

Resum

El objectiu principal d'aquest projecte és desenvolupar un mètode per avaluar la qualitat del servei d'una empresa de manteniment d'enllumenat públic.

El present document s'estructura en diferents blocs, començant per els temes d'introducció, on s'explica la teoria sobre l'enllumenat públic i es defineixen els elements que el formen, coneixement necessari per la comprensió del projecte.

A continuació, es procedeix a explicar les característiques dels serveis dels quals s'encarrega una Empresa de Serveis Energètics (en endavant ESE), les quals basen el negoci en aconseguir un estalvi energètic en les empreses dels seus clients. Aquests serveis són; el servei lumínic, centrat en la quantitat i qualitat de la llum; el servei de manteniment, el qual s'ha d'encarregar de definir i gestionar de manera adequada un programa de manteniment de tots els equips que formen el sistema; i per últim, el sistema energètic, el qual controla que el consum energètic que genera l'enllumenat públic sigui el correcte.

Posterior a aquest punt s'exemplificarà el mètode a partir de les dades reals de l'enllumenat públic del municipi de Deltebre, municipi el qual té tot el sistema d'enllumenat públic gestionat per una Empresa de Serveis Energètics.

Finalment s'han plantejat tres escenaris en funció dels diners que l'Ajuntament en qüestió vulgui dedicar a l'aplicació del mètode, i en funció d'aquest s'ha explicat el procediment a realitzar i s'han llistat els costos que suposaria, per finalment, acabar arribant a un pressupost final per cadascun d'ells.

L'aplicació d'un mètode com el desenvolupat en aquest projecte garanteix un estudi complet de tots els serveis que formen part un sistema d'enllumenat públic. L'estudi exhaustiu de cadascun dels serveix conclou en un llistat de propostes d'accions que hauran de portar-se a termes si es vol garantir el correcte funcionament de tot el sistema d'enllumenat públic.

Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
1. GLOSSARI	5
2. INTRODUCCIÓ	7
2.1. Requeriments previs	7
2.2. Objectius del projecte	7
2.3. Abast del projecte	8
3. DESCRIPCIÓ DE LES INSTAL·LACIONS I COM AFECTEN AL SERVEI	9
3.1. Làmpades	10
3.1.1. Tipus de làmpades	10
3.1.2. Vida de les làmpades	12
3.2. Luminàries	12
3.3. Quadre de maniobra	15
3.4. Funcionament: horaris, apagades i reduccions	17
4. MESURA DE LA QUALITAT DEL SERVEI DE L'ENLLUMENAT PÚBLIC	21
4.1. El servei lumínic	21
4.1.1. Variables de la quantitat de llum	21
4.1.2. Variables de la qualitat	21
4.1.3. Variables de les fonts de llum	30
4.1.4. Metodologia d'anàlisi de la qualitat del servei	32
4.2. El servei de manteniment	40
4.2.1. Motius per a la realització del manteniment de les instal·lacions	40
4.2.2. Tipus de manteniments	47
4.2.3. Indicadors de manteniment	48
4.3. El servei energètic	50
4.3.1. Tipus de consums	50
4.3.2. Variacions del consum al llarg del temps	51
4.4. La contaminació lumínica	54
4.4.1. Metodologia per avaluar la llum intrusa	56
5. APLICACIONS PRÀCTIQUES. MUNICIPI DE DELTEBRE	59
5.1. Estudi del servei lumínic de l'enllumenat públic de Riumar	59
5.1.1. Mètode cotxe enregistrador	60

5.1.2.	Mètode dels nous punts.....	62
5.2.	Estudi del servei energètic de Deltebre.....	65
5.3.	Estudi de manteniment del municipi de Deltebre.....	81
5.3.1.	Indicadors de manteniment.....	82
5.4.	Estudi sobre la contaminació lumínica. Llum intrusa.....	83
6.	ESTUDI ECONÒMIC DE L'APLICACIÓ DEL MÈTODE _____	87
6.1.	Pressupost baix.....	89
6.1.1.	Costos.....	89
6.1.2.	Pressupost final.....	91
6.2.	Pressupost mig.....	91
6.2.1.	Costos.....	92
6.2.2.	Pressupost final.....	93
6.3.	Pressupost alt.....	94
6.3.1.	Costos.....	94
6.3.2.	Pressupost final.....	96
6.4.	Resum dels pressupostos.....	96
7.	PRESSUPOST DEL PROJECTE _____	97
7.1.	Costos.....	97
7.2.	Pressupost final.....	98
8.	IMPACTE AMBIENTAL _____	99
	CONCLUSIONS _____	101
	AGRAÏMENTS _____	105
	BIBLIOGRAFIA _____	107
	Referències bibliogràfiques.....	107
	Bibliografia complementària.....	107

1. Glossari

ESE: Empresa de Serveis Energètics. Una Empresa de Serveis Energètics, és una empresa que genera negoci a base d'aconseguir un estalvi energètic, i per tant, un estalvi dels costos totals a els seus clients. Les ESE ofereixen als seus clients estalvi diners sense disminuir la qualitat dels seus productes o serveis.

IRC: Índex de reproducció cromàtica. És una mesura de la capacitat d'una font lluminosa per reproduir fidelment el color dels objectes en comparació amb una font de llum natural o ideal.

L: La luminància és l'excitació de l'ull humà a través de la incidència d'una intensitat lluminosa per unitat de superfície. Es calcula en candeles per metre quadrat = cd/m^2

E: La il·luminància o nivell d'il·luminació és la quantitat de flux lumínic que recau sobre una superfície. Les unitats en les que es calcula és el lux = lumen/m^2 .

Um: Uniformitat mitja. És la relació entre la il·luminància mínima i la mitja d'una instal·lació.

U_o: Uniformitat global. És la relació entre la luminància mínima i mitja d'una instal·lació.

QM: Quadre de maniobra. Els punts de llums d'un poble o ciutat estan agrupats per circuits, els quals a la vegada estan agrupats per quadres de maniobra. Si el sistema d'enllumenat té un sistema de telegestió, cada quadre de maniobra serà un punt telegestionat.

HDR: "High Dynamic Range". Tipus de fotografia que tracta de cobrir amb una càmera un major rang dinàmic del que aquesta és capaç de recollir amb el seu sensor. Les imatges d'alt rang dinàmic (HDR) emmagatzemen la informació en un format que té un abast de molts ordres de magnitud.

2. Introducció

2.1. Requeriments previs

L'objectiu principal de l'enllumenat públic és proporcionar, durant la nit, un trasllat segur, ràpid i còmode gràcies a la existència d'unes bones condicions de visibilitat. Una il·luminació pot considerar-se com a bona, quan genera una percepció visual segura i fàcil.

A més a més ha de contribuir de forma transcendent no només en el increment de la seguretat del tràfic, tant de vehicles com de vianants, sinó també a una reducció dels delictes contra persones, propietats, bens, etc. És a dir, a de contribuir a un increment de la seguretat ciutadana, a més a més de a una millora en el benestar social i en les condicions d'habitabilitat i confort de les zones públiques.

2.2. Objectius del projecte

L'objectiu fonamental d'aquest projecte és proporcionar un mètode que permeti avaluar la gestió que duu a terme una empresa energètica d'un sistema d'enllumenat públic. En aquest mètode, han de quedar definits els procediments a realitzar per a aconseguir analitzar la gestió de la ESE en el servei lumínic, en el servei de manteniment i en el servei energètic. Aquests estudis permetran detectar il·legalitats, o punts del plec que no es compleixen, i per tant, l'Ajuntament, en el cas que sigui aquest el sol·licitant de l'informe, tindrà on recolzar-se en el moment de exigir millores a la ESE. Per altra banda, tots aquells punts que quedin fora de reglament, no s'han de depreciar, sinó que poden quedar plasmats en una llista de millores o consells, o incorporats en un contracte.

El motiu que impulsa a la creació d'aquest mètode és la no sempre correcte gestió del sistema d'enllumenat públic que les empreses duen a terme.

Una empresa de gestió energètica no deixa de ser una empresa privada, i com a tal, la gran diferència entre la seva gestió i la que pot portar un Ajuntament bàsicament recau en la cerca d'un benefici econòmic. És principalment per aquest motiu que a la llarga una ESE pot reduir la qualitat del servei ofert i per el qual són necessaris estudis externs que controlin que els objectius de qualitat s'estan complint.

L'exemple, real, d'aquest projecte, es un exemple clar de que a vegades no es compleixen els mínims exigits, ja siguin els exigits pel govern en el Real Decret 1890/2008, del 14 de novembre, per el qual s'aprova el Reglament d'eficiència energètica en instal·lacions d'enllumenat exterior i les seves Instruccions tècniques, o bé, per el propi plec de de prescripcions tècniques acordat per ambdues parts, Ajuntament i empresa de Serveis Energètics. Aquest fet repercutirà de maner positiva en el cost

econòmic al qual ha de fer front la ESE, però tindrà un impacte negatiu en la vida quotidiana dels ciutadans, ja sigui en la fluïdesa del trànsit, l'ambient, la seguretat ciutadana, el confort...

2.3. Abast del projecte

Aquest projecte inclou una descripció exhaustiva de les tasques a realitzar per avaluar de manera correcta la globalitat de la gestió d'una ESE. L'objectiu final és comprovar la qualitat del servei, és a dir, el resultat de la gestió de la ESE. En cap moment s'entrarà a controlar el procés de treball que aquesta duu a terme, el que s'analitzaran són els seus resultats finals. És a dir, es comproven que es compleixen tan els punts pactats al ple de prescripcions com els punts que estableix el RD 1890/2008 però no el procediment per arribar fins a ells.

Cada tipus de servei gestionat per la ESE compta amb la seva pròpia descripció de la metodologia a aplicar i una explicació de les variables que entren en joc.

També inclou un cas pràctic que pretén exemplificar las metodologies explicades amb anterioritat de manera teòrica. Aquest exemple, no pretén ser un estudi complet de la gestió de la ESE en el municipi de Deltebre, si no que utilitzant les dades e informació d'aquest sistema d'enllumenat públic, el que es proposa es una mostra del que s'hauria de fer per aplicar correctament el mètode proposat.

3. Descripció de les instal·lacions i com afecten al servei

Les instal·lacions d'enllumenat públic són el conjunt d'artefactes que serveixen per generar energia lumínica i crear unes condicions determinades d'il·luminació. Aquests artefactes o sistemes lumínics són:

- **Fonts de llum (o làmpades):** Són els transformadors d'energia, normalment elèctrica, en lumínica.
- **Luminàries:** Són els dispositius que allotgen i protegeixen la font de llum i reconduïxen la llum cap a on es vol il·luminar.
- **Elements de control i regulació:** Dispositius que gestionen el funcionament dels anteriors.
- **Suports i cablejats.**
- **Equips auxiliars.**

El servei que donin les instal·lacions i la seva qualitat, es veurà influenciat per l'estat dels equips lumínics, és per això que és rellevant cal tenir en compte una sèrie de característiques estàtiques de les instal·lacions, ja que aquestes poden influir de forma significativa al servei donat o bé fer que una determinada instal·lació o projecte es consideri inadequat.

Lluny de considerar les instal·lacions de forma estàtica, cal tenir en compte aquelles condicions en les que es troben. Així, tot i tenir una via útil molt elevada entre 20 i 30 anys, com en tots els camps tecnològics, les instal·lacions d'enllumenat també es queden obsoletes ja que en sorgeixen de més eficients, menys contaminants o bé les condicions de l'entorn les malmeten.

Per això és rellevant considerar l'estat de funcionament de les instal·lacions des del moment en que passen a gestionar-se de forma externalitzada, quelcom que ha de ser considerat en l'auditoria prèvia a qualsevol canvi en la gestió de les mateixes.

Es defineix l'estat de funcionament d'una instal·lació com aquelles condicions inicials dels materials que componen la mateixa. Atès que en la major part dels casos es tracta d'instal·lacions ja construïdes, amb un cert temps de vida, és rellevant tenir en compte que difícilment es trobaran totes en les condicions òptimes.

Com que aquest projecte es basa en el control i avaluació de la gestió per part d'una empresa del servei d'enllumenat, cal tenir en compte l'estat inicial de les instal·lacions. Així, no té sentit realitzar un anàlisis meticulós de tots els defectes de la instal·lació sense considerar que molts dels desperfectes ja eren observables de forma prèvia a la recepció del manteniment de les mateixes. Per això, cal que el sistema de control i avaluació de la qualitat del servei d'enllumenat d'un àmbit d'estudi, analitzi els desperfectes existents en les instal·lacions tot buscant millorar el servei d'enllumenat i buscant la complicitat entre els interessos dels usuaris i els de l'empresa. A aquest efecte, no es pot pretendre

solucionar totes les problemàtiques i desperfectes de les instal·lacions ja que en molts casos no serà possible en el període inicial del contracte.

Per els motius expressats anteriorment, es considera que els esforços a la millora de les instal·lacions s'han de fer seguint un criteri de prioritats establert per l'ajuntament però que hauria d'anar enfocat a garantir la seguretat i el servei de les instal·lacions allà on estiguin més deteriorades a més de proporcionar-lo en aquells indrets on sigui necessari.

Si es considera l'estat de funcionament de les instal·lacions, serà rellevant tenir en compte diversos aspectes que es detallen en els apartats posteriors.

3.1. Làmpades

3.1.1. Tipus de làmpades

En aquest apartat s'exposen els diferents tipus de punts de llum i les seves característiques principals. No s'inclouen les làmpades incandescents donat que el seu ús és casi nul en l'enllumenat exterior.

El punt sobre l'afectació mediambiental es mesura a partir de la longitud d'ona. Les radiacions en les longituds d'ona més curtes (sobretot per sota dels 440nm) son les més nocives pel que respecte a contaminació lumínica, donat que es dispersen més en l'atmosfera, afecten als essers vius de manera més notòria que les ondes de longituds més llargues.

Làmpada	Tonalitat de la llum	IRC	Eficàcia energètica	Grau d'utilització	Vida útil	Afectació mediambiental
Vapor de sodi a alta pressió	groguenca	25	Elevada. 100lm/W	Molt utilitzades, la tendència és substituir a les de vapor de mercuri	Llarga, 14.000 hores	Baixa. Ja que té baixa component de radiació inferior als 440nm.

Vapor de sodi a baixa pressió	groguenca	0	Molt elevada. 180lm/W	Alt. Només en zones on la reproducció del color no sigui important	Llarga, 16.000 hores	Baixa. Poca emissió per sota dels 440nm.
Halogenurs metàl·lics	blanca	90lm/W	60-90	Alt. On es desitja una reproducció fidel dels colors	Llarga, 9.000 hores	Alta. Elevada emissió per sota del 440nm
Vapor de mercuri	Blanc-blavós	Baixa. Menor a 65lm/W (mínim admès)	40	En extinció	Molt llarga. 25.000 hores	Alta. Elevada emissió per sota del 440nm
Fluorescència	blanca	Alta. Sobre els 80lm/W	80	Utilitzades en zones on es necessari una elevada reproducció del clor i baixos nivells d'il·luminació	Llarga. 8.000-10.000 hores	Baixa. Poca emissió per sota dels 440nm.
Inducció	blanca	Moderada. 60-70lm/W	80	Utilitzades en zones on es necessari una elevada reproducció del color i baixos nivells d'il·luminació	Molt elevada 60.000 hores	Mitja. Considerable emissió per sota dels 440nm

LED	Multicolor	Molt variada. 10 - 90 lm/W	90	Poc implementat. Ús en creixement	Molt elevada. 50.000 hores	Varia en funció de les característiques del LED escollit
------------	------------	----------------------------------	----	--------------------------------------	----------------------------------	--

3.1.2. Vida de les làmpades

Com ja s'ha esmentat amb anterioritat, la vida útil de les instal·lacions d'enllumenat és d'entre 20 i 30 anys, aquesta variabilitat ve donada pel manteniment que s'apliqui a més de l'entorn en els que es trobin les instal·lacions. Caldrà considerar en el moment de gestionar les instal·lacions que aquelles que estiguin més obsoletes requeriran de noves inversions que garanteixin la seguretat elèctrica i mecànica així com augmentin l'eficiència energètica de les mateixes. Per altra banda, no es pot descartar l'oportunitat d'aprofitar aquells elements que encara no estiguin al final del seu cicle de vida com pot ser l'actualització de llumeneres sense canviar els suports, l'aprofitament de làmpades al renovar les instal·lacions o bé l'aprofitament de llumeneres en un canvi de suports.

Vida de les làmpades:

Vida mitja: És la mitjana de la duració, en hores, de cada una de les llums d'un grup suficientment representatiu del mateix model i tipus. Es el període corresponent a la mortaldat del 50% de les llums d'un lot del mateix model i tipus.

Vida útil: Número d'hores en que el flux lumínic d'una determinada instal·lació d'enllumenat ha disminuït a un valor en el que la llum ja no és rentable, encara que estigui en condicions de seguir funcionant. Normalment equival a un descens del 70% del flux inicial.

3.2. Luminàries

Segons la Norma UNE-EN 60598-1, es defineix lluminària com aparell d'enllumenat que reparteix, filtra o transforma la llum emesa per una o diverses llums i que comprèn tots els dispositius necessaris per al suport, la fixació i la protecció de làmpades, (excloent les pròpies llums) i, en cas necessari, els circuits auxiliars en combinació amb els mitjans de connexió amb la xarxa d'alimentació. De manera general consta dels següents elements:

- **Armadura o carcassa:** És l'element físic mínim que serveix de suport i delimita el volum de la lluminària contenint tots els seus elements.
- **Equip elèctric:** Seria l'adequat als diferents tipus de fonts de llum artificial (halògenes, fluorescents, de descàrrega..)
- **Reflectors:** Són determinades superfícies a l'interior de la lluminària que modelen la forma i direcció del flux del llum.
- **Difusors:** Element de tancament o recobriment de la llum en la direcció de la radiació lluminosa.
- **Filtres:** En possible combinació amb els difusors serveixen per potenciar o mitigar determinades característiques de la radiació lluminosa.


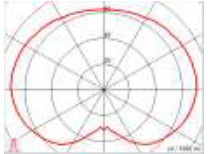

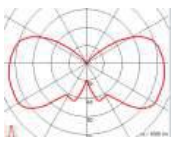

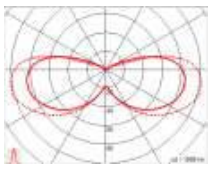

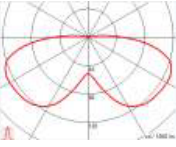

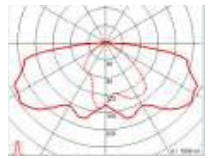

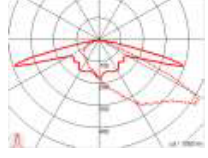
A nivell d'òptica, la lluminària és responsable del control i la distribució de la llum emesa per la làmpada. És important, doncs, que en el disseny del seu sistema òptic es cuidi la forma i distribució de la llum, el rendiment del conjunt làmpada-lluminària i l'enlluernament que pugui provocar en els usuaris. Altres requisits que ha de complir les lluminàries és que siguin de fàcil instal·lació i manteniment. Per a això, els materials emprats en la seva construcció han de ser els adequats per resistir l'ambient en què hagi de treballar la lluminària i mantenir la temperatura del llum dins dels límits de funcionament. Tot això sense perdre de vista aspectes no menys importants com l'economia o l'estètica.

En relació amb l'estètica cal tenir en compte que les instal·lacions d'enllumenat es troben a la via pública i aquesta està subjecte a plans urbanístics, i per tant, s'han de tenir en compte les característiques estètiques dels elements d'enllumenat públic. Aquesta definició, d'acord amb el que s'estableix dins del marc de la planificació urbanística, es pot fer explícita en un Pla Director de l'enllumenat públic. Si no es disposa d'una zonificació concreta, és important valorar l'adaptació a l'entorn de les lluminàries i suports per tal de mantenir la qualitat i homogeneïtat de l'entorn urbà.

A aquest efecte, per a nuclis del casc antic de les poblacions, s'empren lluminàries d'època que presenten unes característiques determinades i no distorsionen la bellesa de l'entorn així com per a trams de carretera fora del nucli de la població es prioritza l'eficiència per a transmetre la llum de les diferents lluminàries. Independentment de les característiques estètiques de cada un dels dos casos, sempre es valorarà la incidència sobre l'entorn de la lluminària així com es prioritzaran les tecnologies més eficients.

Entre les característiques més importants d'una lluminària és troba; la seva fotometria, que es la representació de com extreu el flux lumínic, tant en intensitat com en direcció; el rendiment, que és la fracció de llum que surt de la lluminària respecte la que surt de la làmpada, i per últim, el Flux Hemisfèric Superior (FHS), el qual indica el percentatge de llum que emet la lluminària per sobre de l'eix horitzontal.

A continuació es pot veure les característiques de diferents tipus de lluminàries.

	Descripció	Imatge	Rendiment	FHS (flux hemisfèric superior)	Fotometria
A	Esfèrica sense protecció		80%	50 %	
B	Esfèrica una mínima protecció		60%	40 %	
C	Ornamentals		60%	35 %	
D	Làmpades de carrer sense difusors		70%	10 %	
E	Làmpades amb lent tipus gota per carretera		70%	5 %	
F	Làmpades amb lent planta per carretera		80%	1 %	

3.3. Quadre de maniobra

Les lluminàries estan agrupades per circuits, i a la vegada aquests circuits estan agrupats pel anomenats quadres de maniobra.

Un quadre de maniobra no és res més que l'escomesa elèctrica de la zona. Aquesta agrupa els circuits així com també els elements de seguretat d'aquests. És a dir, dintre del quadre de maniobra trobarem els magnetotèrmics de cada circuit, els quals protegeixen de possibles curtcircuits i els interruptors diferencials els quals tenen la funció de desconnectar el circuit que protegeixen en el moment en el que existeixi una fuga a terra. Per tant, els quadres de maniobra són elements indispensables per al que fa a la seguretat.

El segon mecanisme que ajudarà als quadres de maniobra en la tasca de garantir la seguretat de les instal·lacions són les inspeccions de seguretat obligatòries realitzades per les Entitats d'Inspecció i Control. En aquestes inspeccions es determinen els defectes i deficiències de les instal·lacions. Aquests es poden classificar com a lleus, greus i molt greus. Cal considerar la informació provinent d'aquestes inspeccions per tal de tenir un coneixement de l'estat de les instal·lacions així com prioritzar aquelles accions urgents de les que siguin necessàries.

Una inspecció realitzada per un Organisme de Control té la finalitat d'assegurar en la mesura del possible, el compliment del reglament al llarg de la vida útil de l'instal·lació.

Les inspeccions poden ser: inicials o periòdiques. Les inicials són aquelles que es duen a terme abans de la posta en servei de la instal·lació, mentre que les periòdiques són aquelles que es realitzen 5 anys després de la primera inspecció inicial. Per enllumenat exterior el reglament de baixa tensió obliga a realitzar una inspecció inicial sempre que la potencia instal·lada sigui superior a 5kW.

