proyectada comprendidos entre los valores indicados en la tabla, la eficiencia energética de referencia se obtendrán por interpolación lineal

I finalment l'índex del consum energètic serà $ICE = \frac{1}{I_e} = \frac{1}{1,34} = 0,75$

Per similitud amb la qualificació energètica dels electrodomèstics, al futur enllumenat del C/ Jesús li correspondria una etiqueta tipus AA ó A+.

9.- CONCLUSIONS

La aplicació correcte del reglament es possible però no garanteix que s'aconsegueixi la màxima eficiència energètica possible. El paràmetre "específic" que ho permet es la voluntat del titular de l'enllumenat

No obstant a Catalunya, no cal esperar a que surti la guia d'aplicació, tenim els límits del Decret 82/2005 que ens acosten més a la màxima eficiència energètica possible amb la tecnologia actual, que aquest Reglament.

El que si que es imperatiu es fer un càlcul complert i acurat abans de qualsevol nova instal·lació o modificació si no volem trobar-nos amb incompliments.

Es una eina que ens permet estar preparats per la ja anunciada propera crisi energètica