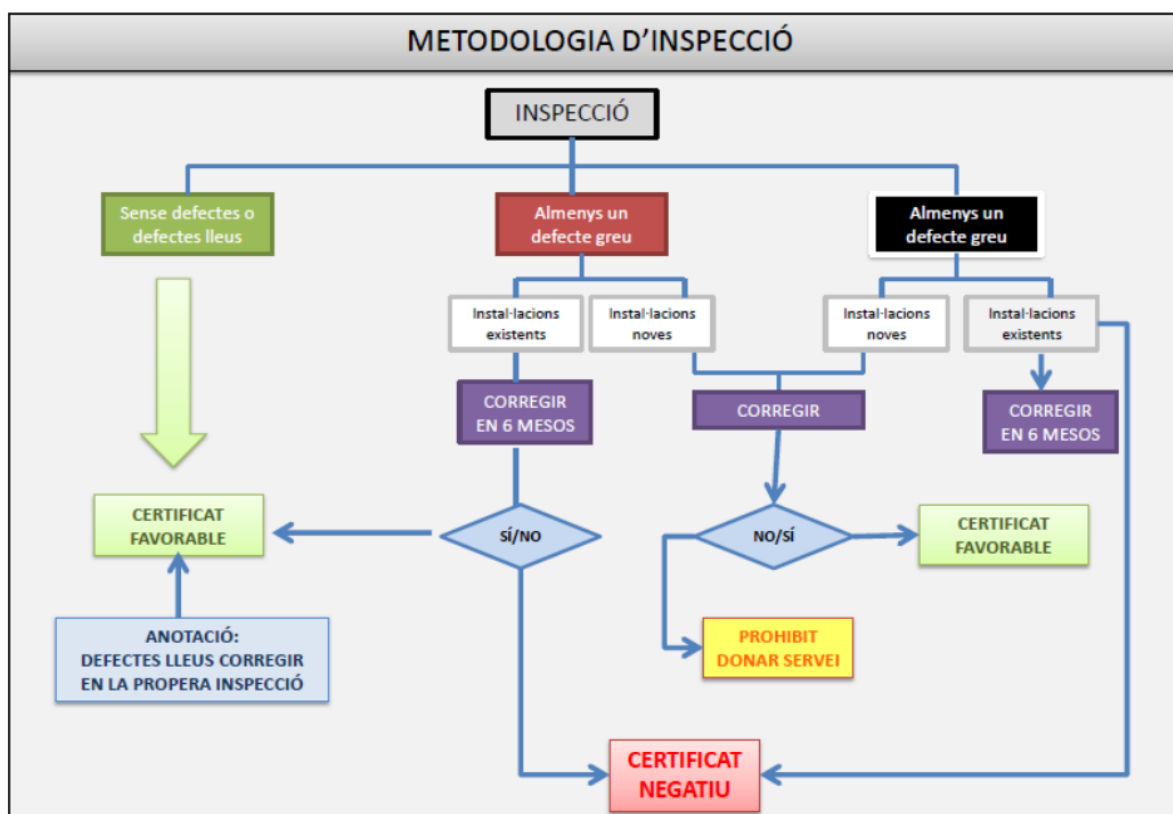
Com a resultat de la inspecció realitzada a carrer, s'emet un certificat on consta les dades d'identificació de l'instal·lació, i la possible relació de defectes. A partir dels defectes trobats un certificat es pot classificar de la següent manera:

- **Favorable:** Quan no es detectin defectes greus o molt greus.
- **Condicionada:** Quan es detecti almenys un defecte greu o lleu. En instal·lacions noves, no es podrà posar en servei la instal·lació mentre no es reparin els defectes, descrits en el certificat d'inspecció. En instal·lacions existents es fixa un termini de 6 mesos per reparar les anomalies. Un cop transcorregut aquest temps, si encara no s'han solucionat els defectes, el certificat passarà a obtenir una qualificació negativa.
- **Negativa:** Quan es detecti almenys un defecte molt greu.

En instal·lacions noves, no es podrà posar en servei la instal·lació mentre no es reparin els defectes i s'obtingui una qualificació favorable. En instal·lacions existents el certificat negatiu es remetrà directament als serveis competents de la comunitat autònoma.

Els defectes es classifiquen en:

- **Molt greus:** Tots aquells que la raó o la experiència determina constitueix un risc immediat per la seguretat de les persones o els bens.
- **Greus:** És aquell que no suposa un risc immediat per la seguretat de les persones o dels bens, però pot ser-ho al originar-se una fallada en d'instal·lació. Així com també, aquells defectes que pugui reduir de manera substancial la capacitat de l' instal·lació elèctrica.
- **Lleus:** Es tot aquell que no suposa un perill per les persones i els béns, no pertorba el funcionament de la instal·lació.



3.4. Funcionament: horaris, apagades i reduccions

Per a un bon disseny luminotècnic, s'ha de tenir en compte que s'ha de garantir sempre el servei lumínic, per això s'estudien les situacions més desfavorables. En el cas d'exterior s'estudia la situació de màxima activitat prevista per la zona a il·luminar.

Tot i així les necessitats no són sempre les mateixes al llarg d'un cicle de funcionament, per tant, cal estudiar quins són els nivells necessaris per cada període. Si es duu a terme una bona gestió dels nivells d'il·luminació s'aconsegueix disminuir l'afectació de la contaminació lumínica y reduir el consum energètic just al necessari per a la activitat requerida en cada moment.

Encesa i apagat:

Per aconseguir satisfer les necessitats visuals d'una zona determinada s'han d'instal·lar elements d'encesa i apagada (manuals o automàtics) capaços de sincronitzar el funcionament de la il·luminació amb els períodes reals de desenvolupament de la activitat.

Hi ha de diferents tipus:

- **Interruptors:** Dispositius que tenen com a objectiu obrir o tancar un circuit. Depenen de la voluntat de la persona. No recomanats ni permesos per la normativa per a noves instal·lacions.
- **Rellotges:** S'accionen automàticament a una hora determinada del dia. No recomanats ni permesos per la normativa per a instal·lacions noves per la seva falta d'adequació a les variacions de sortida i posta de sol durant l'any.
- **Rellotges astronòmics:** S'accionen a la hora a la que es posa i surt el sol. Són programables i s'ha d'especificar l'ubicació geogràfica de la instal·lació i la data de l'any, per tal d'ajustar-ho a la realitat. És el mètode més recomanat per al ús generalitzat.
- **Cèl·lula fotoelèctrica:** S'activa o desactiva en funció de l'aportació de llum natural. Aquest últim sistema és conceptualment més fiable, però requereix un manteniment més freqüent per garantir les condicions de funcionament (s'ha d'evitar l'embrutiment i l'envelliment dels materials, controlar la no obstaculització de l'arbrat...). El sistema només permetre l'encesa i apagat de d'instal·lació, però no la seva regulació.
- **Telegestió:** Sistema òptim ja que combina diferents tecnologies i proporciona una operativa més adequada a les necessitats. És important entendre'l per que el cas

pràctic a estudiar, l'enllumenat públic de Deltebre, compta amb un d'aquests sistemes de control i és i és sistema de gestió més útil que hi ha.

Regulació:

De la manera que les necessitats lumíniques entre diferents zones són diferents, també ho són en una mateixa zona, depenen del moment. Per exemple, la intensitat lumínica que és necessita per il·luminar un carrer comercial durant la tarda, no és la mateixa que la que necessita aquest mateix carrer durant la matinada.

Per aquest motiu una bona instal·lació es dissenya de tal manera que aquesta es pugui regular, és a dir, capaç d'adaptar-se a les necessitat lumíniques de cada un dels seus diferents períodes.

Algunes de les tecnologies que ho permet són les següents:

- **Apagada alternativa:** Apagada d'alguna de les llums, de manera no consecutiva; per exemple, una sí i una no. D'aquesta manera es redueix la intensitat i l'energia de consumida per d'instal·lació durant aquells períodes on la necessitat de llum és més baixa. Aquest sistema no està permès si provoca una reducció de la uniformitat de l'instal·lació.
- **Regulador de capçalera:** La regulació s'obté per limitació de la tensió d'alimentació o freqüència i/o forma d'ona d'alimentació de les lluminàries, així com de la sortida del flux lluminós.
- **Regulació mitjançant els equips auxiliars i fil conductor:** La regulació la fa un equip auxiliar, però aquest necessita d'un o varis fils que transportin la informació del moment en que s'ha de fer la regulació. Els sistemes auxiliars autoregulables es basen en reactàncies electròniques o mixtes que són autoprogramables i es regulen en funció d'un algoritme matemàtic del temps d'encesa i apagada.
- **Sistemes de telegestió:** La telegestió és un sistema que combina diferents tecnologies i proporciona una operativa més adequada a les necessitats. La telegestió permet la monitorització i la programació de encesa/apagada dels quadres elèctrics.

La telegestió permet:

- Detecció a temps real d'anomalies relacionades amb la qualitat del servei (apagades generals, fallades d'alguna làmpada en particular...) o relacionades amb el consum (connexions a la xarxa de manera il·legal...)

- Capacitat de programació d'un sistema d'estalvi.
- Monitorització de diferents paràmetres elèctrics importants de l'enllumenat públic.

S'ha annexionat un exemple real de sistema de telegestió, per si es vol consultar més detalladament les seves característiques. És l'Annex C. *Sistema de telegestió. CIMELUX.*

4. Mesura de la qualitat del servei de l'enllumenat públic

4.1. El servei lumínic

El servei lumínic es basa en la qualitat i quantitat de la llum que l'usuari necessita per desenvolupar la seva tasca en unes condicions de seguretat i qualitat. La quantitat de llum està formada per un conjunt de variables que són les que més àmpliament es relacionen amb el consum energètic. Aquestes són les que més se sol considerar a l'hora de realitzar projectes luminotècnics, però com es veurà amb posterioritat, no són les úniques que cal valorar.

4.1.1. Variables de la quantitat de llum

La quantitat de llum ve representada pel nivell lumínic que l'usuari necessita per desenvolupar la seva tasca en unes condicions de seguretat i qualitat. Cal tenir en compte que el conjunt de variables de quantitat es veuen àmpliament afectades per les condicions de les instal·lacions (embrutiment, depreciació, estat de les llumeneres i suports, etc.) i que varien amb el temps. Les variables en quant a quantitat que es consideren són:

- **La luminància (L):** És l'excitació de l'ull humà a través de la incidència d'una intensitat lluminosa per unitat de superfície. Es calcula en candelas per metre quadrat = cd/m^2 .
- **La il·luminància o nivell d'il·luminació (E).** És la quantitat de flux lumínic que recau sobre una superfície. Les unitats en les que es calcula és el lux = lumen/m^2 .

4.1.2. Variables de la qualitat

La qualitat, a diferència de la quantitat de llum, no té un factor que expressi el conjunt de condicions que es donen, sinó que es dedueix de l'observació de diferents variables. Cal tenir en compte que una instal·lació amb uns nivells adequats, pot donar un servei lumínic inadequat si les variables qualitatives no es troben dins d'unes toleràncies admissibles. Es determina, per tant, que és el resultat d'un conjunt de variables lumíniques amb magnituds associades on cada variable independent pot afectar de forma significativa a la qualitat conjunta del servei lumínic.

1. Uniformitat: La uniformitat és la relació de nivells lumínics que es dona sobre una superfície. Serà, per tant, el gradient de les variables quantitatives expressada en forma de diferència percentual. Es pot distingir entre:

- **Uniformitat mitja (U_m).** És la relació entre la il·luminància mínima i la mitja d'una instal·lació.

$$U_m = \frac{E_{min}}{E_{med}}$$

- **Uniformitat extrema (U_e).** És una relació entre el nivell d'il·luminació mínim i el màxim.

$$U_e = \frac{E_{min}}{E_{max}}$$

- **Uniformitat vertical (U_v).** Aquesta és la relació entre la luminància mínima i màxima al llarg de l'eix vertical a una instal·lació. És important quan es precisi important el reconeixement facial de vianants.

$$U_v = \frac{L_{min_vert}}{L_{max_vert}}$$

- **Uniformitat longitudinal (U_L).** És la relació entre la luminància mínima i la màxima al llarg de l'eix longitudinal d'una instal·lació.

$$U_L = \frac{L_{min_long}}{L_{max_long}}$$

- **Uniformitat global (U_o).** És la relació entre la luminància mínima i mitja d'una instal·lació.

$$U_o = \frac{L_{min}}{L_{med}}$$

Segons el tipus de via que s'estudiï, el Real Decret 1890/2008 marca uns valors d'uniformitat mitja (U_m) i uns valors d'uniformitat longitudinal (U_L) que s'han de garantir.

El criteri principal de classificació de les vies és la velocitat de circulació, segons s'estableix en la següent taula del "Real Decreto 1890/2007 ITC-EA-02: Mediciones luminotécnicas en las instalaciones de alumbrado".

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	$v \leq 5$

4.1 Taula Classificació de les vies. Font: RD1890/2007 ITC-EA-02, apartat 2: Enllumenat vial

Mitjançant altres criteris com el tipus de via o la intensitat mitja de tràfic diari (IMD) s'estableixen subgrups dintre de la classificació anterior.

A cadascun d'aquests subgrups se li assigna una classe d'enllumenat (S2, S2, CE1A, ME4b...) al qual li corresponen uns valors de luminància mitja, de uniformitat global, uniformitat longitudinal, d'increment Umbral i de relació entorn (SR).

Per exemple, per a vials secs del tipus A i B, la següent taula mostra els valors d'uniformitat que s'han de complir.

Clase de Alumbrado	Luminancia de la superficie de la calzada en condiciones secas			Deslumbramiento Perturbador	Iluminación de alrededores
	Luminancia ⁽⁴⁾ Media L_m (cd/m ²) ⁽¹⁾	Uniformidad Global U_o [mínima]	Uniformidad Longitudinal U_l [mínima]	Incremento Umbral TI (%) ⁽²⁾ [máximo]	Relación Entorno SR ⁽³⁾ [mínima]
ME1	2,00	0,40	0,70	10	0,50
ME2	1,50	0,40	0,70	10	0,50
ME3a	1,00	0,40	0,70	15	0,50
ME3b	1,00	0,40	0,60	15	0,50
ME3c	1,00	0,40	0,50	15	0,50
ME4a	0,75	0,40	0,60	15	0,50
ME4b	0,75	0,40	0,50	15	0,50
ME5	0,50	0,35	0,40	15	0,50
ME6	0,30	0,35	0,40	15	Sin requisitos

⁽¹⁾ Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado, a excepción de (TI), que son valores máximos iniciales. 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⁾ Cuando se utilicen fuentes de luz de baja luminancia (lámparas fluorescentes y de vapor de sodio a baja presión), puede permitirse un aumento de 5% del incremento umbral (TI).

⁽³⁾ La relación entorno SR debe aplicarse en aquellas vías de tráfico rodado donde no existan otras áreas contiguas a la calzada que tengan sus propios requisitos. La anchura de las bandas adyacentes para la relación entorno SR será igual como mínimo a la de un carril de tráfico, recomendándose a ser posible 5 m de anchura.

⁽⁴⁾ Los valores de luminancia dados pueden convertirse en valores de iluminación, multiplicando los primeros por el coeficiente R (según C.I.E.) del pavimento utilizado, tomando un valor de 15 cuando éste no se conozca.

4.2 Sèries ME de classe d'enllumenat per vials secs de tipus A i B. Font: RD1890/2007 ITC-EA-02, apartat 2: Enllumenat vial

Al RD 1890/2007 ITC-EA-02 es troben un seguit de taules que mostren de manera anàloga a com ho fa la taula anterior els valors a complir per el conjunt de tots els tipus d'enllumenat.

Els valors de luminància que apareixen a les taules són els mínims a complir, però tampoc es pot sobredimensionar la instal·lació perquè afectaria negativament a altres factors de manera innecessària, com pot ser el consum energètic o la contaminació lumínica. El RD1890/2008 marca que com a màxim els valors de luminància poden valdre un 20% més del valor estipulat a les taules per cada cas. Els valors de luminància es poden convertir en valors d'il·luminància, multiplicant els primers per el coeficient R del paviment utilitzat es pot agafar un valor de 15 en cas de que es desconeixi.

Per garantir aquests valors mínims s'haurà de prendre mesura de la il·luminància mínima i mitja de la instal·lació.

L'aparell que permet mesurar la il·luminància és el luxòmetre.

El luxòmetre és un instrument que permet mesurar simple i ràpidament la il·luminància real d'un ambient. La unitat de mesura és el lux (lx). Aquests aparells contenen una cèl·lula fotoelèctrica que capta la llum i la converteix en impulsos elèctric, els qual són interpretats i representats en un display o en una agulla amb la corresponent escala.

Segons el RD1890/2007 ITC-EA-07 el luxòmetre utilitzat ha de complir amb un seguit d'exigències:

- Haurà de tenir un rang de mesura adequat, d'acord amb els nivells a mesurar i a d'estar calibrat per un laboratori acreditat.
- Haurà de disposar de correcció del cosinus fins a un angle de 85º.
- Tindrà correcció cromàtica, segons CIE 69:1987 d'acord amb la distribució espectral de les fonts lluminoses empleades y la seva resposta s'ajustarà a la corba mitja de sensibilitat V.
- El coeficient d'error per temperatura haurà d'estar especificat per a marges de temperatures de funcionament previstes durant l'ús.
- La fotocèl·lula del luxòmetre estarà muntada sobre un sistema que permeti que aquesta es mantingui horitzontal en qualsevol punt de mesura.

Les mesures realitzades amb el luxòmetre s'han de fer sobre la capa de rodament de la calçada, en els punts determinats en la retícula de càlcul del projecte. Totes les lluminàries que intervinguin en la mesura i formin part de la instal·lació d'enllumenat hauran d'estar lliures d'obstacles i podran veure's des de la fotocèl·lula.

Els procediments per calcular la il·luminància mínima i mitja i la uniformitat mitja s'expliquen en el apartat de metodologia d'anàlisi.

2. Enlluernament: L'enlluernament, des del punt de vista físic, és una pèrdua o disminució de la capacitat visual deguda per l'excés de luminància de l'objecte que s'observa o que incideix directament des de l'ull. L'enlluernament és un fenomen que pertorba la visió dels objectes sense ser necessàriament molest. Poden produir-se enlluernaments de dos maneres diferents. Una primera manera seria per observació directa de les fonts de llum, per exemple mirar directament a la lluminària. I la segona és per observació indirecta o reflectida, és a dir, quan observem la llum reflectida en alguna superfície (un mirall, a l'aigua...) Segons el tipus d'enlluernament, es realitza la següent classificació:

- **Enlluernament molest.** El produeixen les fonts de llum situades al camp de visió, la causa sol ser que són massa intenses i això provoca fatiga visual i una sensació desagradable encara que sense causar necessàriament una disminució de la capacitat visual.

Per calcular l'enlluernament molest en vies de vianants és fa servir la fórmula:

$$D=I \cdot A^{-0.5}$$

On:

I= Valor màxim de la intensitat lluminosa (Cd) en qualsevol direcció que formi 85º amb la vertical.

A=Àrea aparent (m²) de les parts lluminoses de la lluminària en un pla perpendicular a la direcció de la intensitat lluminosa (I).

Per calcular l'enlluernament molest en grans zones (com carreteres, pàrquings, etc) és fa servir un altra fórmula, que és la següent:

$$G=ISL+0.97\log L_{mitja}+4.41\log h-1.46\log P$$

On:

G= Grau de confortabilitat de la instal·lació.

ISL= Índex específic del aparell

L_{mitja} = Luminància mitja del sector

H= Altura dels centres lluminosos respecte els ulls del observador suposadament a 1,5 metres per sobre el terra.

P= Número de centres lluminosos per Km.

Índex G	Grau de conformitat
1	insuportable
3	Molest
5	Admissible
7	satisfactori
9	Inapreciable

4.3 Grau de conformitat Font:
http://recursos.citcea.upc.edu/llum/exterior/vias_p.html

- **Enlluernament pertorbador:** Produeix una pèrdua de visió que no és necessàriament molesta i que està produïda per les fonts de llum situades al camp de visió de l'usuari de la via. Al incidir directament la llum sobre la retina, apareix un vel lumínic que provoca una disminució de la capacitat visual de contrast que pot arribar a eliminar les propietats visuals d'una persona. Aquesta visió borrosa i sense nitidesa desapareix al cessar la causa. Un exemple d'aquest tipus d'enlluernament es quan conduït de nit es creua un cotxe amb les llums llargues. Per quantificar aquesta pèrdua de visió produïda per l'enlluernament, es realitza el càlcul del increment llindar (TI en %). Aquest paràmetre determina la quantitat extra de contrast que cal per tornar a veure un objecte que no es veu a causa de l'enlluernament respecte al contrast original, en definitiva, és la mesura per la que s'expressa la pèrdua de la perceptibilitat causada per l'enlluernament pertorbador. Per a determinar aquesta variable es determina una luminància de vel (L_v) causada per la incidència de la llum emesa per la lluminària sobre l'ull de l'observador en el pla perpendicular a la línia de visió. Aquesta luminància de vel depèn de l'estat fisiològic de l'ull

de l'observador així com l'angle en graus comprès entre el centre d'emissió de la font de llum i la línia de visió.

La seva fórmula del increment llindar TI (en %) per a luminàncies mitges a la superfície de la calçada entre 0,05 i 5 cd/m² és la següent:

$$TI=65 \frac{L_v}{L_m^{0.8}}$$

On:

TI: Increment llindar

L_v: luminància de vel total (cd/m²)

L_m: luminància mitja de la calçada (cd/m²)

Per un altra banda, la luminància de vel, es calcula amb la fórmula:

$$L_v=10 \cdot \sum \left(\frac{E_g}{\theta^2} \right)$$

On:

E_g: Il·luminància produïda en el ull en un pla perpendicular a la línia de visió (lux)

θ: Angle entre la direcció d'incidència de la llum en l'ull i la direcció d'observació (graus).

El sumatori és per a totes les lluminàries de la instal·lació.

Es considera que contribueixen al enlluernament pertorbador totes les lluminàries que es trobin a menys de 500m de distància del observador.

Per al càlcul de la luminància de vel per cada filera de lluminàries, es comença per la més propera, allunyant-se progressivament i acumulant les luminàncies de vel produïdes per cada una d'elles, fins que la seva contribució individual sigui inferior a un 2% de la acumulada, o fins arribar a la lluminària situada a més de 500m del observador. Finalment s'hauran de sumar totes les luminàncies de vel de totes les fileres de lluminàries.

Donada la complexitat dels càlculs i per falta d'eines en el pràctica, realitzar la mesura de l'enlluernament segons marca el RD1890/2008 ITC-EA-07 és pràcticament impossible, per lo que s'ha decidit que no l'enlluernament no es tindrà en compte com a variable de la qualitat del servei lumínic.

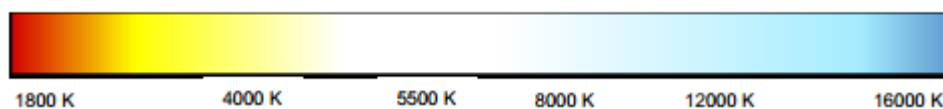
3. Color: Una altre variable incident en la qualitat de la il·luminació és el color de la llum. Aquesta condició ve determinada per la forma de emetre l'energia lumínica per part de les làmpades. Aquest color definirà algunes de les propietats visuals que es donin, com pot ser la reproducció dels colors. Es pot valorar en base a diferents factors:

- **El to de la làmpada:** Es refereix al color bàsic de la llum emesa per la làmpada. A partir del to de la làmpada es pot determinar l'emissió espectral (longituds d'ona) de la llum.
- **L'índex de reproducció cromàtica (IRC o Ra):** És una mesura de la capacitat d'una font lluminosa per reproduir fidelment el color dels objectes en comparació amb una font de llum natural o ideal. La seva qualitat reproductora no només depèn de la tonalitat, ja que la variable fonamental més important és la seva composició espectral. Es valora de 0 a 100 en ordre decreixent de la qualitat de reproducció. Es determina a partir del tipus de làmpada instal·lat i influirà en la capacitat per al reconeixement de colors de l'observador. El índex de reproducció cromàtica es divideix en els següents grups:

Grau	Índex IRC	Nivell de reproducció
1A	90 a 100	Excel·lent
2B	80 a 89	Molt bo
2A	70 a 79	Bo
2B	60 a 69	Moderat
3	40 a 59	Regular
4	Inferior a 40	Baix

4.4 Nivells de reproducció. Font: grlum.dpe.upc.edu/manual/

- **La temperatura de color:** Relaciona la llum emesa per la font amb la emesa per un "cos negre" a la mateixa temperatura. Es quantifica a través de la temperatura absoluta del cos negre que emetria una llum de la mateixa aparença. S'expressa en graus Kelvin (K).



4.5 Escala de temperatura de color. Font: WIKIPEDIA

- 1700K: Llum de llumí
- 1850K: Llum d'espelma
- 2800K: Llum incandescent o de tungstè
- 5500K: Llum de dia, flash electrònic
- 5770K: Temperatura de color de la llum del sol pura
- 6420K: Làmpada de Xenó
- 9300K: pantalla de televisió convencional
- 28000-30000K: llampec

En realitat, la temperatura de color només té sentit en zones de color properes al blanc, i indica (ja que aquest és un color compost) si les proporcions de vermell o de blau en la mescla són més o menys importants. La temperatura de color està relacionada amb el to de la làmpada, és a dir, amb l'aparença psicològica" lligada a la percepció de la llum. Es distingeixen entre llums càlides, intermèdies o neutres i les fredes.

Color de la llum	Temperatura de color	Ambient produït
Blanc vermellós	<3.3300 °K	Càlid
Blanc	3.300 a 5.000 °K	Neutre
Blanc blavós	>5.000 °K	Fred

4.6 Color de la llum. Font: grlum.dpe.upc.edu/manual/

Alguns dels valors representatius de les variables del color de determinats fenòmens meteorològics i tipus de làmpades es poden observar a continuació:

Font lluminosa	Temperatura de color (K)	IRC
Cel blau	10.000 a 30.000	85 a 100
Cel ennuvolat	7.000	85 a 100
Làmpada de descàrrega de sodi	2.900	Menys de 40
Làmpada incandescent normal	2.400 a 2.900	100
Làmpada incandescent halògena	3.100 a 3.200	100
Fluorescents	2.700 a 7.200	50 a 95
Vapor de mercuri a alta pressió	4.000 a 6.000	70 a 90
Flama d'espelma	1.800	46 a 69

Així doncs, una de les variables que afectarà a l'hora de jutjar el servei lumínic serà el color de la llum, més concretament l'índex de reproducció cromàtica (IRC), ja que és el que indicarà com de bona o dolenta és la reproducció dels colors si es compara amb la que oferiria la llum del sol.

Cada tipus de làmpada té un IRC diferent, per tant, la manera més fàcil de veure com s'estan reproduint els colors en una determinada zona es sabent qui tipus de làmpades hi ha instal·lades, i avaluar si són els adequades o no per a aquell tipus de via.

La fidelitat amb la que un llum reproduceix els colors no té sempre la mateixa importància, així doncs, en zones més industrials i sense tràfic de gent (vies A1 , A2, A3... segons RD 1890/2007) la importància en la qualitat de reproducció del color és mínima, i conforme les vies tenen menys tràfic, els vehicles circulen amb menys velocitat i es fan més pròximes a nuclis urbans, la importància en el índex de reproducció cromàtica va augmentant.

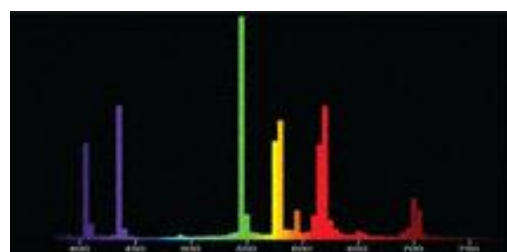
4.1.3. Variables de les fonts de llum

Les fonts de llum són els elements que transformen l'energia primària (normalment elèctrica) en lumínica. S'introdueixen dins de les lluminàries per a que el seu flux lumínic es distribueixi de forma més adequada possible. Les seves característiques més importants són:

- **Flux lumínic (Φ):** És la potència emesa per la làmpada en forma de radiació lluminosa la que el ull humà és sensible. Indica, per tant, la quantitat de llum que pot proporcionar-nos per unitat de temps. S'expressa en lumen [lm].
- **Espectre de emissió:** Mostra l'energia radiada per la làmpada. Normalment, es mostra n valors energètics en un eix Y segons la longitud d'ona en la que s'emeta (eix X). Algunes làmpades presenten espectres continus, és a dir, emeten llum en totes les freqüències del espectre visible; mentre que d'altres tenen un espectre discontinu ja que només emeten radiació en algunes freqüències, encara que això no impedeix, si estan ben equilibrades, que la llum resultant sigui blanca.

Per a que les làmpades, com a transformadores d'energia, poguessin treballar en un alt rendiment, quasi tota l'energia absorbida haurà de ser transformada en radiació visible. Per un altre part, la seva llum hauria de ser blanca, com la del dia, i amb bona reproducció cromàtica, el que exigeix un espectre continu que contingui tots els colors principals. Però com la sensibilitat de l'ull és màxima per la radiació grogenca-verdosa, el més favorable per al rendiment lumínic és obtenir el percentatge major de radiació en la zona del 555nm.

Les radiacions en les longituds d'ona més curta (sobretot per sota dels 440nm) són les més nocives respecte a la contaminació lumínica, ja que es dispersen més a l'atmosfera i afecten més a els éssers vius.



4.8 Espectre d'emissió d'una làmpada incandescent i d'una de vapor de mercuri. Font: grlum.dpe.upc.edu/manual/

- **Eficàcia lluminosa:** És la relació entre el flux emès per la làmpada i la potència elèctrica que necessita per fer-ho. S'expressa en lm/W.

$$\text{Eficàcia} = \frac{\text{Flux emes per la làmpada [lm]}}{\text{Potència Elèctrica consumida per la làmpada [W]}}$$

El màxim rendiment que es pot aconseguir en el cas més favorable (màxim teòric) és de 683lm/W. En l'enllumenat exterior 65lm/W és el valor llindar acceptable encara que és altament recomanable supera els 90lm/W.

4.1.4. Metodologia d'anàlisi de la qualitat del servei

Existeixen diferents metodologies per a realitzar l'estudi sobre il·luminància i uniformitat mitja d'una àrea:

- Mesures puntuals en una zona específica que és extrapolable a la totalitat de la zona d'estudi. Un dels mètodes més utilitzats és el mètode dels nou punts, explicat a la ITC-EA - 07 del RD1890/208.
- Mesures mitjançant càmeres fotogràfiques o luminancímetre per a poder extreure la luminància de varis punts i/o superfícies.
- Recorregut en vehicle a motor de les zones d'estudi, obtenint així un registre de nivells lumínics a través de la recepció del flux lumínic mitjançant uns sensors que estan instal·lats al sostre del vehicle.

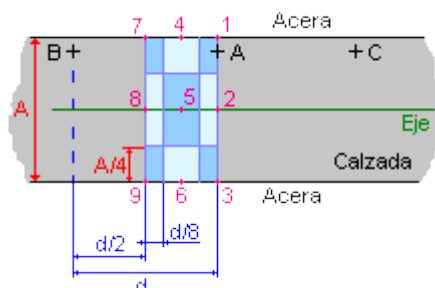
1. El mètode dels nou punts

El mètode dels nou punts és un mètode numèric, i com a tal, es basa en la idea de que no és necessari calcular la luminància en tots els punts de l'àrea per tenir una idea exacte de la distribució lluminosa, sinó que es suficient en fer els càlculs en uns quants punts representatius, anomenats nodes.

El criteri dels nou punts divideix la zona a estudiar en petites parcel·les anomenades dominis, cada una amb els seus nodes corresponents, fins a un total de 9. En aquets dominis suposarem la il·luminància uniforme. La il·luminància total es calcularà com la mitja ponderada de les il·luminàncies de cada domini.

Primer cal buscar la zona característica, que ha de ser com la representada en el esquema que es mostra a continuació. Un cop tenim la zona característica cal dividir-la en nou dominis, amb els seus 9 punts corresponents.

Gràcies a les simetries existents, només fa falta calcular les il·luminàncies en la zona senyalada. En tota al resta els valors es repetiran.



El valor de la il·luminància mitja serà:

$$E_m = \frac{E_1 * S_1 + E_2 * S_2 + \dots + E_9 * S_9}{S_1 + S_2 + \dots + S_9} = \frac{\sum_{i=1}^9 E_i * S_i}{\sum_{i=1}^9 S_i}$$

On:

$$S_1 = S_3 = S_7 = S_9 = \frac{A}{4} * \frac{d}{8} = \frac{A * d}{32} = S_1$$

$$S_2 = S_8 = \frac{A}{2} * \frac{d}{8} = \frac{A * d}{16} = 2S_1$$

$$S_4 = S_6 = \frac{A}{4} * \frac{d}{4} = \frac{A * d}{16} = 2S_1$$

$$S_5 = \frac{A}{2} * \frac{d}{4} = \frac{A * d}{8} = 4S_1$$

I per tant la fórmula anterior es pot reescriure com:

$$E_n = \frac{E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9}{16}$$

Per calcular les il·luminàncies a cada node es farà servir un luxòmetre, instrument que ja s'ha explicat en el punt 4.1.2 Variables de la qualitat

Finalment, la Uniformitat mitja (U_m) és el quocient entre el valor mínim de les il·luminàncies E_i calculades anteriorment i la il·luminància mitja (E_m).

$$U_m = \frac{E_{i \min}}{E_m}$$

2. Recorregut amb cotxe registrador de les zones d'estudi

Aquest mètode consisteix en recorre a motor les zones d'estudi obtenint un registre de nivells lumínics o registre luxomètric a través de la recepció de dades dels sensors que van instal·lats al sostre del vehicle. Aquest mètode té un error de mesura inevitable, per lo que es recomana utilitzar-lo per a decisions a gran escala, gran batudes de terreny, no pas per estudis en detall.

El cotxe porta instal·lats tres sensors luxomètrics, amb GPS integrat i alguns també porten connexió USB, juntament amb un software de gestió de la informació que permet analitzar la il·luminància mitja de les diferents zones de la instal·lació. La incorporació del GPS facilita la precisió i el sincronisme en el posicionament de les mesures de les il·luminàncies. Aquests sensors luxomètrics solen enregistrar dades cada segon.

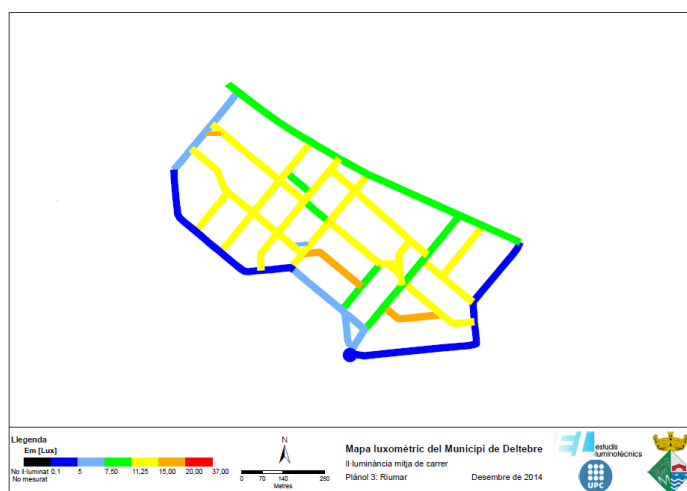
El programa de gestió volca les dades o bé en u arxiu CSV; que és un format amb les dades numèriques en forma de llistat, útil per després fer-les servir en un sistema d'informació georeferenciat (SIG), o bé, en format KMZ, que és el tipus de format que llegeix Google Earth. Aquesta segona opció de format permet veure totes les mesures en un mapa a Google Earth, el qual et presenta cada valor en el seu lloc del mapa i en forma de punt de color, segons el valor enregistrat, el punt serà d'un color o un altre, creant així una escala visual de la qualitat del servei lumínic.



4.9 Mapa de punts lumínics

Font: Informe de control de qualitat de les P2, P3 del "Contracte de subministrament i servei integral de l'Enllumenat Públic del municipi de Deltebre"

Com el que interessa es una mitja dels valors obtinguts a cada carrer i no pas tenir tots les valors registrats, com mostra Google Earth, en la pràctica s'opta per bolcar totes les dades a un programa de dades territorials (SIG) que permet fer càlculs amb els valors, i així obtenir un mapa on per a cada via s'ha calculat el seu valor mig.



4.10 Nivells lumínics per carrer Font: Informe de control de qualitat de les P2, P3 del “Contracte de subministrament i servei integral de l’Enllumenat Públic del municipi de Deltebre”

Un cop es tenen els valors de lluminància de cada carrer s’ha de consultar el Real Decret RD1890/2008 per saber si estan entre el mínim i el màxim permesos. Això permet crear un mapa on mitjançant una llegenda de colors, indiqui de manera ràpida i senzilla, quins carrers tenen un servei lumínic correcte, quins tenen una manca d’il·luminació, i quins tenen un valors per sobre dels màxims permesos, i per tant estan provocant una despesa energètica i econòmica innecessària.



4.11 Avaluació dels nivells lumínics de Jesús i Maria

Font: Informe de control de qualitat de les P2, P3 del “Contracte de subministrament i servei integral de l’Enllumenat Públic del municipi de Deltebre”

Deficiències i avantatges:

Cal tenir en compte que la metodologia de registre de dades luxomètriques a través de vehicle registrador, tot i estar àmpliament acceptada, presenta algunes peculiaritats:

Deficiències des del punt de vista teòric:

- **Mesura per sobre del nivell del terra:** Per a una bona mesura de la luminància, aquesta s'ha de mesura a la superfície del terra, en canvi, donada l'alçada del cotxe, la mesura es realitza a 1,5 metres per sobre d'aquest.
- **Periodicitat de les mesures:** Donat que les mesures es realitzen cada segon, en funció de la velocitat del vehicle s'obtenen més o menys punts.
- **Els valors d'uniformitat no són fiables:** Donada les característiques a l'hora de fer les mesures; altura del cotxe, conducció per la part dret de la via, només en una direcció... els valors d'uniformitat obtinguts a partir de les dades no es poden considerar fiables.

Avantatges pràctics:

- **Potencial de mesura:** Aquestes mancances es veuen àmpliament recompensades pel potencial de mesura de la eina, ja que en un interval molt inferior de temps es pot mesurar una extensió molt més gran.
- **Potencial de post processat de dades:** Al estar directament vinculades amb el GPS, les dades es poden tractar a través de programes de processat de dades geogràfiques (SIG) i obtenir resultats d'una qualitat molt superior.

Per tal pal·liar la inexactitud dels valors, s'ha determinat una tolerància sobre les mesures d'un 10%, així, els carrers amb una manca d'il·luminació són els que presenten un nivell d'il·luminància mig inferior al 90 % de l'exigit i els que presenten un nivell excessiu són els que superen en un 10 % el 20 % de marge que es dona al RD 1890/2008, és a dir, nivells un 30 % superiors.

Descripció específica dels aparells:

L'aparell amb el que es compte és un LX-GPS, el qual es compon de 3 sondes luxomètriques amb GPS integrat. El software de gestió de la informació permet analitzar la il·luminància mitja i la uniformitat d'una instal·lació d'enllumenat públic.

Al incorpora aquest aparell al cotxe s'aconsegueix enregistrar en una sola nit extenses àrees d'enllumenat. A més, el software permet comprar diferents àrees d'enllumenat, o la mateixa àrea però en diferents dates i hores.

El software del LX-GPS disposa d'eines per facilitar la tasca de captura de la il·luminància des de un vehicle. A més a més de les funcions per a la gestió, l'anàlisi i la comparació de les mesures.

Característiques:

- Captura i emmagatzematge de les mesures de il·luminància i de posició, amb 3 sondes, de forma automàtica i simultània.
- Visualització durant la captura dels valors mesurats (posició, velocitat, distancia recorreguda, il·luminància, senyal GPS, etc.) amb gràfic de la il·luminància.
- Sistema d'alarmes i interrupció de les mesures per excés o baixa velocitat, pèrdua de senyal del GPS, etc.
- Interpolació de les mesures de posició en zones sense cobertura de senyal de GPS.
- Marcat automàtic d'incidències durant la presa de mesures.
- Gestió de les mesures mitjançant tasques i projectes, que defineixen les característiques de la zona a estudiar i del procés de mesurament.
- Visualització i edició de les mesures mitjançant:
 - o Valors d'il·luminació mitjana, màxima i mínima.
 - o Gràfica d'evolució il·luminació-distància, per als valors de cada sonda, per a totes les sondes o per al valor mitjà de les sondes.
 - o Eines per a la depuració de les mesures.
 - o Editor de comentaris a les taules i gràfics.
 - o Visualització gràfica de valors de referència predefinits.
- Comparació directa de dues tasques mitjançant:
 - o Gràfics superposats.
 - o Valors diferencials d'il·luminació i uniformitats.
- Generació d'informes i gràfics amb la capçalera personalitzable.

3. Fotografia en Alt Rang Dinàmic (HDR)

L'ull humà és capaç d'adaptar-se a luminàncies tan altes com $1.00.000\text{cd/m}^2$ i tant baixes com $0.000.000.1\text{ cd/m}^2$. Un cop adaptat, l'ull pot fer front a un rang de luminància de 1:1000, però per a una part de la escena, pot arribar fins a 1:10.000.

La gran majoria de imatges digitals han sigut dissenyades amb les capacitats gràfiques dels ordinadors en ment. Una imatge de 24 bits típica amb 8 bits per cada canal (vermell, verd i blau) pot emmagatzemar fins un total de només 256 valors diferents per canal.

Per tant, el problema és que la tecnologia de les pantalles d'ordinador està encara molt lluny de poder entregar imatges que tan sols s'apropin al abast lluminós que pot processar l'ull humà.

Aquí entra en joc la fotografia HDR (High Dynamic Range). Aquest tipus de fotografia parteix de la base de tractar de cobrir amb una càmera un major rang dinàmic del que aquesta és capaç de recollir amb el seu sensor. Les imatges d'alt rang dinàmic (HDR) emmagatzemen la informació en un format que té un abast de molts ordres de magnitud.

Per realitzar una fotografia HDR es fan tres fotos exactament del mateix espai. La diferència entre les tres fotografies és que tindran diferents exposicions, és a dir, recolliran més o menys llum. Una estarà subexposada, una altra tindrà l'exposició correcta, i l'última estarà sobreexposada. Un cop es tenen les tres fotografies es fusionen per obtenir una mescla de les tres il·luminacions.

És possible utilitzar una imatge HDR per determinar la distribució actual de la luminància dins de la escena fotografiada. Les càmeres digitals modernes emmagatzemen informació addicional en el arxíu JPEG que produeixen. Això inclou detalls sobre la càmera, valors d'exposició (ev) i el RGB de cada píxel. La informació es guarda en la capçalera del arxíu i s'emmagatzema en un format EXIF. Mitjançant un software de tractament que utilitza la informació de les dades EXIF es calcula el valor de luminància de cada píxel de la fotografia, i un cop fet això s'assigna un color segons el tipus de luminància, generalment els tons blaus són elegits per zones foscos, mentre que els tons vermells són elegits per indicar alta luminància, aconseguint així una visualització molt clara i senzilla de la luminància de la fotografia.

El mètode proposat per poder duu aquest anàlisi a la pràctica és la utilització de la pàgina web <http://www.jaloxa.eu/>. Només cal anar a la pestanya Roll-Your-Own i seguir el procediment. Primerament cal pujar a la web les tres fotografies per obtenir la fotografia amb el mapa de luminàncies, després introduir el factor de calibratge de la càmera (CF). Per últim cal introduir un arxíu anomenat "response curve" o RSP que és la funció de resposta promig per al canal vermell, verd y blau, i que varia una mica segons el model de càmera. Aquest arxíu el podem trobar dins la mateixa web, a l'apartat "Camera Compatibility". Sense entrar en més detall, simplement s'ha de descarregar aquest arxíu segons el model de la càmera i tornar-ho a pujar en el lloc indicat, dins de Roll-Your-Own.

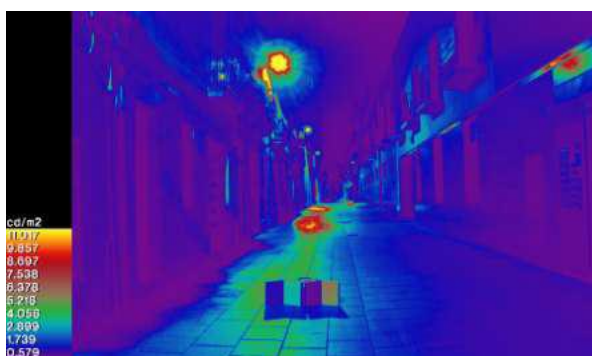
El factor de calibratge no és més que un factor per el qual es multiplicaran tots els valors de luminàncies (un valor per píxel) per a que la fotografia final obtinguda mostri les cd/m^2 reals. Per aconseguir aquest valor cal fer el següent procediment; a la hora de treure el primer grup de 3 fotografies, cal afegir a l'escena unes cartolines de diferents colors; negre, blanc, gris fosc i gris clar i mesura amb un luminancímetre la luminància real que reben. Un cop fet això, introduïm les fotografies al programa, i

amb un 1 en el valor de CF, i mirem quina luminància marca el programa en la zona de les cartolines. El factor de calibratge és aquell factor per el qual al multiplicar la luminància obtinguda per la web dóna com a resultat la luminància real. Un cop tenim el factor de calibratge calculat, només cal repetir el procediment anterior, canviant el valor del factor, de 1 al calculat, per obtenir la fotografia amb el mapa de luminàncies amb els valors de luminància (cd/m²) reals.

Les fotografies han d'estar realitzades amb una càmera digital reflex, i han de complir els següents requeriments:

- Funció manual: Aquesta funció de la càmera permetrà fixar l'obertura i modificar manualment la exposició mitjançant la velocitat a la que es realitza la fotografia segons la necessitat lumínica de cada escena.
- AEB (Automatic Expoure Bracketing): Permet realitzar 3 o més fotografies variant de forma automàtica l'exposició. També és possible treure tres fotografies variant l'exposició de manera manual.
- ISO mínima 100: El procés de tractament de la imatge requereix que aquestes estiguin fetes amb la menor sensibilitat ISO possible (100). La major qualitat d'una imatge s'aconsegueix fent-la servir a la seva menor sensibilitat ISO.
- Per poder tractar les fotografies mitjançant el software, el conjunt d'aquestes, no pot excedir en mida dels 12 Mb, és a dir, 4Mb per fotograma, sent el mode HQ el recomanat.
- Balanços de blancs, WB, que puguin ser ajustats manualment. Es recomana ajustar-lo a 4000K per a qualsevol font de llum.

A continuació hi ha un exemple d'aquest tipus d'ús de la fotografia HDR.



4.12 Exemple de tractament d'una fotografia per obtenir-ne el mapa de luminàncies. Font: "Estudio de viabilidad para el Desarrollo de una nueva Metodología para la elaboración de Mapas Lumínicos" Estudios luminotècnics UPC

4. Metodologia d'anàlisi. Ús d'un mètode combinat

Per decidir quin dels tres mètodes utilitzar s'ha de tenir en compte quines són les condicions en les quals es treballarà.

Per exemple, en el cas més favorable, és a dir, amb un pressupost il·limitat i sense límit de temps es podria duu a terme un estudi molt exhaustiu de la zona. En aquetes condicions es podria calcular la il·luminància de cada via, pel mètode dels nous punts. Això permetria tenir uns valors molt fiables d'il·luminàncies i d'uniformitats mitges. De manera paral·lela es podria fer un estudi amb el mètode de la fotografia HDR, per tenir una idea de com el ull percep la il·luminació de la zona.

Òbviament, aquest cas és idíl·lic, en el moment en el que temps i/o pressupost disminueixen, el estudi s'ha de fer més ràpid, i aquí és quan apareix l'ús del cotxe enregistrador. En un cas més restrictiu, el procediment més aconsellable seria realitzar una gran batuda per tota la zona a estudiar amb el cotxe enregistrador. Un cop fet aquest primer pas, si es disposa de temps, caldria estudiar les zones on s'hagi pogut excedir amb el cotxe amb el mètode dels nous punts. Finalment, si encara resta temps i pressupost, és pot fer un petit estudi amb el mètode de la fotografia HDR de les vies més comercials de la zona, ja que són on les que hi ha un interès major en saber quanta llum indirecta o reflectida li arriba al ull humà i des de on.

4.2. El servei de manteniment

La il·luminació inicial proporcionada per la instal·lació disminueix de manera gradual amb el temps a causa del ús, la disminució dels lúmens de les llums, o a la brutícia del sistema, etc. Però és possible mantenir la il·luminació sobre un mínim si es netegen els llums i lluminàries i si es reemplacen les llums cremades o gastades. És a dir, si s'estableix un programa de manteniment de la instal·lació.

4.2.1. Motius per a la realització del manteniment de les instal·lacions

Durant la vida de qualsevol instal·lació d'enllumenat, la llum disponible disminueix progressivament i de forma gradual. La velocitat de reducció és funció de les condicions ambientals, les característiques dels dispositius utilitzats, les condicions d'operacions i el temps d'explotació.

Les principals causes que influeixen en el deteriorament de les característiques de les instal·lacions d'enllumenat viari, en el seu funcionament i, per tant, en algunes d'elles, en el valor de la il·luminació són:

- Reducció progressiva del flux lluminós emès per les làmpades.
- Fallada per mortalitat o mal funcionament de components.
- Reducció del flux lluminós per envelliment de les làmpades.
- Fallada prematura de les làmpades.
- Acumulació de brutícia sobre les parts òptiques de les lluminàries.
- Deteriorament de les superfícies transmissores o reflectores (oxidació, efectes de la calor, radiació ultraviolada, efectes químics...).
- Excesiu augment o baixada de la temperatura dintre de l'artefacte.
- Voltatge incorrecte en els terminals de la làmpada.
- Variacions en el factor de potencia.

De les causes anteriors les usuals són:

- Reducció progressiva del flux lluminós emès per les làmpades.
- Acumulació de brutícia sobre les parts òptiques de les lluminàries.
- Fallada prematura de les làmpades

Totes tres afecten al que s'anomena depreciació lumínica, un fenomen físic i tecnològic que causa que el flux lumínic de les làmpades disminueixi durant el seu cicle de vida.

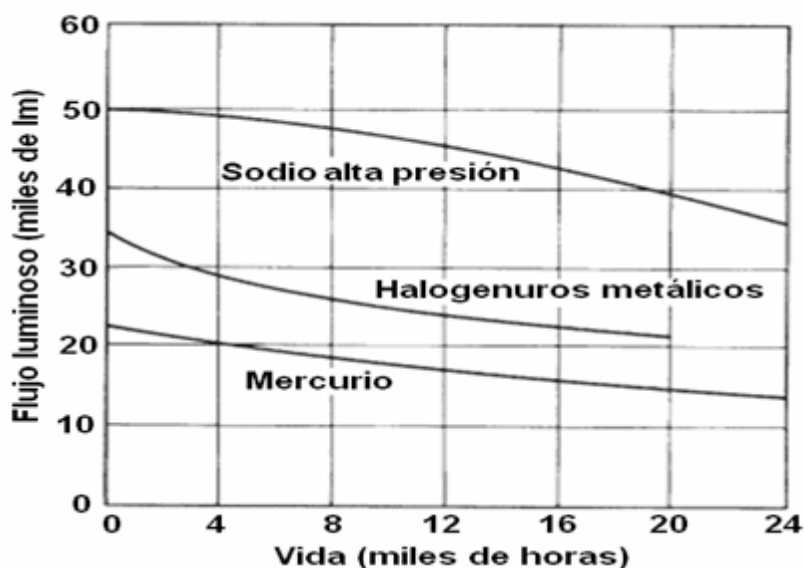
1. Reducció progressiva del flux lluminós emès per les làmpades.

La reducció progressiva i gradual del flux lluminós del llum és causada pel deteriorament i envelliment dels components que la formen, i és inherent al tipus de làmpada i balast utilitzat. Aquest efecte de depreciació es recupera amb el reemplaçament de les llums.

Es considera que el flux lluminós inicial d'una làmpada és el valor mig a les seves 100 primeres hores de funcionament i la depreciació es calcula amb aquest valor de referència. La depreciació lluminosa és la disminució progressiva del flux emès per les làmpades, aquesta disminució es deguda a l'envelliment de la làmpada, que té una corba característica que relaciona les hores de vida amb el percentatge de flux lluminós que emet, però un altre factor important que també contribueix a incrementar la depreciació lluminosa és la brutícia que s'acumula a les lluminàries.

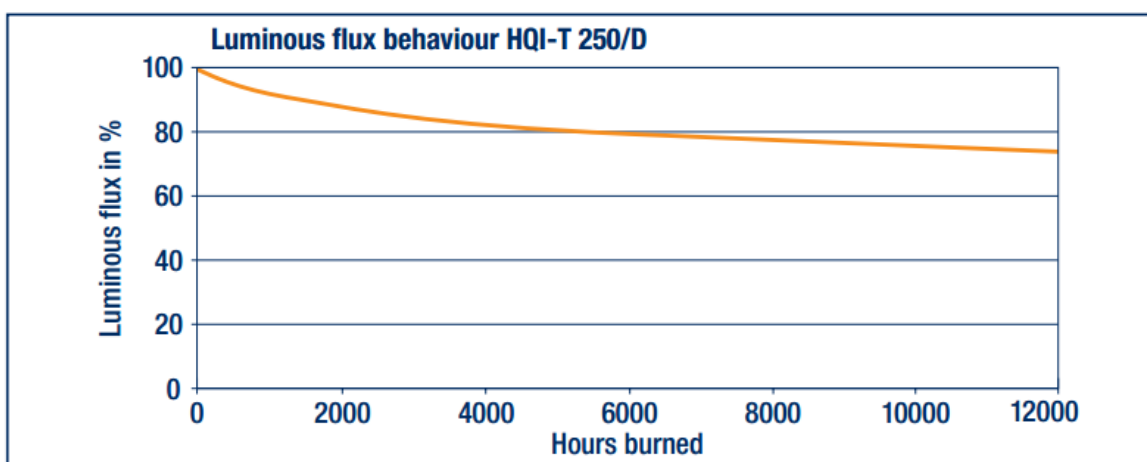
Les làmpades de descàrrega presenten una depreciació del flux lluminós accentuat durant les primeres 100 hores de vida que pot arribar a ser del 10%. El flux lluminós publicat pel fabricant és el valor mig després d'aquestes primeres hores d'encesa. A partir d'aquest temps la disminució és molt més gradual durant la resta de la vida del llum. És per això que aquest factor es defineix com la relació entre el flux

Iluminós del llum al final de la vida respecte al flux lluminós inicial, un cop transcorregut 100 hores de funcionament.



4.13 Corbes típiques de la depreciació de làmpades de descàrrega d'alta intensitat de 400W. Font: <http://scielo.sld.cu>

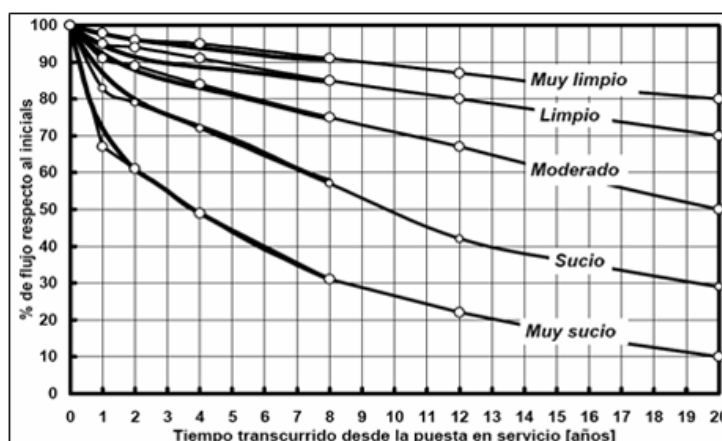
A l'hora de triar una làmpada, aquestes dades són accessibles a través del Factor de Depreciació del Flux lumínic (FDFL), on es veu la variació percentual dels lúmens sortints d'una determinada làmpada.



4.14 Depreciació del flux lumínic d'una làmpada d'Hal-logenurs Metàlics amb cremador de quars de 250W segons el fabricant. Font: Osram.

2. Embrutiment de l'òptica de la lluminària

Un altre factor que influeix en la depreciació del flux lumínic emès pel conjunt làmpada i lluminària és l'embrutiment de l'òptica de la lluminària a causa de l'entorn ambiental. Atmosferes molt contaminades de fum i pols contribueixen per tant a una reducció efectiva del flux lluminós per deposició de partícules en les òptiques, tancaments i la pròpia làmpada.



4.15 Depreciació de les lluminàries d'enllumenat públic amb tancament hermètic i cinc tipus d'ambients publicades per Van Dusen (línia fina) i IESNA (línia gruixuda). Font: <http://scielo.sld.cu>

El factor de manteniment, també anomenat factor de conservació, és la relació entre la il·luminació mitjana en el pla de treball, després d'un període de temps d'ús i la il·luminació mitjana obtinguda en les mateixes condicions el primer dia.

El factor de conservació és molt important a tenir en compte per obtenir el nivell mitjà d'il·luminació. Si no es té en compte, el càlcul es realitza com si la instal·lació fos nova en tot moment, sense tenir en consideració les pèrdues que pateix el sistema. A més a més determina la planificació de la programació de les tasques de manteniment.

El factor de manteniment és funció fonamentalment de:

- Tipus de làmpada, depreciació lluminosa i supervivència en el transcurs del temps
- Estanquitat del sistema òptic del llum
- Tipus de tancament de la lluminària
- La qualitat i freqüència de les operacions de manteniment del sistema d'il·luminació
- Contaminació ambiental de l'entorn

Es calcula com:

$$f_m = \text{FDFL} \times \text{FSL} \times \text{FDLU}$$

On:

- FDFL és el factor de depreciació del flux lluminós del llum
- FSL és el factor de supervivència del llum
- FDLU és el factor de depreciació de la lluminària

El resultat serà sempre un valor menor que la unitat i interessa que sigui el més elevat possible per reduir la freqüència de manteniment.

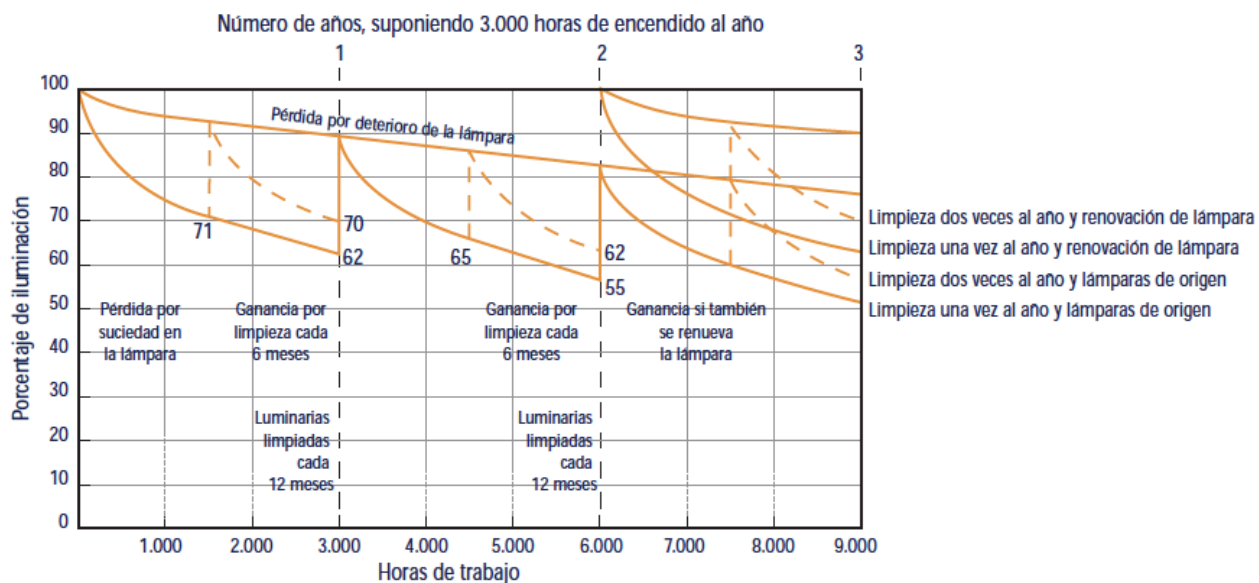
El Reglament (ITC-EA-06 del RD1890/2008) proporciona les taules necessàries (taula del FDFL, del FSL i del FDLU) per calcular el factor de manteniment, en funció del tipus de font de llum i lluminària.

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 Halofosfato	0,99	0,98	0,93	0,86	0,70
Fluorescente compacta	0,98	0,94	0,90	0,78	0,50

4.16 Factor de depreciació del flux lluminós de les làmpades. Font: R.D.1890/2008

I segons el Plec de prescripcions tècniques acordat entre l'ajuntament de Deltebre i la empresa energètica el valor de nivell d'il·luminació en servei haurà de mantenir-se en tot moment superior al 80% del nivell d'il·luminació establert inicialment.

A continuació es mostra un exemple de l'evolució que pateix el sistema amb el temps. En aquest exemple es pot veure com el percentatge d'il·luminació disminueix fins un 71% els primers sis mesos, si en aquest moment es neteja el conjunt, al cap d'un any, el percentatge d'il·luminació serà del 70%. En canvi, si la neteja es realitza a l'any, el percentatge baixa fins al 62%.



4.17 Factor de de manteniment.. Font: <http://grlum.dpe.upc.edu/>

Segons el Plec de prescripcions tècniques acordat entre l'ajuntament de Deltebre i la empresa energètica el valor de nivell d'il·luminació en servei haurà de mantenir-se en tot moment superior al 80% del nivell d'il·luminació establert inicialment.

A part del nivell mínim d'il·luminació, el plec també s'encarrega de marcar altres punts a complir sobre el manteniment, com ara:

- La neteja exterior de llumeneres està prevista realitzar-la com a màxim cada 2 anys d'acord amb els programes i directrius establertes conjuntament entre el Contractista i l'Ajuntament.
- S'haurà de comprovar i adequar l'estanquitat mitjançant la fixació de la junta de goma i es rentarà l'exterior de tot el capçal amb detergent i aigua, eixugant-ho amb un drap.
- La neteja interior de llumeneres es farà coincidir amb l'operació de reposició general de làmpades. D'aquesta manera es garantirà que cada cop que es canviï una làmpada es netegi la llumenera interiorment.
- L'Ajuntament, en casos concrets, podrà exigir al Contractista la neteja d'aquells punts de llum que consideri que el seu nivell d'il·luminació s'ha reduït en més d'un 20%, segons criteris dels Serveis Tècnics Municipals.

Per a més informació sobre el manteniment de l'enllumenat públic de Deltebre, consultar l'Annex D. *Plec de Prescripcions tècniques del contracte de l'enllumenat del municipi de Deltebre.*

3. Fallada de les làmpades

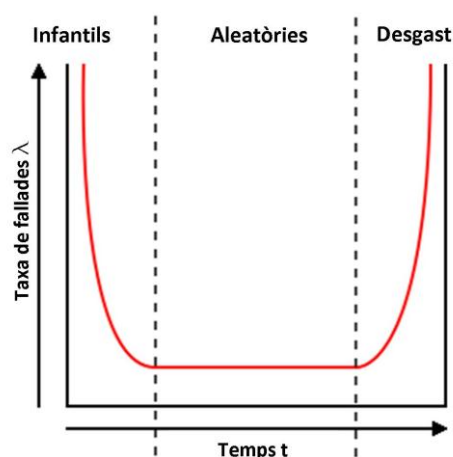
Un altre aspecte que fa imprescindible les accions de manteniment a les instal·lacions d'enllumenat és la imprevisibilitat de la fallada de les làmpades.

Arribats a aquest punt cal introduir el concepte de fiabilitat. Es defineix la fiabilitat, des de el punt de vista de l'enginyeria, com la probabilitat de que un aparell, dispositiu o persona desenvolupi una determinada funció sota condicions fixades i durant un període determinat. Per la pròpia definició queda clar que la fiabilitat entre dintre del camp de l'estadística i el càlcul probabilístic.

El paràmetre que més s'utilitza per caracteritzar un dispositiu és la seva taxa de fallades (λ), normalment expressada en fallades/hora o la seva inversa MTTF (del anglès "Mean Time To Failure" o temps mig fins a fallada). En el cas simplificat en que assumim que un dispositiu té una taxa de fallada constant la fiabilitat queda definida com:

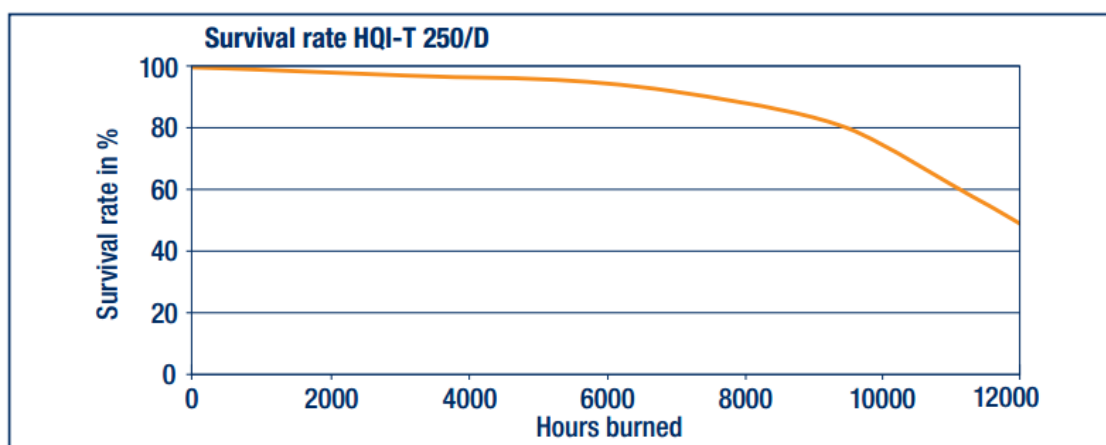
$$\text{Fiabilitat} = R(t) = e^{-\lambda * t} \text{ i } \text{MMTF} = 1/\lambda = \text{cte}$$

En realitat, les taxes de fallada no són constants en el temps. La seva representació típica té forma de banyera ("bathtub curve"), amb tres etapes clarament diferenciades: la primera part de fallades decreixents correspon al període de fallades prematures on fallen els components amb defectes de fabricació. La segona part correspon a un període anomenat de fallades aleatòries o normal que és la que es considera la vida útil de l'element on les fallades són ocasionals. La tercera part es caracteritza per un creixement exponencial de les fallades a causa del desgast dels elements. A la pràctica és comú aproximar la taxa de fallades per una constant mentre ens trobem en la operació normal, i realitzar estudis específics en els casos de posada a punt o envelliment dels components.



4.18 Evolució de la taxa de fallades respecte el temps d'un component qualsevol, corba de la banyera. Font: https://es.wikipedia.org/wiki/Curva_de_la_bañera

Aquesta corba és d'aplicació per a molts elements industrials i en el cas de les làmpades està àmpliament estudiat i es fa explícit en el Factor de Supervivència de les Làmpades (FSL), que són els resultats d'un estudi estadístic realitzat per la marca de les mateixes i que reflexa el percentatge de làmpades que segueixen en funcionament passat un temps determinat. A continuació es pot veure un d'aquests gràfics, que pot ser útil alhora de seleccionar entre diverses alternatives a l'hora de comprar làmpades.



4.19 Factor de Supervivència d'una làmpada d'Hal-logenurs metàl·lics 250 W amb cremador de quars sotmesa a cicles de 12 hores segons el fabricant. Font: Osram.

4.2.2. Tipus de manteniments

De forma genèrica, la forma d'actuació sobre les instal·lacions d'enllumenat públic es poden classificar en polítiques de manteniment, aquestes es defineixen a continuació.

1. Manteniment correctiu

Es tracta de la reparació o substitució d'elements deteriorats, la premissa bàsica d'aquesta política de manteniment és que les tasques es realitzen quan apareix la fallada. Se sol aplicar aquest tipus de manteniment a sistemes complexos en els que és impossible predir les fallades i que admeten interrupcions en el funcionament o bé no funcionen les 24 hores del dia durant els 7 dies de la setmana.

Alguns dels inconvenients d'aplicar aquest tipus de manteniment són:

- Una fallada es pot produir en un moment inoportú.
- Les fallades no detectades a temps poden causar problemes vials importants.
- Que ha d'haver un estoc d'elements per a la reposició.

2. Manteniment preventiu

Aquesta política de manteniment es basa en aplicar activitats programades encaminades a reduir la freqüència i impacte de les fallades. És de gran aplicació als sistemes d'enllumenat públic pel fet

de que el temps de vida de les làmpades no es pot determinar amb gran exactitud i per tant, aplicar canvis de làmpades a tot el sistema pot ser millor que la producció de múltiples fallades simultànies.

Alguns dels inconvenients d'aquesta política són:

- Provoca canvis innecessaris de materials.
- Costos associats al inventari i ma d'obra.

De cara a realitzar la planificació d'aquest, s'ha de:

- Definir els elements objecte del manteniment.
- Problemes per definir amb concreció la vida útil dels elements i ajustar la freqüència de les operacions.
- Agrupar temporalment les operacions a realitzar.

3. Manteniment predictiu

Aquesta política de manteniment és complexa de realitzar en el context de l'enllumenat públic, però es tracta d'un conjunt d'activitats de seguiment i diagnòstic continu que permeten intervencions correctores immediates com a conseqüència de la detecció d'algun símptoma de fallada.

Avui dia, per a les làmpades, que és l'element consumible que provoca més problemes de servei, la variable més important a monitoritzar seria la tensió als borns de la làmpada, ja que el final del cicle de vida de la mateixa es produeix quan entre els borns hi ha una tensió d'encesa superior a la que es proporciona per les línies de potència. A l'actualitat, alguns serveis de telemesura punt a punt permeten la mesura d'aquest paràmetre, però donat que la seva aplicació és molt limitada pel seu elevat cost, no es preveu la utilització d'aquests sistemes.

Alguns dels avantatges que proporciona aquest tipus de manteniment són:

- Proporciona un registre del històric d'anàlisi.
- Permet realitzar les accions de manteniment en el moment més adequat, estalviant costos d'operació, materials i bens.

4.2.3. Indicadors de manteniment

Per tal d'avaluar la gestió del manteniment en relació a la qualitat del servei lumínic donat en un àmbit d'estudi es determinen uns indicadors del manteniment. Aquests, s'han determinat identificant la forma en la que es pot gestionar el manteniment per tal de millorar el rendiment global de les instal·lacions i fer-lo més eficaç.

L'anàlisi d'indicadors s'ha de fer des de la perspectiva de:

- Millorar la disponibilitat del sistema d'enllumenat.
- Millorar el cost efectiu del manteniment.
- Preservar la salut i seguretat així com la protecció del medi ambient.
- Controlar les actuacions realitzades.

I per tant, també serà imprescindible establir una periodicitat per al seu càlcul, una metodologia per a determinar els valors requerits i la seva forma de mesura.

Els indicadors més pertinents s'exposen a continuació:

- **Disponibilitat:** Es tracta del indicador que comprava les hores reals de funcionament amb les hores programades de funcionament. Les hores programades són el total de hores teòriques que hauria d'estar en funcionament en sistema, mentre que les reals, són les enregistrades pel sistema de telegestió. Per a obtenir el número d'hores reals s'hauria portar un control punt per punt de totes les lluminàries, no un on aquestes es trobin agrupades, per exemple per quadres de comandament. La disponibilitat real doncs és aquella que pondera les hores per lluminària.

$$\text{Disponibilitat} = \frac{\text{Hores reals de funcionament}}{\text{Hores programades de funcionament}}$$

- **Taxa de fallides:** És el número de fallades per unitat de temps. Quan més elevat sigui aquest indicador més avaries s'estaran produint en el sistema d'enllumenat.

$$\text{Taxa de fallides} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ fallades}}{\text{Hores de funcionament}}$$

- **Percentatge de fallides:** Relaciona el número d'unitats avariades respecte el total d'unitats. Usualment es un indicador que es calcula de manera anual.

$$\text{Percentatge de fallides} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ fallades}}{\text{Unitats instal} \cdot \text{lades}}$$

- **Duració mitja d'averia (MTTR):** Indica quan de temps s'està de mitja una làmpada avariada fins que es reparada.

$$\text{Duració mitja d'averia} = \frac{\text{Hores de parada}}{\text{N}^{\circ} \text{ d'averies}}$$

- **Percentatge de punts de llum apagats simultàniament:** Relaciona el número de llums foses de manera simultània respecte el total de punts de llum del parc.

$$\text{Percentatge llums apagats} = \frac{N^{\circ} \text{ de llums foses}}{\text{unitats instal·lades}}$$

4.3. El servei energètic

La gestió energètica és l'estudi d'aquelles variables que relacionen els nivells d'il·luminació amb la despesa energètica, i per tant, econòmica de la instal·lació. Una bona gestió energètica és aquella que contribueix a aconseguir una optimització dels recursos energètics, i estableix mesures i accions que permeten reduir el consum d'energia.

La principal tasca dels encarregats de la gestió econòmica, és la de controlar que el consum d'energia de la instal·lació al llarg del temps és el establert en el contracte, més o menys una petita variació. Cal tenir en compte que el consum energètic provindrà d'una potència instal·lada emprada durant un nombre determinat d'hores:

$$E [kWh] = P_{int}[kW] \cdot t [h]$$

Cal considerar que la potència de les làmpades no és la que consumeix la instal·lació ja que s'ha d'agregar els consums provocats pels equips auxiliars, aquests solen ser d'un 10% de la potència nominal de la làmpada (per establir un valor de referència genèric). Una altra consideració important és que interessarà obtenir els valors amb la màxima precisió possible, que de no disposar d'equips de telemesura punt a punt, aquesta serà per quadres de maniobra. Observar els consums per quadres de maniobra és la millor manera de detectar irregularitats en els consums, ja sigui per avaries o bé per consums no permesos (o no comunicats).

4.3.1. Tipus de consums

Els consums a les instal·lacions d'enllumenat públic es pot determinar de tres maneres diferents:

- **Consum teòric.** El consum teòric s'extreu del inventari de les instal·lacions a partir de:
 - Potència de cada punt de llum (inclosos equips auxiliars) a plena potència i a reducció de flux.
 - Hores de funcionament a plena potència i a reducció de flux.

A partir del càlcul següent, es pot obtenir el consum teòric de la instal·lació per a cada un dels n règims possibles de funcionament:

$$E_{th} = \sum_{i=1}^{i=n} P_{inst_i} \cdot Hores_i$$

- **Consum mesurat.** El consum mesurat s'obté a partir dels elements situats a aquest efecte per part del municipi o ESE. Aquest serà un comptador trifàsic de telemesura amb possibilitat de consultar la informació a temps real per tal de detectar possibles averies o fallides. És una eina important de gestió de cara a tenir mesures reals i valorar el funcionament de la instal·lació a més de poder comparar la facturació realitzada per la companyia elèctrica (ja que el instrument de mesura ens dona totes les dades necessàries).
- **Consum facturat.** El consum facturat pot provenir d'una lectura (real) o bé ser estimat; en ambdós casos, aquest és el que es paga i es determina a través de les pòlisses energètiques.

4.3.2. Variacions del consum al llarg del temps

Al llarg del temps és inevitable que el consum fluctuï, però s'ha d'evitar que ho faci fora dels marges establerts com desviacions normals, ja que això indicaria que hi ha algun problema o fet inusual. Les variacions per sobre o per sota d'un 5% han de ser estudiades.

Els motius més usuals pels quals es pot desviar el consum són:

- **Connexions il·legals a la xarxa d'enllumenat:** Una connexió il·legal és aquella connexió en que algú endolla un aparell elèctric a la caixa de connexions d'una de les lluminàries, provocant un consum de potència major.
Per detectar una connexió il·legal el més ràpid és mirar les potències consumides durant el període a estudiar. Si hi ha una pujada d'aquesta en un seguit de registres consecutius, el més probable és que hagi sigut causat per una connexió il·legal, o per una connexió extra.
- **Connexions extres:** Les connexions extres són aquelles connexions que es fan de manera puntual. Són connexions extres, per exemple, les connexions de fires, les causades per esdeveniments esportius, festes de la ciutat, paradetes de Nadal, etc. Com en el cas anterior, qualsevol equip extra que es connecti a la xarxa, provocarà una pujada en l'energia consumida.
- **Caiguda d'un o més d'un dels circuits del quadre de maniobra:** Cada quadre de maniobra té diferents circuits. Cadascun d'aquests circuits inclou algunes de les lluminàries de la zona. Aquests circuits són independents entre ells, i cadascun d'ells compte amb el seu

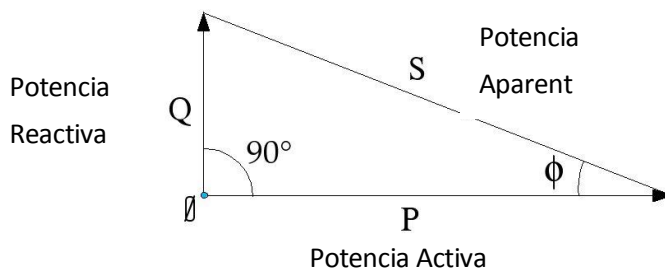
interruptor diferencial i el seu magnetotèrmic. Si per algun motiu en un d'ells hi ha una pèrdua a terra o un curtcircuit les seves proteccions salten i queda desconnectat, mentre que els altres circuits del quadre de maniobra segueixen funcionant amb normalitat.

- **Caiguda general del quadre de maniobra:** Els quadres de maniobra estan connectats a la xarxa elèctrica. Estan programats per connectar-se quan comença l'horari d'enllumenat públic i per desconcertar-se unes hores més tard, quan s'acaba, així com per fer la regulació passades unes hores des del inici. A vegades es desconnecten sense voler i es reinicien, això provoca alteracions en el horari i en el consum.
- **Caiguda de tensió de la xarxa elèctrica:** En aquest cas, la fallada en el sistema d'enllumenat no ve causada per una averia del propi sistema, si no que es causa d'un problema extern, que és, la caiguda global de subministrament de tensió a la xarxa per part de la companyia. Tot i ser un problema extern, quan succeeix s'hauria d'enregistrar en el full d'incidències, perquè no deixa de ser-ho, i controlar que un cop torna el subministrament elèctric el sistema d'enllumenat torni a funcionar correctament tan bon punt li arriba la tensió de nou.
- **Tensió superior a 230V:** Una variació en un 5-7% aproximadament per sobre del valor habitual en un dia determinat pot venir causada per una tensió superior a la xarxa elèctrica. La xarxa elèctrica espanyola dona 230V de tensió, però en alguns casos, sobretot a la nit, que és la hora vall més important, pot donar més, arribant als 240V. Aquest fet és causat per l'excés d'energia de les centrals productores, algunes d'elles, com les nuclears no paren mai la producció ja que és molt lent i costos, i això provoca un excés d'energia que no es consumeix, provocant un augment de la tensió de la xarxa elèctrica.
- **Làmpades apagades:** Quan una o un grup de làmpades estan apagades quan haurien d'estar enceses, ja sigui perquè les pròpies làmpades estan espatllades, o be a causa de les lluminàries o els cables, etc. Pel motiu que sigui, la potencia consumida disminueix, i s'ha de procedir a avisar al servei de manteniment per solucionar-ho el més aviat possible.
- **Relotge desajustat:** Per veure si una variació en la potencia és problema del rellotge, la manera més ràpida és realitzar un gràfic de la potencia al llarg del temps. Cal fixar-se en l'inici i final del període actiu de les làmpades. Una disminució de la potencia pot ser causada perquè s'apaguen les làmpades abans d'hora, o s'encenen massa tard; o el cas contrari, un consum excessiu pot significar hores extres innecessàries de les làmpades.

- **Mal/ Nul funcionament de la regulació:** Totes les lluminàries d'un sistema d'enllumenat públic tenen integrat un sistema de regulació. Aquest sistema de regulació té la funció de variar la intensitat de la llum emesa. Per exemple, normalment les lluminàries tenen programada la regulació a les 3 hores d'estar en funcionament, això vol dir, que si s'han encès a les 8 de la tarda, a les 11 de la nit baixaran la seva intensitat. Aquest mecanisme està pensat per a reduir el consum d'energia, ja que a partir de certes hores de la nit, la necessitat de llum intensa al carrer per part dels usuaris disminueix, i no té cap sentit mantenir els nivells alts de les primeres hores.

El problema ve, quan, per exemple, es reposen un seguit de lluminàries que regulen al cap de les 3 hores, com la resta de lluminàries de la zona, per unes de noves i aquestes noves tenen integrat un sistema de regulació de 4 hores en lloc de 3. Si això passa, queda reflectit en un augment de consum.

- **Pujada de la potència reactiva:** Una pujada de la potència reactiva (Q) provoca un augment en l'import de la factura elèctrica. Les companyies elèctriques penalitzen a aquells que tenen un consum elevat de potència reactiva, o el que és el mateix un factor de potència elevat. El factor de potència és el cosinus del angle en el triangle de potències.



Les companyies elèctriques penalitzen el consum de potència reactiva perquè aquesta és un tipus d'energia que consumeixen alguns equips electrònics, però que no produeix treball útil. Però encara que no produeixi cap treball útil s'ha de generar i transportar fins als equips provocant que les companyies distribuïdores d'energia tinguin que realitzar majors inversions en els seus equips de generació, augmentar la capacitat de les línies de distribució i dels equips transformadors. Aquesta major capacitat genera uns costos que són els que provoquen la penalització en la factura, del consum d'energia reactiva a partir d'un cert valor.

A partir del 01 de Gener del 2010 la penalització per el consum de energia reactiva és el següent:

cos ϕ	€/kvar 01/01/2010
cos ϕ < 0,95 fins 0,9	0,041554
cos ϕ < 0,9 fins 0,85	0,041554
cos ϕ < 0,85 fins 0,8	0,041554
cos ϕ < 0,8	0,062332

- **Casos excepcionals:** També es poden donar casos excepcionals, en que el motiu no sigui cap dels anteriors, solen ser casos en que no es pot arribar a esbrinar que va provocar el consum incorrecte. Cal recordar dos punts: en primer lloc, que l'estudi sobre la qualitat del servei es fa a posteriori, no en el moment actual de d'incidència, i que per tant, a vegades les dades, tant les registrades per el sistema de telegestió com les enregistrades per el personal, no són suficients per esbrinar el motiu; i en segon lloc, que l'objectiu principal es corregir tots aquelles errors trobats, encara que no s'hagi trobat el seu origen.

L'estudi sobre la gestió energètica serveix per determinar si l'empresa energètica encarregada ha dut a terme una gestió adequada i eficaç quan hi ha hagut aquests casos problemàtics i d'imprevistos.

A més informació enregistrada, més fàcil i més conclusions es podran treure de l'estudi sobre la gestió energètica, per això, en els casos en els quals es compte amb un sistema de telegestió, s'obtenen més conclusions que en els sistemes d'enllumenat que no compten amb aquest equip.

En el cas pràctic que s'estudia en el punt 5. *Aplicacions pràctiques. Municipi de Deltebre* d'aquest document, el sistema d'enllumenat sí que comptava amb un sistema de telegestió. Durant aquest apartat s'explicaran diferents casuístiques, i les conclusions que s'extreuen del seu estudi.

4.4. La contaminació lumínica

Segons el Real Decret RD1890/2008 la contaminació lumínica és la lluminositat produïda en el cel nocturn per la difusió i reflexió de la llum en el gasos, aerosols i partícules en suspensió en l'atmosfera, procedents, entre altres orígens, de les instal·lacions d'enllumenat exterior, bé per emissió directa cap al cel nocturn o reflectida per les superfícies il·luminades. En altres paraules, la contaminació lumínica es qualsevol afectació al medi natural que estigui ocasionada per la il·luminació artificial nocturna.

Aquest fenomen té lloc des de que l'activitat humana va començar a utilitzar la nit per al desenvolupament de certes activitats; per exemple el subministrament de mercaderies, determinats

viatge i desplaçaments, espectacles, esdeveniments esportius...Totes aquestes activitats nocturnes necessiten el recolzament de l'enllumenat per a:

- Crear unes condicions de seguretat ciutadana.
- Millorar la seguretat en la circulació de carreteres, vies, carrers...
- Donar fluïdesa i comoditat a l'activitat.
- Evitar riscos i accidents durant l'activitat.

La contaminació lumínica pot provenir de la suma dels següents factors:

- **Emissió directa des de les fonts de llum:** Emissió des de els punts de llum cap a l'entorn fosc. Pot ser cap al cel o en direcció a un hàbitat d'essers vius. És la causa més important de contaminació.
- **Reflexió en les superfícies il·luminades:** Una altra causa de CL és la llum que es reflecta sobre les superfícies, la qual pot acabar dirigint-se al cel o a elements que no necessitaven de cap il·luminació nocturna.
- **Refracció de la llum en les partícules del aire:** És la causa que té una efecte més lleu. És una variació del cas anterior, en aquest cas la llum no es reflecta sobre una superfície sòlida si no que ho fa sobre els àtoms i les partícules de l'atmosfera.



4.20 Europa de nit en l'actualitat. Font: www.foroamistad.org/actualidad-y-debates/mapa-de-la-contaminacion-luminica-en-europa

La contaminació lumínica presenta diverses afectacions, les quals s'expliquen breument a continuació:

- **Difusió cap al cel:** Tota la llum, ja sigui la directa o la reflectida en alguna superfície produeix un augment de la claredat dels fons celeste, arribant a superar la brillantor de les de menor magnitud impeding així la seva visió. Conforme la claredat del fons de cel augmenta, el numero d'estrelles visibles disminueix, arribant a vegades a desaparèixer per complet.

- **Llum intrusa:** És aquella llum que s'introdueix en un àmbit per al qual no ha estat pensat. Un clar exemple de llum intrusa és la que incideix en un espai destinat al descans, un clar exemple seria el dormitori d'un pis. Un dormitori requereix de condicions de foscos, i quan una llum intrusa incideix en un dormitori, dificulta el son i altera el bioritmes naturals de les persones que en ella descansen. Els estudis actuals demostren que aquestes alteracions en el ritme natural de la llum incideixen sobre la salut humana. La llum intrusa no només afecta en l'àmbit humà, sinó que també té incidència sobre espais naturals. La contaminació lumínica sobre espais naturals genera un seguit s de canvis que afecten al equilibri ecològic, sobretot en les espècies de cicle nocturn actiu.
- **Efectes econòmics:** Tota la llum que provoca el fenomen de la contaminació lumínica ocasiona unes pèrdues energètiques importants. Com tots els fenòmens de consum energètic, aquest ocasiona:
 - o Un increment de els costos energètics de producció i distribució
 - o El consum i la disponibilitat dels recursos naturals necessaris
 - o Contaminació i residus derivats del procés productiu.

4.4.1. Metodologia per avaluar la llum intrusa

El mètode que s'explica a continuació es basa en l'ús de la fotografia HDR per calcular la llum intrusa que hi ha a les façanes. És un mètode econòmic que permet tenir una visió de la zona d'estudi ràpida i raonablement fiable.

Els passos a seguir són:

- **Realització de les fotografies:** Tal i com ja s'ha esmentat al apartat 4.1.4 *Metodologia d'anàlisi de la qualitat del servei*, per tal de fer les fotografies de manera correcta caldrà primerament calibrar la càmera i que aquesta compleixin una sèrie de requisits per tal de que les fotografies puguin després ésser tractades a la web HDR (<http://www.jaloxa.eu/>).
- **Anàlisi del software de tractament:** Una vegada les imatges han sigut introduïdes correctament al programa HDR s'obté una imatge que dona valors numèrics de la luminància en cadascun dels píxels de la fotografia.
- **Càlcul del valor de la il·luminància vertical:** Per extreure el valor de la il·luminància vertical de la finestra, cal agafar el valor L (cd/m²) del mapa lumínic que correspongui a l'alçada on hi ha les finestres. Mitjançant el valor de reflectivitat associat a cada tipus de façana, i amb la fórmula adjuntada s'extraurà el valor de E(lux).

$$L = \frac{E \cdot \rho}{\pi}$$

On:

- E= il·luminància (lx)
- L= luminància (cd/m²)
- ρ = coeficient de reflexió

Els coeficients de reflexió dels elements més comuns són:

MATERIAL	FACTOR DE REFLEXIÓ
Formigó mig	0,3-0,4
Maó groc clar	0,35
Maó vermell	0,15
Gra rosa/blanc	0,5
Gra fosc	0,3
Marbre clar	0,5
Marbre lleugerament colorejat	0,3
Marbre fosc	0,15
Pedra clara	0,5
Pedra fosca	0,15
Pedra mitjanament colorejada	0,3
Obra vista	0,2
Estucat blanc	0,5

4.21 PFC, Elia Cases: Metodologia amb càmera fotogràfica per mesurar la llum intrusa.

- **Anàlisi dels resultats:** Finalment caldrà analitzar els resultats obtinguts i veure si aquests compleixen amb la normativa i per tant extreure resultats. La normativa queda especificada al Real Decret 1890/2008 ITC-EA-3.

El Real Decret marca 4 zones diferents segons la protecció contra la contaminació lumínica en base a l'activitat que en desenvolupa en cadascuna d'elles.

CLASIFICACIÓN DE ZONAS	FLUJO HEMISFÉRICO SUPERIOR INSTALADO FHS _{INST}
E1	≤ 1%
E2	≤ 5%
E3	≤ 15%
E4	≤ 25%

I per cada una d'aquestes zona marca uns valors màxims de il·luminància vertical sobre a les finestres i de luminància emesa per cada lluminària màxims.

Parámetros luminotécnicos	Valores máximos			
	Observatorios astronómicos y parques naturales E1	Zonas periurbanas y áreas rurales E2	Zonas urbanas residenciales E3	Centros urbanos y áreas comerciales E4
Iluminancia vertical (E_v)	2 lux	5 lux	10 lux	25 lux
Intensidad luminosa emitida por las luminarias (I)	2.500 cd	7.500 cd	10.000 cd	25.000 cd
Luminancia media de las fachadas (L_m)	5 cd/m ²	5 cd/m ²	10 cd/m ²	25 cd/m ²
Luminancia máxima de las fachadas (L_{max})	10 cd/m ²	10 cd/m ²	60 cd/m ²	150 cd/m ²
Luminancia máxima de señales y anuncios luminosos ($L_{máx}$)	50 cd/m ²	400 cd/m ²	800 cd/m ²	1.000 cd/m ²
Incremento de umbral de contraste (TI)	Clase de Alumbrado			
	Sin iluminación	ME 5	ME3 / ME4	ME1 / ME2
	TI = 15% para adaptación a L = 0,1 cd/m ²	TI = 15% para adaptación a L = 1 cd/m ²	TI = 15% para adaptación a L = 2 cd/m ²	TI = 15% para adaptación a L = 5 cd/m ²

5. Aplicacions pràctiques. Municipi de Deltebre

5.1. Estudi del servei lumínic de l'enllumenat públic de Riumar

L'exemple que s'explicarà a continuació, és part d'un cas real, és un estudi realitzat per a l'Ajuntament de Deltebre al desembre del 2014, que tenia com a objectiu determinar el servei lumínic que s'oferia a les poblacions de Riumar, Jesús i Maria i La Cava, i si aquest era l'adequat.

Per determinar la qualitat del servei lumínic cal mesurar i determinar la quantitat de llum dels carrers que formen aquesta població. Així doncs, el primer pas és classificar els vials segons els nivells necessaris, en referència a les classes d'enllumenat que determina el Real Decret RD1890/2008 com a nivells de referència i màxims admissibles. Segons el RD1890/2008 els valors de il·luminància es poden obtenir a partir dels valors de luminància, multiplicant aquests per el valor R del paviment utilitzant, o per 15 si aquest es desconeix. Els valors de les luminàncies segons el tipus de via es troba a la ITC-EA-2 del real Decret esmentat.

Els valors màxims de il·luminància, segons la mateixa ITC-EA-2 (apartat de generalitats), no poden ser superiors en més d'un 20% als nivells de referència establerts en la mateixa ITC.

Classe enllumenat	Color al mapa	Nivell mínim objectiu	Nivell màxim admès
S2	VERD	10 lx	12 lx
S3	BLAU	7,5 lx	9 lx
ME4b	VERMELL	11,25 lx	13,5 lx

A continuació es pot veure el mapa segons la classificació de carrers:



5.1 Classificació lumínica dels carrers de Riumar.

Font: Informe de control de qualitat de les P2, P3 del “Contracte de subministrament i servei integral de l’Enllumenat Públic del municipi de Deltebre”.

5.1.1. Mètode cotxe enregistrador

En la pràctica, es compte amb un cotxe que porta instal·lats tres sensors luxomètrics del tipus LX-GPS, marca Afeisa. Aquest model de sensors permet connectar simultàniament fins a 3 sondes, amb GPS integrat i connexió USB, juntament amb un software de gestió de la informació.

Un cop classificats els carrers, el primer pas vas ser duu a terme una batuda per tota la població amb el sistema del cotxe registrador per enregistrar els valors lumínics actuals.

En el següent mapa queda plasmat el resultat d’aquest estudi. Mitjançant la llegenda de colors, es visualitza fàcilment, quins carrers tenen un servei lumínic correcte, quins tenen una manca d’il·luminació, i quins tenen un valors per sobre dels màxims permesos, i per tant, estan provocant una despesa energètica i econòmica innecessària.



5.2. Avaluació dels nivells lumínics de Riumar.

Font: Informe de control de qualitat de les P2, P3 del "Contracte de subministrament i servei integral de l'Enllumenat Públic del municipi de Deltebre".

En la taula següent es poden veure els resultats obtinguts numèricament.

Diagnòstic	Actual			
	Trams	Percentatge	Distància [km]	Percentatge
Manca d'il·luminació	8	25,8%	3,51	38,8%
Nivell correcte	1	3,2%	0,5	5,5%
Excés d'il·luminació	22	71%	5,04	55,7%
Total	31	100%	9,05	100%

A més a més dels valors actuals, s'han considerat dos escenaris més:

- **Depreciació del 10%:** Aquest escenari representa l'estat a 1 any vista en cas de no es faci cap tipus de manteniment preventiu, en el qual, es considera que hi haurà una depreciació del 10%.
- **Depreciació del 20%:** Aquest escenari representa l'estat a 2 any vista en cas de no es faci cap tipus de manteniment preventiu, en el qual, es considera que hi haurà una depreciació del 20%.

Els resultats obtinguts d'aquests dos possibles escenaris futurs són:

Diagnòstic	Previsió 1 any			
	Trams	Percentatge	Distància [km]	Percentatge
Manca d'il·luminació	8	25,8%	3,51	38,8%
Nivell correcte	2	6,5%	0,61	6,7%
Excés d'il·luminació	21	67,7%	4,93	54,5%
Total	31	100%	9,05	100%

Diagnòstic	Previsió 2 anys			
	Trams	Percentatge	Distància [km]	Percentatge
Manca d'il·luminació	8	25,8%	3,51	38,8%
Nivell correcte	8	25,8%	1,98	21,9%
Excés d'il·luminació	15	48,4%	3,56	39,3%
Total	31	100%	9,05	100%

De l'observació de les taules anteriors, es pot determinar:

- Hi ha més d'un 70% dels trams que presenten un excés d'il·luminància, provocant un sobrecost energètic i econòmic innecessari. A més a més, aquest excés és extrem per a prop de un 50% dels trams on, considerant una depreciació del 20%, és a dir, dos anys sense cap tipus de manteniment preventiu, encara hi haurà una il·luminació excessiva. Seria molt recomanable estudiar una acció de reducció.
- En la situació actual només un 6,5% dels trams presenten uns nivells lumínics d'acord amb la normativa i reglamentació vigent.
- Un 25% dels trams i quasi un 40% de la distancia total presenten una manca d'il·luminació. L'únic punt positiu és que en cas de no produir-se cap acció de manteniment, aquests percentatges no augmentarien.

5.1.2. Mètode dels nous punts

Un cop realitzat l'estudi mitjançant el cotxe amb els luxòmetres, es va procedir a realitzar un estudi mitjançant el mètode dels nou punts. L'avantatge principal d'aquest mètode és que permet obtenir valors més precisos de la il·luminància, i a partir d'aquests, es pot obtenir el valor de la uniformitat mitja. L'inconvenient és que és un mètode molt més lent i farragós.

Com no era viable fer un estudi de cadascun dels carrers per falta de temps, es va decidir agafar un mostreig que representes a la zona.

Per exemple, en el cas de Riumar, el qual té tots els carrers classificats com tipus S3, menys els passeig marítim que és del tipus ME4b en un tram i S2 en un altre. Així doncs, es va decidir fer dos mesures en el passeig marítim (tipus ME4b i S2), i unes altres dues en dos carrers diferents (tipus S3).

En l'Annex B. *Mètode dels 9 punts. Aplicacions pràctiques a Riumar*, s'adjunta informació complementària. En ell es pot consultar les dades específiques de cadascun dels 4 punts, com ara la

Conclusions:**Mesura nº 1:**

Segons la mateixa ITC-EA-2 del RD1890/2008 els valors per a la il·luminància per a una zona tipus ME4b han d'estar compresos entre 11,25lx i 13,5lx. Per tant, aquest mesura indica que en el passeig marítim de Riumar, la il·luminació és insuficient. Òbviament si en l'estat actual, ja hi ha una manca d'il·luminació, en els casos hipotètics d'un any vista i dos anys vista sense manteniment, és a dir, amb una depreciació del 10% i 20% respectivament, la situació s'agreuja considerablement. Per tant, l'acció correcta a realitzar seria un canvi de les lluminàries per unes que arribin als nivells adequats, i si això, per falta de pressupost o per altres motius, no es pogués i portar a la pràctica, com a mínim, per no agreujà la situació, s'haurà de programar un manteniment preventiu.

Per el que fa a la uniformitat mitja el mateix reglament marca que ha d'estar per sobre de 0,4. Clarament tampoc compleix aquest punt, i per solucionar-ho les diferents vies que hi són:

- Si es suficient, canviar el tipus de lluminària.
- Fer obra al carrer per arreglar la distribució de les lluminàries.
- Canviar l'altura de les lluminàries.
- Afegir-hi una lluminària entre mig de els existents

Mesura nº 2:

Aquest exemple , és el contrari al anterior. Segons la ITC-EA-2 del RD1890/2008 els valors per a la il·luminància per a una zona tipus S2 han d'estar compresos entre 10 i 12lx. Per tant Aquest tram de via està sobreil·luminat, i ho seguirà estar un cop passats els dos anys sense manteniment. Aquest tram està mal dimensionat i suposa un cost energètic i econòmic innecessari.

Per el que fa a la uniformitat, el valor mínim establert per RD1890/2008 es de 0,3, per tant està per sobre del mínim i en aquest cas no cal prendre mesures, es compleix la normativa en aquest aspecte.

Mesura nº 3:

La il·luminància està al límit dels nivells admissibles, ja que per al cas de vies tipus S3, el interval està entre 7,5lx i 9lx. Aquest cas, per tant, sí que és correcte, a més a més, en el cas hipotètic de 1 any sense manteniment preventiu, la Em, seria de 8,1lx i, encara estaria dintre de l'interval; però en el cas dels dos anys, quedaria una il·luminància de 7,2lx, valor per sota del mínim. La conclusió per tant és que seria recomanable realitzar un manteniment un cop passat el primer any.

Respecte el valor de la uniformitat mitja, el valor mínim per a vies de tipus S3 és de 0,2. Com en el cas anterior, la uniformitat d'aquesta via està per sobre del valor exigít, per tant no s'ha de procedir a realitzar cap canvi en aquest aspecte.

Mesura nº 4:

La il·luminància està molt per sobre dels nivells admissibles, l'interval està entre 7,5lx i 9lx. En aquest cas, per tant, hi ha un excés d'il·luminació, i el seguiria havent, en cas que no es portes cap manteniment durant els pròxims dos anys. Aquest valor d'il·luminància és exagerat, la acció correctiva adequada seria canviar el tipus de làmpada per una amb menys flux lluminós (lm).

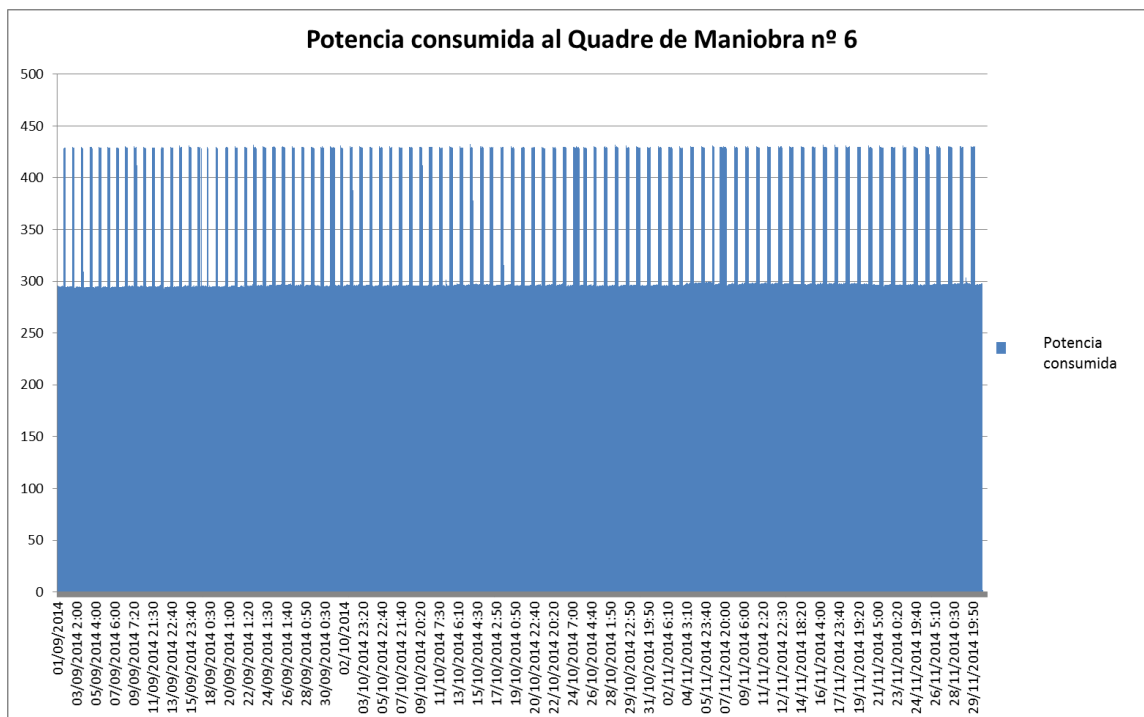
La uniformitat torna a tenir un valor correcte, superior al mínim exigít de 0,2, per tant, no cal realitzar cap canvi en relació a aquesta.

5.2. Estudi del servei energètic de Deltebre

Per a realitzar aquest estudi es farà ús de la base de dades enregistrades per el sistema de telegestió Cimelux durant els mesos de setembre, octubre i novembre del municipi de Deltebre. Tots aquests registres, un per cada quadre de maniobra (QM a partir d'ara), cada 10 minuts, durant els tres mesos, es poden trobar al *Annex E. Dades de sistema de telegestió de Deltebre*.

El primer que s'ha de fer en un estudi energètic és comparar el consum teòric (dintre de les variacions del +/- 5%) amb el consum real enregistrat pel sistema de telegestió. En el cas que no siguin iguals caldrà prosseguir amb un estudi més exhaustiu. Per el contrari, si és el mateix, és conclou que durant aquell període no hi ha hagut incidències significatives.

Com ja s'ha esmentat anteriorment, l'energia consumida és el producte de la potencia consumida per el temps en que s'ha estat consumint. Que el consum d'energia sigui diferent al teòric, vol dir, o bé que la potencia és diferent a la teòrica, o bé, que el problema resideix en la variable temps. Com les potencies consumides al llarg del període estan guardades a la base de dades del sistema de telegestió, es pot veure si aquestes han variat, o per el contrari, s'han mantingut en els valors adequats, i per tan el problema, està en el rellotge o en el sistema de regulació.



5.3 Gràfica de la potencia consumida del QM nº6 de setembre, octubre i novembre.

Font: Dades de sistema de telegestió de Deltebre. Setembre-Novembre de Deltebre (Annex E).

A continuació es mostra llista dels casos més típics de fallades en el sistema energètic exemplificats a partir de les dades guardades per el sistema de telegestió de Deltebre.

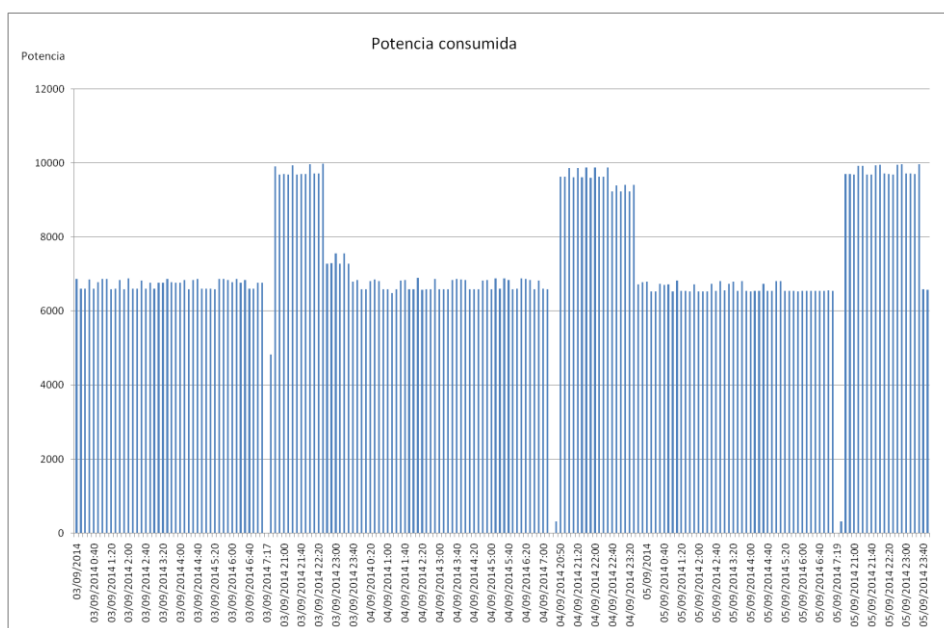
1- Connexions il·legals:

Són detectables gràcies a que queda enregistrat un consum de potència major. Si hi ha una pujada de consum en un seguit de registres consecutius, el més probable és que hagi sigut causat per una connexió il·legal, o per una connexió extra. Si es una connexió il·legal, hauria d’haver estat solucionada en com a màxim una setmana, així que només es necessari mirar els registres. Si la potencia segueix sent elevada al cap d’una setmana, el problema no va ser solucionat de manera correcta. El termini d’una setmana ve donat perquè el personal de manteniment fan una ruta per tota la ciutat un cop a la setmana, i per tant, si durant una setmana sencera no s’ha enregistrat la connexió d’un aparell a una làmpada, és perquè aquella setmana no es va fer la ruta de manteniment, o no la van fer de manera completa, per tant, es una acció a sancionar.

2- Connexions extres:

Com en el cas anterior es detecten per una pujada en la potencia consumida. S'ha d'anar en compte perquè aquestes són connexions legals, encara que molts cops en un primer moment poden semblar que no, ja que gràficament tenen el mateix comportament que les connexions il·legals.

Primer cal mirar si durant el període ha estudiar va haver algun esdeveniment a la ciutat que pogués provocar la pujada de potencia. El següent exemple mostra el que probablement és una connexió extra a la xarxa elèctrica d'enllumenat.



5.4 Gràfica de la potencia consumida del QM nº 11. Detall de 3 dies del mes de octubre.

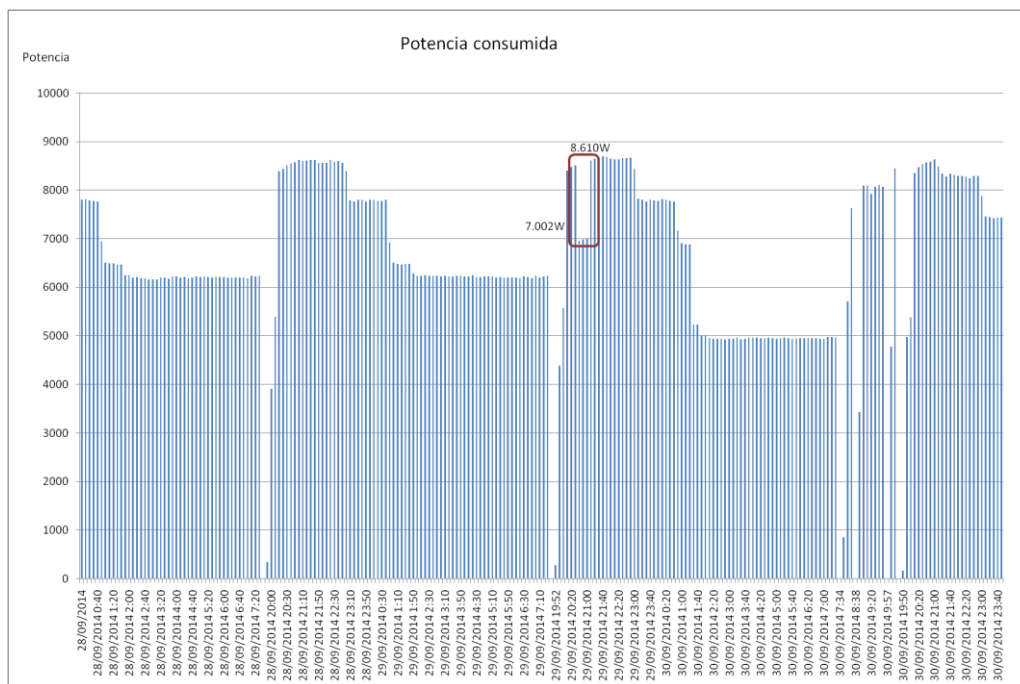
Font: Dades de sistema de telegestió de Deltebre (Annex E).

Les gràfiques, obtingudes a partir de les dades enregistrades per el sistema de telegestió del quadre número 11 de la ciutat de Deltebre, mostren la potencia del total de làmpades d'aquest quadre. Com es pot veure, no mostra un valor estable, ni durant el període a plena potencia, ni durant el període de reducció, si no que fluctua de manera constant uns 200W.

Aquesta fluctuació no pot estar causada per algun fet intern, ja que això va perdurar 3 mesos seguits, termini de temps massa gran per a que el servei de manteniment no se'n adoni del problema. Tres mesos també és massa temps per connexions temporals com feries, paradetes de mercat, etc. La hipòtesi més probable és que sigui una connexió permanent però que no forma part del sistema d'enllumenat, per exemple, cap dintre d'aquesta hipòtesi que fos una bomba d'aigua de les que hi ha instal·lades al riu.

3- Caiguda d'un dels circuits del quadre de maniobres

En el gràfic que es mostra a continuació, extret de les dades de setembre del quadre número 2, es pot veure com en el dia 29 hi ha una baixada en la potencia durant una hora aproximadament.



5.5 Gràfica de la potencia consumida del QM nº 2 el 29 de setembre. Font: Dades de sistema de telegestió de Deltebre. (Annex E).

Segons el inventari (Annex F) aquest quadre té 5 circuits, i hi ha un d'ells, el número 1, que té una potencia de 1610W, exactament el valor de potencia que cau durant una hora el dia 29.

Nº Circuit	Potencia sense reducció
1	1610
2	2363,5
3	2051,5
4	1308
5	844,5

Tanmateix, si es realitza una cerca en el llistat d'incidències (Annex G) d'aquell mes, es troba que hi ha una incidència que coincideix en data i número de quadre i que diu que el circuit número 3 ha caigut.

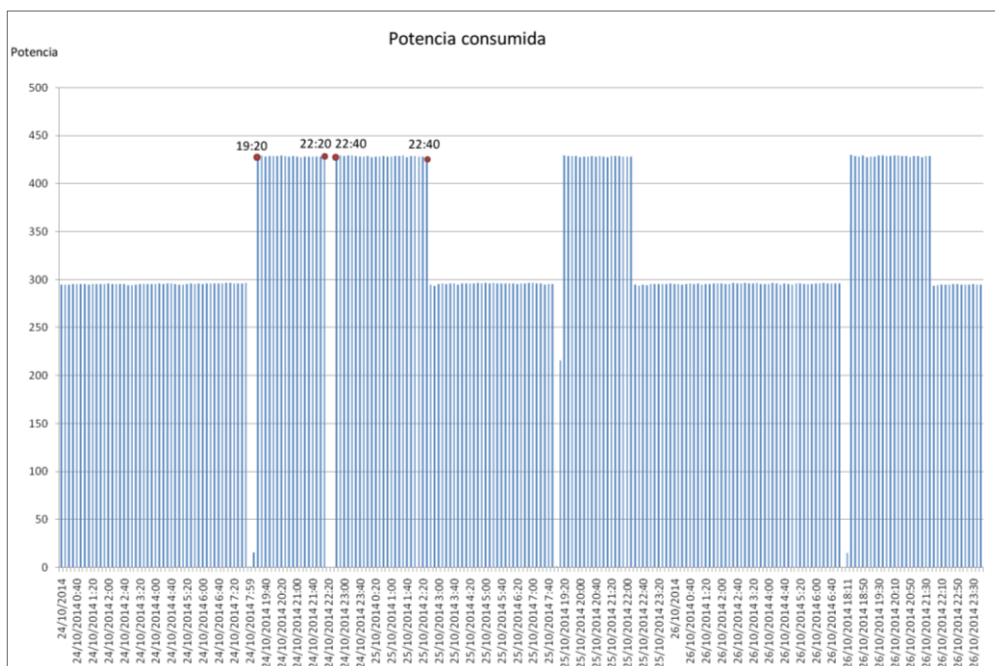
Que indiqui que és el número 3 enloc del 1 no té gaire importància, segurament es degut a un error humà comés quan es va enregistrar la incidència, o un error en el inventari, és a dir, que en el inventari el circuit anomenat 1, en la realitat sigui en el que en el sistema de telegestió és el 3.

En aquest cas, sí que és pot dir de manera bastant segura que el motiu d'aquesta caiguda de la potencia va ser la caiguda d'un dels circuits, i com que l'incidència es va arreglar en aproximadament una hora, és a dir, menys de 4, com mana el plec de condicions acordat entre l'ajuntament i l'empresa energètica, es considera que en aquest cas s'ha portat a terme un bona gestió per part de l'empresa.

4- Caiguda general del quadre de maniobra.

Tot i estar programats per estar en funcionament durant unes hores concretes i a una potencia concreta, si per algun motiu, un quadre de maniobra es desconnecta i falla, es reinicia. Aquest reinici però, és total, és a dir, al reiniciar-se torna a començar tot el procés des del principi, no des de on estava.

La següent gràfica està obtinguda a partir de les dades del quadre de maniobra número 6 del mes d'octubre i mostra un clar exemple d'aquest fet.

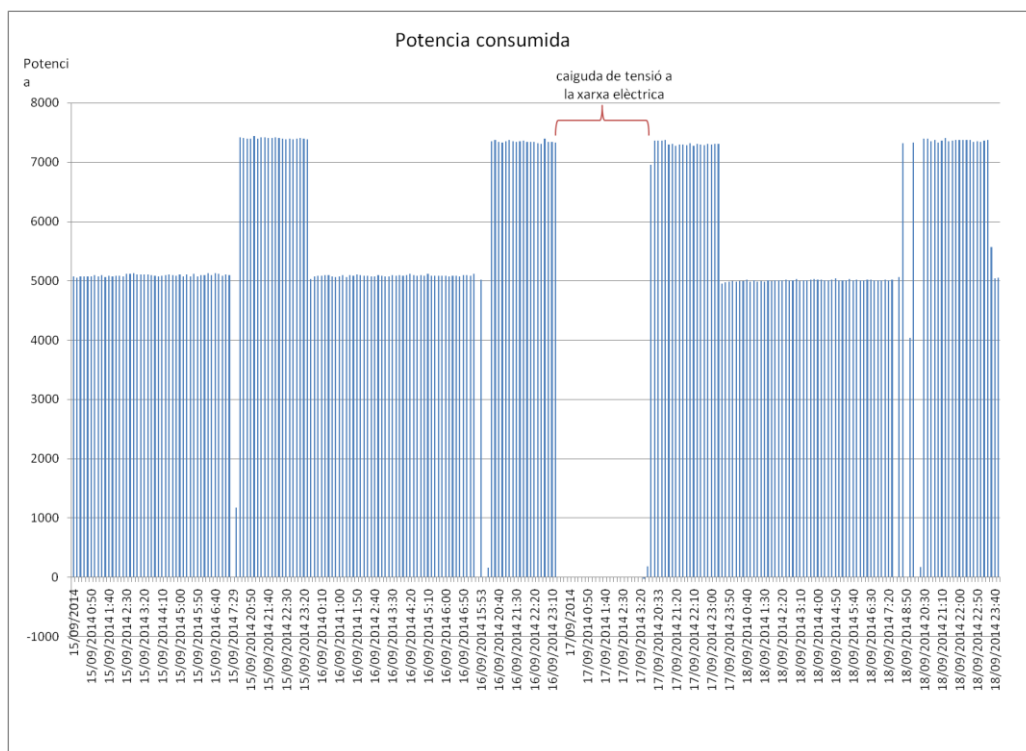


5.6 Gràfica de la potencia consumida del QM nº 6. Detall de 3 dies del mes de octubre. Font: Dades de sistema de telegestió de Deltebre. (Annex E).

El dia 24 d'octubre es va iniciar el període d'il·luminació a les 19:20, hora correcta, i a màxima potència, com correspon a les 3 primers hores d'estar en funcionament. Però un cop passades aquestes tres hores, en el moment que s'havia de fer la regulació, per algun motiu el qual es desconeix, el quadre sencer es va reiniciar. Aquest reinici provoca que el sistema torni a començar, i per tant, a les 22:40 moment en el que es tornar a connectar, en lloc de consumir la potència reduïda, comença de nou tot el procés; tornar a estar 3 hores a plena potència, i després, ja sí, s'activa la regulació, la qual, òbviament, dura menys que en un dia normal, per que a les 7:40 es deixa d'alimentar al sistema, i per tant s'apaga.

5- Caiguda de tensió de la xarxa elèctrica

En el cas següent, obtingut a partir de les dades enregistrades amb el sistema de telegestió, durant el mes de setembre del quadre 12, es pot observar un exemple de caiguda de tensió de la xarxa elèctrica.

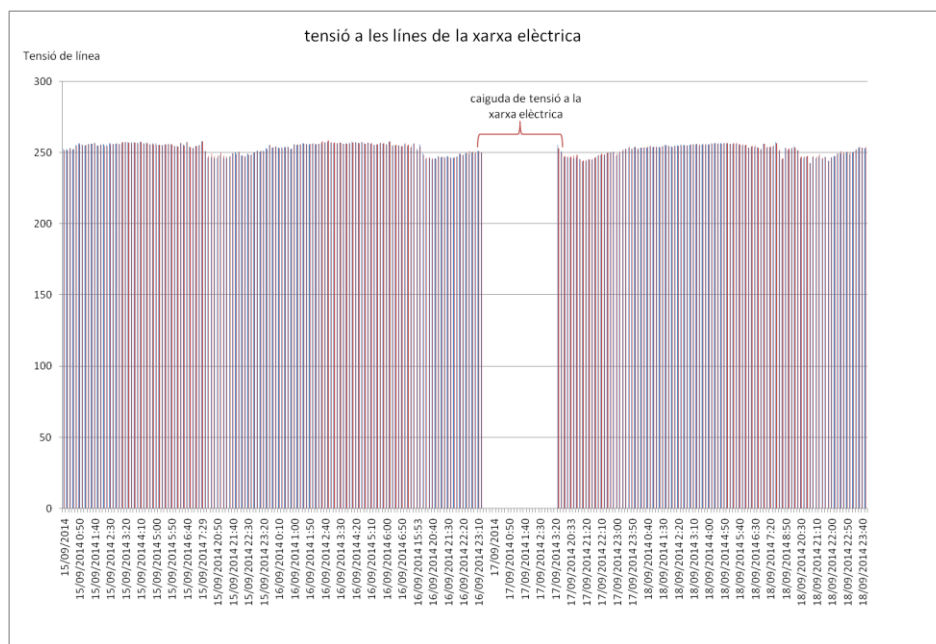


5.7 Gràfica de la potència consumida del QM nº 12. Detall de 4 dies del mes de setembre.

Font: Dades de sistema de telegestió de Deltebre. (Annex E).

Igual que en un cas anterior, al haver-hi una caiguda en l'alimentació, el sistema es reinicia, i per tant, quan torna a començar o fa altre cop des del principi, és a dir, amb 3 hores a plena potència i després el període de reducció, sense tenir en compte que el període a plena potència ja s'havia realitzat amb anterioritat.

Per comprovar que realment és una caiguda de tensió de la xarxa, es poden graficar les 3 tensions de la línia, valors que també enregistra el sistema de telegestió.



5.8 Gràfica de les tensions de les línies elèctriques. Detall de 4 dies del mes de setembre.

Font: Dades de sistema de telegestió de Deltebre. (Annex E).

Com es pot veure clarament en la gràfica anterior, durant unes hores del dia 17 de setembre, la companyia elèctrica va deixar de subministrar tensió, i per això, totes les làmpades van romandre apagades. Es pot assegurar doncs, que la parada en la il·luminació, va ser causada per motius externs.

6- Làmpades apagades:

En aquest cas, el que és detecta quan es miren les dades del sistema de telegestió és que hi ha hagut una baixada en la potència consumida. Al realitzar una gràfica de la potència de tots els registres, es veu una baixada d'aquesta deguda a la potència que han deixat de consumir les làmpades que estan apagades. En aquest cas cada làmpada consumeix una potència d'uns 70W que al sumar-li el consum del equip fa un total d'uns 82W. Així doncs quan es detecta un període on el consum ha disminuït, s'ha de procedir a mirar aquest període concret amb més deteniment: si la baixa es d'uns 82W o múltiple

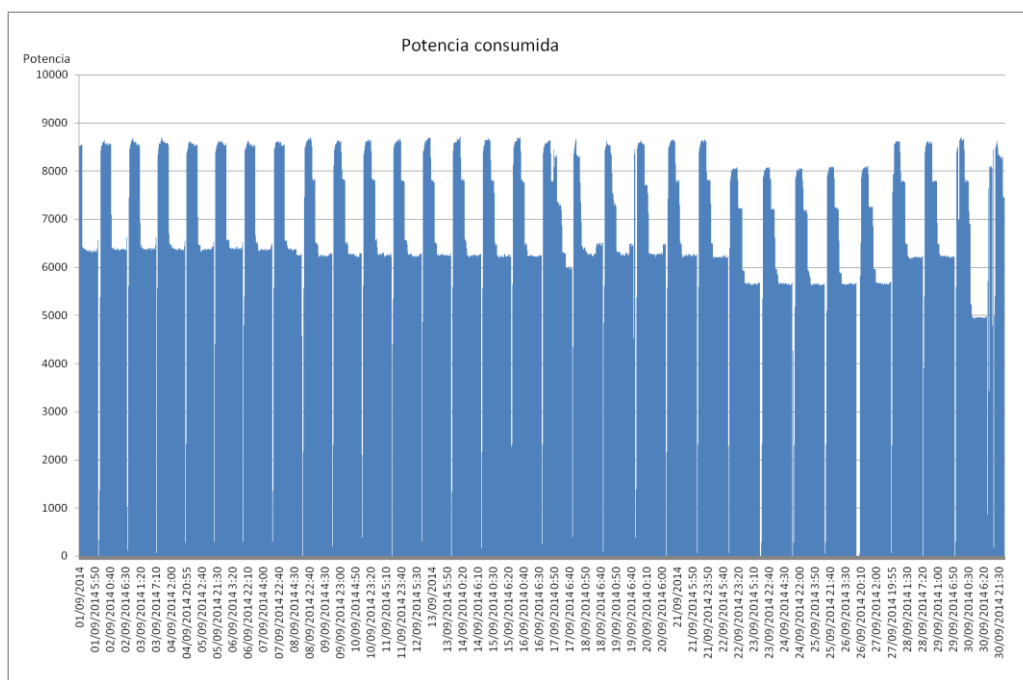
d'aquest és perquè s'ha espatllat una làmpada, o algun cable no funciona bé, i això provoca que un grup de làmpades (per exemple les d'un carrer) no estiguin funcionant quan haurien de fer-ho.

Un cop detectat aquest fet, s'ha de estudiar si la companyia energètica ha realitzat una gestió adequada. Si va haver-hi notificació del fet per part d'algú (veïns, policies, escombriaires...) la esmentada disminució de la potencia, és a dir, la làmpada trencada, el cable espatllat... no pot durar més de 48 hores, i si supera els dos dies es considera que el sistema de manteniment ha sigut ineficient. Si per el contrari, no hi ha hagut notificació, el termini màxim per arreglar-ho és d'una setmana, ja que el contracte estableix que s'ha de fer una ruta de manteniment un cop per setmana. Si s'allarga més d'una setmana, s'entén que no s'ha fet la ruta, o no de manera completa, per lo que el sistema de manteniment es tornar a classificar com d'ineficient.

Exemple 1:

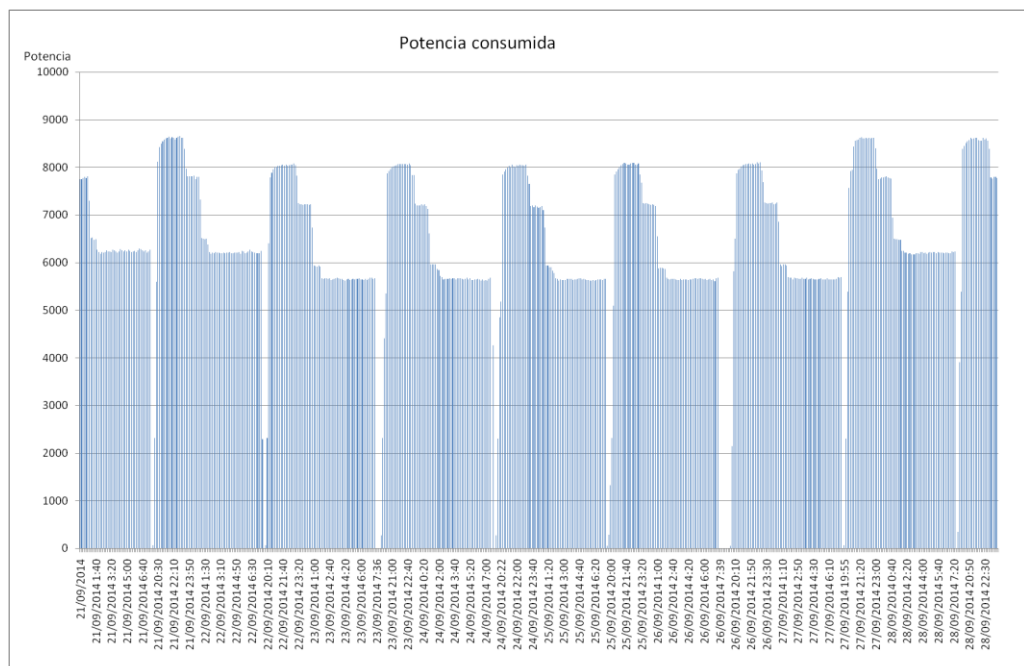
El següent gràfic, les dades han sigut extretes del sistema de telegestió de Deltebre durant el mes de setembre del 2014.

En el gràfic es pot observar que durant cinc dies seguits la potencia va disminuir considerablement.



5.9 Potencies consumides del QM nº 4 el mes de setembre. Font: Dades de sistema de telegestió de Deltebre. (Annex E).

En la següent gràfica, es poden veure en detall els dies on va disminuir la potència.



5.10 Detall de 8 dies del mes de setembre. Font: Dades de sistema de telegestió de Deltebre. Setembre-Novembre (Annex E).

La potència en el període sense reducció mitja durant els dies en funcionament correcte va ser de 8550W i durant la reducció va ser de 6207W. En canvi durant els cinc amb comportament anòmal la potència sense reducció va ser de 8011W i la potència en hores de reducció va ser de 5660W.

La diferència entre les dues potències sens reducció, i entre les dues potències amb reducció, és en ambdós casos de 540W.

El plec de condicions entre l'ajuntament de Deltebre i la companyia energètica diu que si la potència disminueix l'equivalent a més de 5 làmpades es susceptible a ser una incidència greu. En aquests casos només poden passar com a màxim 4 hores després d'haver detectat la incidència, en aquest termini s'hauria d'haver solucionat.

Com les potències de les làmpades d'aquest quadre son totes de 81,5W o de 57,5W i dues de 109W, la caiguda de potència sí que és superior a la consumida per 5 làmpades i per tan es considera un incidència greu.

A partir de les dades, la conclusió que es pot treure és que la potència va disminuir perquè les làmpades estaven apagades, però probablement no perquè es fonguessin totes de cop, si no per un motiu extern, ja que és un valor massa.

La hipòtesi de la caiguda d'uns dels circuits del quadre queda descartada perquè la disminució de la potencia en ambdós casos (amb reducció i sense reducció) és la mateixa per tots dos. Com tots les circuits tenen sistema de regulació, si un circuit es desconnectes la potencia perduda seria més gran durant el període a plena potencia i mes petita durant l'horari de reducció. Tampoc sembla, per la mateixa raó que en el cas anterior, que pogués ser un problema en el cablejat d'una zona, i que per exemple es quedés sense llum tot un carrer.

No hi ha suficient dades o informació per poder dir, quina és la causa, el que si es pot assegurar amb la informació enregistra per el sistema de telegestió, es que hi ha hagut una mala gestió del servei.

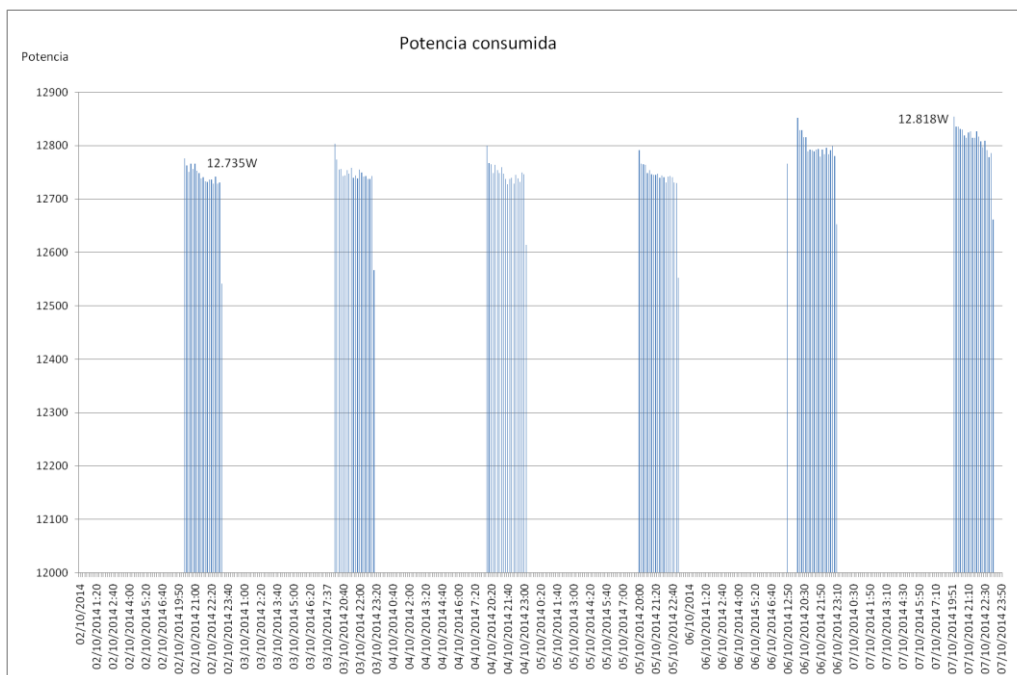
Exemple 2:

En aquest segon exemple, el cas a estudiar és una incidència enregistra en el full d'incidències del mes d'octubre, la qual tracta sobre un punt de llum apagat en un carrer durant uns quants dies:

DEL447	Xavi	06/10/2014	06/10/2014	06/10/2014	Cerrada
Localización:	No definida				
Descripción:	Trucada al num.900. Punt de llum apagat al Carrer Doctor Joan Bonet num. 48 des de fa varis dies.				

Segons les dades del inventari (Annex F), aquest carrer forma part del quadre número 37, i totes les làmpades que estan instal·lades en ell (19 unitats en total) consumeixen a plena potencia 81,5W.

Al observar la gràfica dels dies pròxims a la data del registre de la incidència es pot veure com en els dies anteriors, la potencia està als voltants de 12.735W (valor mig) mentre que a partir del dia 6, un cop reportada la incidència, torna a ser de 12.818W (valor mig), és a dir, 83W de més, valor que coincideix amb la potencia de les làmpades d'aquest carrer (81,5W).



5.11 Detall de 6 dies del mes de octubre del QM nº 37. Font: Dades de sistema de telegestió de Deltebre. (Annex E).

No es pot saber si la incidència es va arreglar abans de les 4 hores de ser reportada, com mana el plec de condicions, però en tot cas, al dia següent ja funcionava de manera correcta, és a dir, un cop reportada, és va arreglar abans del següent ús, que al cap i a la fi, és el que realment importa, així doncs, aquest és un exemple on sí que es va fer una bona gestió.

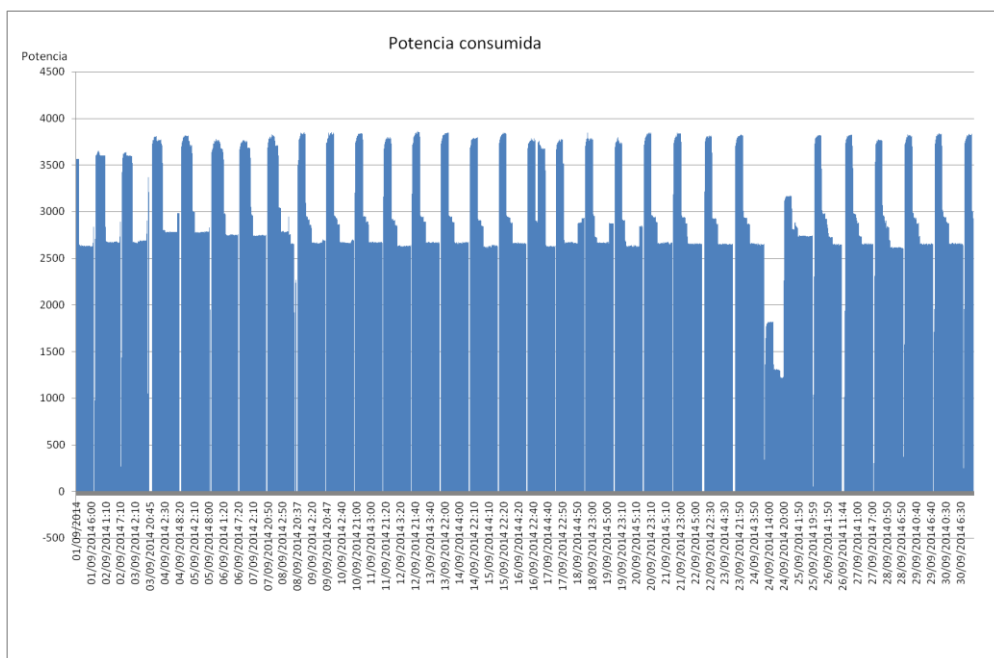
De totes maneres, cal fer notar, que és fa una ruta de manteniment per tota la ciutat un cop a la setmana, sembla poc probable que en 6 dies, el personal de manteniment no hagués realitzat la ruta. En tot cas, encara que de manera dubtosa, aquest cas queda dintre les condicions marcades en el plec acordat entre l'ajuntament i empresa energètica.

7- Rellotge desajustat:

El desajust del rellotge com ja s'ha esmentat anteriorment pot provocar que s'apaguin les làmpades abans d'hora, o s'encenguin massa tard; o bé, el cas contrari, s'estiguin enceses més temps del establert. Totes aquestes casuístiques provoquen una alteració en el consum energètic.

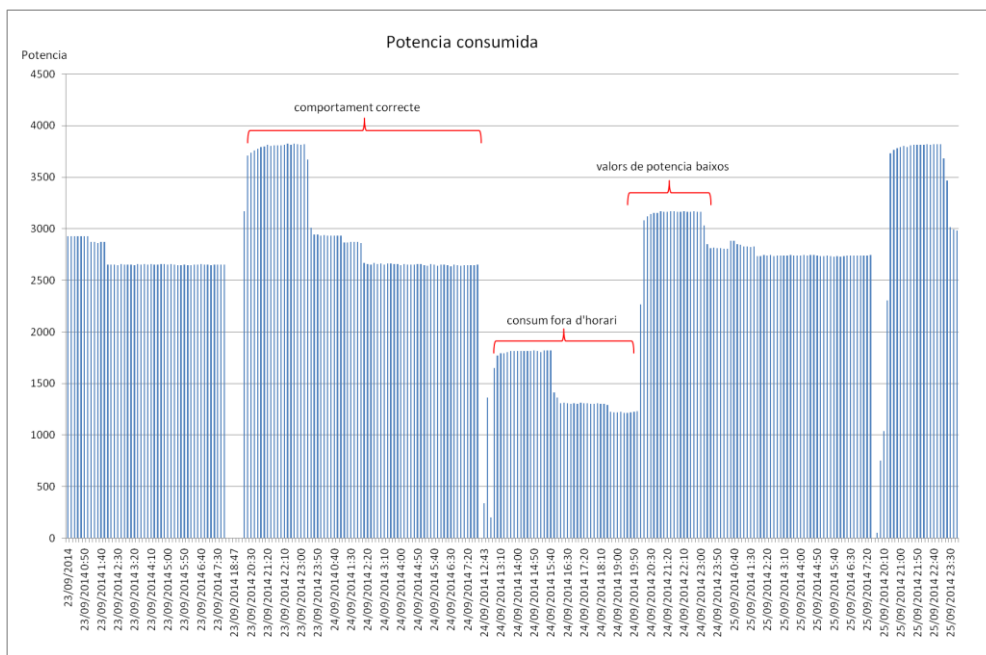
També a aquest cas s'apliquen les normes de 48 hores com a màxim en el cas que hi hagi hagut un avís de que el sistema fallava, i una setmana si no hi ha hagut notificació. En cas d'excedir-se aquests terminis, es considerarà que s'ha fet una mala gestió de la qualitat del servei.

La següent gràfica mostra la potència durant el mes de setembre del quadre número 3 de Deltebre. Només amb un cop d'ull ja es veu que a finals de mes va haver-hi un comportament estrany.



5.12 Potències consumides del QM nº 3 durant el mes de setembre. Font: Dades de sistema de telegestió de Deltebre. (Annex E).

Al examinar més detalladament el gràfic, s’observa que s’ha produït un consum d’energia durant el dia, és a dir, durant hores en que el sistema d’enllumenat públic hauria d’estar apagat.



5.13 Detall de 3 dies del QM nº 3 durant el mes de setembre. Font: Dades de sistema de telegestió de Deltebre. (Annex E).

El motiu per el qual es van encendre algunes llums durant el dia 24 no és pot saber només amb les dades que s'obtenen del sistema de telegestió, però tot indica que un o alguns dels circuits es van encendre quan no tocava, possiblement a causa d'alguna problema amb el rellotge del sistema de telegestió, i després, a les 20:40, quan es connecten tots els altres circuits, no s'arriba a la potencia habitual (uns 3800W) perquè hi ha un alguns d'ells, que ja han entrat en reducció unes hores abans, i per tant no aporten la potencia màxima si no la reduïda.

Encara que el motiu no es pugui aclarir al 100%, el que si que es pot afirmar és que hi ha hagut una connexió innecessària, i això vol una despesa energètica i econòmica extra.

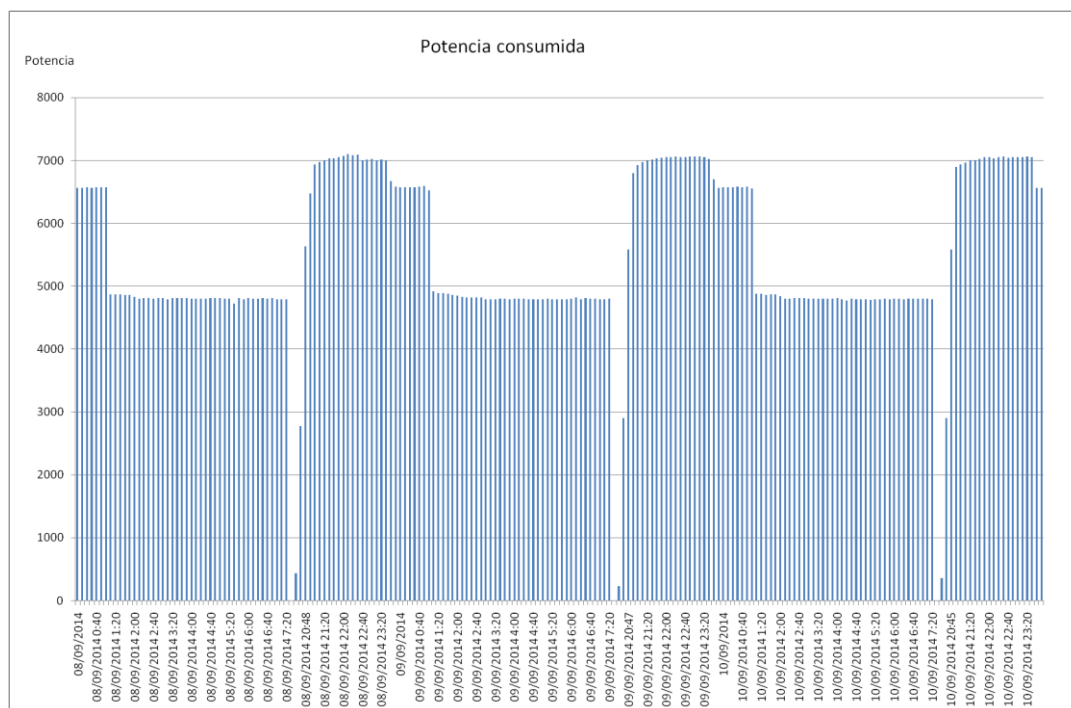
Amb les dades obtingudes per el sistema de telegestió mostrades en el gràfic anterior i amb el cost del KWh, que és de 0,21€, s'obté que aquesta connexió en horari no pertinent ha suposat una energia extra de 11,26 KWh, i per tant, 2,4€.

8- Mal/ Nul funcionament de la regulació.

Si durant l'estudi de les dades enregistrades pel sistema de telegestió, hi ha una variació de la potència i no sembla estar causada per cap dels casos anteriors, cal veure la franja horària on es duu a terme la regulació, i comprovar si és igual a la del període anterior o bé hi ha hagut alguna modificació. Cal tenir en compte que en el 99% dels casos si la regulació ha canviat es perquè hi ha hagut un canvi de lluminària, ja que la regulació ve de fàbrica, i encara que modificar-la és possible, costa molt de temps i diners.

El següent gràfic és del quadre número 1 durant el mes de setembre, i en ell s'aprecia com el procés de regulació s'ha fet en tres trams enlloc de en dos. Aquest quadre en comptes de tenir totes les làmpades amb la mateixa regulació programada, en té unes quantes que fan a les 3 hores de estar a plena potencia i unes altres que la fan a les 5 hores, fet que provoca que en comptes de tenir dos zones en el gràfic; plena potencia, i potencia reduïda, hi hagi 3.

Durant el mes de setembre, a Deltebre, la reducció es fa a les 3 hores d'estar a plena potencia. Que hi hagi un grup considerable de làmpades que estan a plena potència dos hores més de les necessàries es un malbaratament energètic i econòmic.



5.14 Detall de 3 dies del QM nº 1 durant el mes de setembre. Font: Dades de sistema de telegestió de Deltebre. (Annex E).

Des de les 23:40h fins la 1:00h la potencia és de 6580W quan hauria de ser d'uns 4805W, és a dir, 1775W de més. Això traduït a energia són 2840Wh al dia, que en un mes suposen, 85.200Wh

$$E_{\text{dia}} = 1,6\text{hores} \times 1775\text{W} = 2840\text{Wh/dia}$$

$$E_{\text{mes}} = 2840\text{Wh} \times 30\text{dies} = 85.200\text{Wh/mes}$$

El cost del kWh és de 0,21€, així doncs, a causa de la mala regulació s'estan pagant 17,89€/mes de més.

Com la regulació de les làmpades ve de fàbrica i és molt costos canviar-la, és probable que aquest problema perduri fins s'espatllin i toqui canviar-les.

En aquest exemple, un any en aquesta situació suposaria pagar 214,70€ de més.

9- Pujada de la potencia reactiva

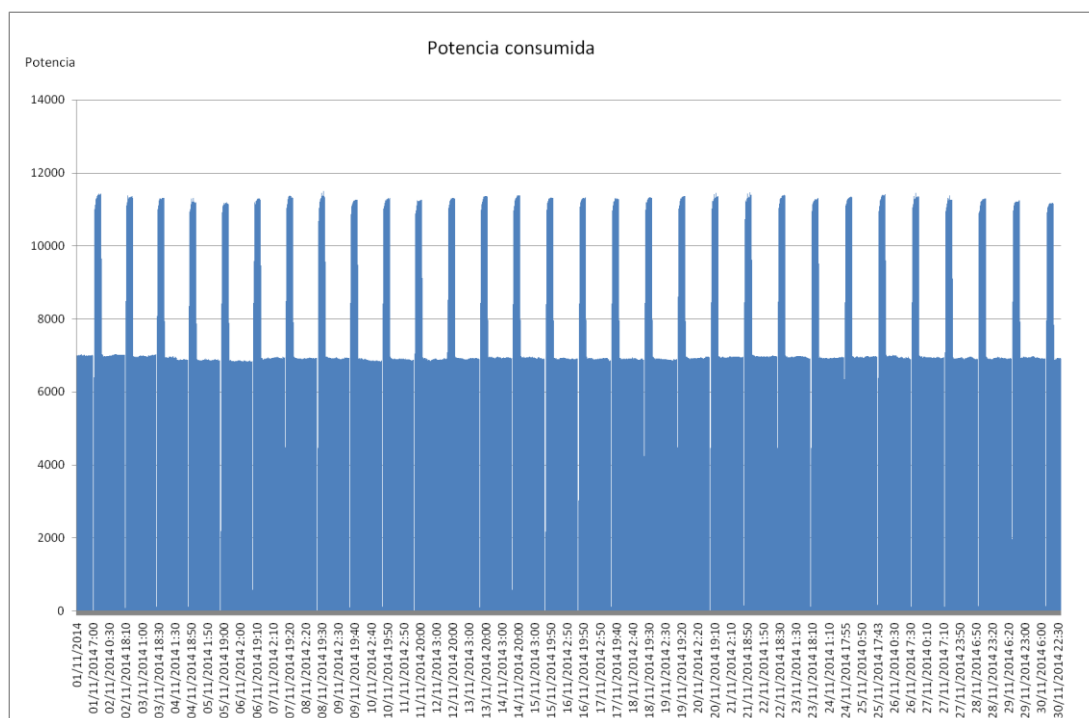
Per exemple, segons dades enregistrades per el sistema de telegestió, el dia 01/09/2014 a les 20:50 en el quadre 001, va haver-hi un factor de potencia de 0,956, és a dir, inferior a 0,96, i per tant penalitzable.

En aquest cas entra dintre la primera franja (entre 0,95 i 0,9) per lo que suposarà un cost extra de 0,041554€/kvar.

10- Casos excepcionals

Com ja s'ha explicat anteriorment, hi ha casos excepcionals, en que gràcies a les dades es detecta un consum incorrecte, però no es pot deduir l'origen d'aquest. L'exemple següent és un d'aquets casos .

En el gràfic que es mostra a continuació, es pot veure la potencia de les làmpades durant tot el mes de novembre del quadre 5. Aparentment sembla un comportament correcte, amb dos zones per dia, la de les hores a plena potencia i la de les hores en reducció de potencia.



5.15 potencies consumides del QM nº 5 durant el mes de novembre. Font: Dades de sistema de telegestió de Deltebre. Setembre-Novembre (Annex E).

Segons les dades enregistrades per el sistema de telegestió la potencia en hores plena és de aproximadament 11.284W i la potencia en hores de reducció és de 6995W. En canvi, les dades teòriques d'aquest quadre indican que el total de làmpades tenen un potencia de 5623,5W a plena potencia, i de 3657W durant la reducció.

SITUACIÓ			PUNTS DE LLUM		Plamp+eq	Plamp+eq	Potencia	Potencia
CARRER	QUADRE	CIRCUIT	UNITATS	TIPUS	Hores plena	Reducció	total. Hores	total. Reducció
BERNAT	5	1	9	VIAL	81,5	53	733,5	477
CAPADELLA	5	1	5	VIAL	81,5	53	407,5	265
SARSET	5	1	2	VIAL	81,5	53	163	106
BERNAT	5	2	3	VIAL	81,5	53	244,5	159
CAPADELLA	5	2	4	VIAL	81,5	53	326	212
CAPADELLA	5	3	13	VIAL	81,5	53	1059,5	689
CORB MARÍ	5	3	9	VIAL	81,5	53	733,5	477
CORB MARÍ PASSATGE	5	3	4	VIAL	81,5	53	326	212
CAPADELLA	5	4	10	VIAL	81,5	53	815	530
CORB MARÍ	5	4	8	VIAL	81,5	53	652	424
SARSET	5	4	2	VIAL	81,5	53	163	106
TOTAL							5623,5	3657

Una diferencia tant gran indica o ve un error en les dades teòriques, o un problema greu en tot el quadre. Un cas com aquest ha de ser reportat immediatament per fer una revisió urgent de tot el quadre, ja que només amb les dades no es pot saber que va passar, ni on resideix l'error.

Encara que la gràfica anterior és del mes de novembre, les dades enregistrades per als dos mesos anteriors són de la mateixa magnitud, és a dir, que el consum extra d'energia, com a mínim, va durant tot un trimestre.

Les dades del consum real de potencia durant els 3 mesos són les següents:

Dades:	Setembre	Octubre	Novembre
Nº dies	30	31	30
Potencia Plena	11407,17W	11526,9W	11334,7W
Horari P.Plena	3,04h	3,94h	5,49h
Consum Energia Plena	1040,33kWh	1407,9kWh	1866,8kWh
Potencia reduïda	7611,5W	7089,3W	6995,34W
Horari P.Reduïda	8,22h	8,71h	8,37h
Consum Energia Reduïda	1877kWh	1914,18kWh	1756,53kWh

Al comprar l'energia consumida real amb la que teòricament s'hauria de consumir durant aquests tres mesos, s'obtenen els següents consums innecessaris d'energia.

Energia consumida innecessària			
	Setembre	Octubre	Novembre
Energia Plena	527,47kWh	721,1kWh	940,61kWh
Energia Reduïda	975,18kWh	926,57kWh	838,26kWh

Així doncs, aquest consum excessiu d'energia durant 3 mesos, tenint en compte els horaris de reducció de cada mes, i el preu del kWh (0,21€/kWh), va provocar un cost extra de 1035,1€.

5.3. Estudi de manteniment del municipi de Deltebre

En el cas de l'ajuntament de Deltebre, el Plec de prescripcions tècniques conté un seguit d'obligacions de cara al contractista per el que fa al tema del manteniment. A continuació es mostren alguns dels punts més importants i on queden reflectides les obligacions de la ESE (Empresa de Serveis Energètics).

1. Serà responsabilitat del Contractista la verificació de les característiques elèctriques de la instal·lació. Aquesta verificació tindrà una periodicitat anual i afectarà a tots els elements dels quadres, incloent el propi armari així com el greixat de panys i frontisses. Les principals operacions de control seran:
 - Funcionament dels aparells de maniobra i protecció.
 - Comprovació d'aïllaments entre conductors i entre conductor i terra.
 - Comprovació de la tensió d'entrada.
 - Comprovació del factor de potencia.
 - Comprovació de les intensitats per fase (repartiment de fases).
 - Comprovació de les caigudes de tensió per línia.
 - Test i temps de resposta dels diferencials.
 - Mesura de la protecció a terra.
 - Comprovació dels equips de regulació de flux en capçalera.
2. Tots els punts hauran de ser comprovats durant les hores de funcionament amb una periodicitat mínima d'una vegada al mes. Es generarà un comunicat periòdic on s'haurà de fer constar les dades següents:
 - Altes de punts de llum per reparació d'avaria o trencament.
 - Baixes de punts de llum per avaria o trencament.

- Altes de punts de llum per inauguració.
- Baixes de punts de llum per retirada definitiva.
- Baixes de punts de llum per retirada provisional.
- Altes i baixes per canvi de potència.
- Total de punts de llum en servei per cada sector, potència i quadre.
- Suports i llumeneres deteriorades.
- Portelles avariades o desaparegudes.

Per a més informació sobre les accions de manteniment i la seva periodicitat consultar l'Annex D. *Plec de prescripcions tècniques del contracte de l'enllumenat del municipi de Deltebre.*

5.3.1. Indicadors de manteniment

A continuació s'exemplificaran els indicadors explicats al punt 4.2.3 *Indicadors de manteniment* a partir de les dades del municipi de Deltebre.

- 1- **Disponibilitat:** El sistema de telegestió de Deltebre agrupa les lluminàries en circuits, i aquests en quadres de comandament, però en cap moment permet tenir un control de les lluminàries de manera individual, és a dir, que no compte amb un sistema de control punt a punt. Com ja s'ha explicat anteriorment es necessita ponderar les hores per lluminària per poder fer el càlcul de la disponibilitat.

En aquest cas pràctic no s'ha pogut calcular la disponibilitat, perquè no es possible esbrinar les hores reals en funcionament de cadascuna de les lluminàries.

$$\text{Disponibilitat} = \frac{\text{Hores reals de funcionament}}{\text{Hores programades de funcionament}}$$

- 2- **Taxa de fallides:** En el document anomenat Llistat d'incidències 2013-2014, que s'inclou com a Annex G d'aquest treball, es troben llistades totes les incidències que hi ha hagut al municipi de Deltebre durant els anys 2013 i 2014. Durant l'any 2014, hi va haver un total de 391 averies.

Les hores de funcionament programades en un any són un total de 4210,28 hores.

$$\text{Taxa de fallides} = \frac{391}{4210,28} \times 100 = 9,3\%$$

- 3- **Percentatge de fallides:** El número de fallades durant l'any 2014 és de 391 i el total de lluminàries del enllumenat públic del municipi de Deltebre és de 3444. Aquesta última dada es pot consultar en l'Annex F. *Inventari del enllumenat de Deltebre.*

$$\text{Percentatge de fallides} = \frac{391}{3444} \times 100 = 11,4\%$$

- 4- **Duració mitja d'averia (MTTR):** Aquest indicador és molt interessant per veure quin és el temps que es triga a solucionar una averia de mitja. Malauradament les dades aportades per la empresa energètica que controla l'enllumenat de Deltebre disten molt de ser les ideals, i el registre d'incidències no es menciona el número d'hores que la lluminària ha estat fora de servei.

$$\text{Duració mitja d'averia} = \frac{\text{Hores de parada}}{\text{N}^{\circ} \text{ d'averies}}$$

- 5- **Percentatge de punts de llum apagats simultàniament:** El plec de prescripcions tècniques de l'Ajuntament de Deltebre, indica que en cap moment el número de làmpades simultàniament fora de servei podrà ser superior a l'1,5% de la totalitat del municipi. Durant l'estudi luxomètric, en el qual només va haver-hi temps d'inspeccionar un 70% aproximadament dels carrers, es van detectar només 7 llums foses d'un total de 2500 llums, per tant, aquest indicador tenia un valor correcte.

$$\text{Percentatge de llums apagats simultàniament} = \frac{7}{2500} \times 100 = 0,28\%$$

Aquest indicador hauria d'acompanyar-se sempre que sigui possible d'un estudi estadístic. L'estudi partiria de les hores d'averia de cada una de les averies enregistrades, amb l'objectiu de veure la mitja, però també el tipus de distribució i la varianza d'aquesta.

5.4. Estudi sobre la contaminació lumínica. Llum intrusa

Aquest apartat servei per exemplificar el mètode de detecció de llum intrusa. L'objectiu és comprovar si la llum que entra per una finestra d'una casa per la nit, és a dir, llum intrusa, es limitada, o per lo contrari s'excedeix dels màxims permesos per el RD 1890/2008, i per tant és punt de millora de l'enllumenat. No tota la llum intrusa ha de ser causada per el parc de llums de l'enllumenat, també ho causen cartells lluminosos i llum privades de botigues...Però el cas que es mostra a continuació es veu clarament que la finestra té al costat una lluminària, i que aquesta és l'única causa de pes per a la possible llum intrusa.

És van realitzar tres fotografies amb diferents exposicions, una amb l'exposició correcte, una altra de sobresaturada i l'altra subexposada. És mostren a continuació:



Aquestes tres fotografies amb exposicions diferents es van importar al programa de HDR (<http://www.jaloxa.eu/webhdr/upload.shtml>) juntament amb el arxiu de la corba de resposta, el qual s'obté de la web, i cal triar un o altre segons el model de càmera que es faci servir, en aquest cas, una Canon EOS 300D. També cal introduir el valor del factor de calibratge, que es calcular seguint el mètode de les 4 cartolines explicat ja a l'apartat 4.4.1 *Metodologia per avaluar la llum intrusa*.

Un cop introduïdes totes les dades i arxius necessaris, el programa crea un mapa de luminàncies de la fotografia. L'obtingut en aquest exemple és el següent:



El valor de luminància que es reflexa a la paret interna del costat dret de la finestra (representat en color verd) és de 31cd/m². Per esbrinar el valor d'il·luminància que entra per la finestra, només cal aplicar la fórmula següent, on el coeficient de reflexió, en aquest cas, serà el del material anomenat gra blanc, que té un valor de 0,5.

$$L = \frac{E \cdot \rho}{\pi}$$

Així doncs, s'obté un valor d'il·luminància de 194,8lx molt superiors als que marca la normativa. Segons el RD 1890/2008 per a zona urbana residencial (grup E3) el valor màxim permès de il·luminància vertical és de 10lux.

Un cop arribats a aquest punt, en un cas on és veu tan clarament que hi ha un greu problema de llum intrusa, cal procedir a realitzar un estudi més exhaustiu per determinar les possibles solucions que es poden aplicar en aquest cas.

6. Estudi econòmic de l'aplicació del mètode

El cost d'un projecte com aquest, en el que es realitza un control sobre la qualitat de l'enllumenat públic, i s'estudia la gestió de la empresa energètica por varia substancialment en funció de les hores treballades. A més hores treballades, més exhaustiu serà l'estudi, amb més informació i dades recollides, i les conclusions i recomanacions seran més precises.

Les hores dedicades per l'equip de persones dedicades a aquest projecte per tan, suposen el punt clau de l'estudi econòmic, per aquest motiu en aquest apartat es proposen 3 estudis econòmics en funció del pressupost total que l'ajuntament destina a la realització del projecte.

Les variables que formen l'apartat d'honoraris del pressupost són:

- **Hores de treball de camp:** El cost que suposa el temps dedicat a obtenir les dades durant la visita. És necessiten dos tècnics per poder realitzar correctament la feina de camp, no és viable que una sola persona s'encarregui de conduir, a la vegada que comprova el mapa per saber quines zones falten per estudiar, comprova que no es perdi la senyal del GPS, i que els luxòmetres i l'ordinador funcionin en tot moment.

En els cas que es faci un estudi pel mètode dels nou punts cal tenir en compte que el temps mig de realització de les mesures manuals més el desplaçament al següent punt de mesura és de 20 minuts. En total, en el cas pràctic del Municipi de Deltebre, s'han mesurat 12 punts, la majoria en carrers d'accés restringit i/o ús prioritari de vianants. Aquests carrers són els classificats com a tipus S2 segons el RD190/2008, encara que també s'han agafat mesures a carrers tipus S3 i ME4b. Això implica un total de 4 hores de treball de camp. Els mapes amb la classificació dels carrers es poden consultar al *Annex A. Planimetria*.

Per al estudi amb fotografia HDR, s'ha tingut en compte que la zona comercial de Deltebre consisteix principalment en els carrers de Sebastià Juan Arbó, carrer Comerç, carrer Major, carrer Cervantes, carrer Ramon i Cajal, carrer Barcelona, carrer Estació i Trinquet i la Plaça del Mercat. Això suma un total de 8 punts d'estudi, amb una mitja de temps de 30min per realitzar la mesura i arribar fins al següent punt, fent un total de 4 hores.

- **Hores de treball de gabinet:** El treball de gabinet es desenvolupa en dues vessants molt concretes que són l'obtenció d'informació a partir de les dades, tant de les obtingudes durant el treball de camp com les aportades per el sistema de telegestió i el inventari, i per altra banda, el posterior anàlisis i estudi d'aquestes. Finalment també inclou la redacció dels informes que s'hauran d'entregar a l'Ajuntament.

Les hores de gabinet es desglossen de la següent manera:

- **Posada a punt de les dades enregistrades pel software de gestió:** Les dades captades per les tres sondes són emmagatzemades en el programa de gestió, cal doncs, fer un traspàs d'aquestes a un format més útil per a treballar amb ells, una taula d'Excel o similar, i aprofitar per posar-les de manera ordenada, i esborrar aquelles que no siguin d'utilitat. Aquesta tasca és feina d'un administratiu, a un preu per hora de 20€.
 - **Posada a punt del registre d'incidències:** Tot sistema d'enllumenat a de tenir un registre de les incidències ocorregudes, que forma part de les dades necessàries per realitzar el estudi del servei energètic. En el cas de Deltebre, el registre era molt poc automàtic per lo que s'ha de crear un nou full de càlcul de manera que les dades quedin ordenades, per data, carrer.. i permeti una gestió d'aquestes més ràpida y còmoda. Aquesta tasca també és responsabilitat d'un administratiu.
 - **Estudi del servei lumínic:** Mitjançant les dades preses en el treball de camp es porten a terme els estudis sobre la qualitat del servei lumínic. S'han dedicat un total de 30 hores per a estudiar les dades obtingudes amb el cotxe enregistrador, mentre que per tractar cadascuna de les dades mesurades per el mètode dels nou punts, es necessiten 15 minuts. En el municipi de Deltebre es van realitzar 12 mesures mitjançant aquest mètode, això fa un total de 3 hores. Pel que fa al mètode de la fotografia HDR, per tractar cada punt es necessita d'uns 15 minuts, per 8 punts estudiats, fa un total de dues hores. Aquest punt inclou la redacció de la memòria.
 - **Estudi del servei energètic:** A partir de les dades obtingudes per el sistema de telegestió, és realitzar un estudi per trobar totes les incidències que hi ha hagut durant l'any. Estudiar les dades de tot un mes d'un dels quadre de comandament suposa de mitja uns 10 minuts. Per tant, el temps dedicat per estudiar les averies dels 48 quadres de comandament durant els 12 mesos del any, suposen un total de 96 hores.
- **Hores de desplaçament:** En aquest exemple pràctic els dos tècnics resideixen a Barcelona, el que suposa un trajecte de 2h d'anada fins a Deltebre, i altres dues hores de tornada per cada visita.
- Per altre banda, tenim les despeses que queden fora del que son els costos per recursos humans, i són:
- **Cost proporcional del equip:** El cost total de l'aparell, un LX-GPS, amb les 3 sondes luxomètriques i GPS integrat és de 1800€. Per cada visita s'estima que el temps funcionant del luxòmetre és aproximadament un 5% del total de la seva vida útil.
 - **Cost del cotxe:** S'ha utilitzat un cost de referencia de 0,19€/km que és el cost que s'accepta legalment com a assignables als costos d'un viatge. Aquesta taxa està pesada per a que cobreixi tots els costos

relacionats amb el vehicle particular d'un treballador, per descomptat inclou el combustible, però també altres factors com el desgast del cotxe, els impostos o l'assegurança. El trajecte és d'uns 180km, a més a més a les hores de trajecte se li han de sumar les hores de recorregut amb el cotxe, a una velocitat mitja de 15km/hora.

- **Dietes:** Fonamentalment serveixen per a fer front al cost del allotjament i als extres que puguin sorgir causats per l'estància d'una nit a la població d'estudi. S'estima sobre uns 80€ per treballador i nit.

6.1. Pressupost baix

Aquesta primer cas de pressupost consta de només una visita al any per realitza el treball de camp, la qual es durà a terme en una nit mitjançant només el mètode del cotxe enregistrador (luxometria mòbil). Inclou també l'anàlisi dels nivells lumínics, el del servei de manteniment, i el del servei energètic.

6.1.1. Costos

El cost de les hores dedicades en total es desglossa en la següent taula:

Costos recursos humans	Nº treballadors	Nº d'hores per treballador	Preu unitari €/hora	COSTOS
Hores de treball de camp: cotxe enregistrador	2	4 hores	35€/hora	280€
Hores de treball de gabinet	1	126 hores	variable	6.000€
Hores de desplaçament	2	4	35€/hora	280€
TOTAL	-	-	-	6.560€

Les hores de treball de gabinet es desglossen a continuació:

Treball	Hores	Treballador	Cost
---------	-------	-------------	------

Posada a punt de les dades enregistrades pel software de gestió	1 hora	Administratiu (20€/h)	20€
Estudi del servei lumínic	23 hores	60% enginyer sènior (60€/h) 40% enginyer junior (35€/h)	1.150€
Redacció de l'informe del servei lumínic	6 hores	20% enginyer sènior (60€/h) 80% enginyer junior (35€/h)	240€
Posada a punt del registre d'incidències	4 hores	Administratiu (20€/h)	80€
Estudi del servei energètic	83 hores	60% enginyer sènior (60€/h) 40% enginyer junior (35€/h)	4.150€
Redacció de l'informe del servei energètic	9 hores	20% enginyer sènior (60€/h) 80% enginyer junior (35€/h)	360€
Total	126 hores		6000€

Per altre banda les despeses en dietes, transports i cost dels equips són:

- **Cost proporcional del equip:** Un 5% del cost total del equip, és a dir, 90€
- **Cost del cotxe:** El trajecte és d'uns 180km, un cop allà, les 4 hores de treball de camp, a una velocitat mitjana de 15km/hora, afegeixen 60 km, fent un total de 420km recorreguts, per tant el cost total d'aquesta partida ascendeix a 79,8€.
- **Dietes:** En aquest cas la visita es realitza en una sola nit, per tant, no són necessàries dietes.

Aquestes partides sumen un total de 169,8€ en forma de despeses generals.

6.1.2. Pressupost final

PARTIDES	COST
Costos recursos humans	6.560€
Dietes, transports i equips	169,8€
Total	6729,8€
Despeses generals (13%)	874,9€
Total	7.604,7€
Benefici industrial (20%)	1520,9€
Total	9.125,6€
IVA (21%)	1.916,4€
Total	11.042€

6.2. Pressupost mig

En aquest cas, el pressupost permetrà realitzar dos visites anuals per part dels tècnics, al municipi de Deltebre, i en cadascuna d'elles es durà a terme un estudi mitjançant el cotxe enregistrator, però també s'arribarà a aquells carrers de vianants o de difícil accés per al cotxe utilitzant el mètode dels nou punts (luxometria puntual). Per poder realitzar els dos estudis és fa necessari estar dos nits prenent mesures per cada visita realitzada, això implica un cost en allotjament que s'inclou en el apartat de dietes.

6.2.1. Costos

El cost de les hores dedicades en total es desglossa en la següent taula:

Costos recursos humans	Nº treballadors	Nº d'hores per treballador	Preu unitari €/hora	COSTOS
Hores de treball de camp: Mètode del cotxe enregistrador	2	8 hores	35€/hora	560€
Hores de treball de camp: Mètode dels nou punts.	2	8hores	35€/hora	560€
Hores de treball de gabinet:	1	162 hores	variable	7.710€
Hores de desplaçament	2	8	35€/hora	560€
TOTAL				9.390€

Les hores de treball de gabinet es desglossen a continuació:

Treball	Hores	Treballador	Cost
Posada a punt de les dades enregistrades pel software de gestió	2 hora	Administratiu (20€/h)	40€
Estudi del servei lumínic	52 hores	60% enginyer sènior (60€/h) 40% enginyer junior (35€/h)	2.600€
Redacció de l'informe del servei lumínic	12 hores	20% enginyer sènior (60€/h) 80% enginyer junior (35€/h)	480€
Posada a punt del registre d'incidències	4 hores	Administratiu (20€/h)	80€
Estudi del servei energètic	83 hores	60% enginyer sènior (60€/h)	4.150€

		40% enginyer junior (35€/h)	
Redacció de l'informe del servei energètic	9 hores	20% enginyer sènior (60€/h) 80% enginyer junior (35€/h)	360€
Total	162 hores		7.710€

Per altre banda les despeses en dietes, transports i cost dels equips són:

- **Cost proporcional del equip:** Un 10% del cost total del equip, és a dir, 180€.
- **Cost del cotxe:** Com es realitzen dos visites anuals, i les hores de treball de camp augmenten, aquest cost ascendeix a 159,6€.
- **Dietes:** Dos nits per cadascun dels dos tècnics fa un total de 320€.

Aquestes partides sumen un total de 659,6€ en forma de despeses generals.

6.2.2. Pressupost final

PARTIDES	COST
Costos recursos humans	9.390€
Dietes, transports i equips	659,6€
Total	10.049,6€
Despeses generals (13%)	1.306,4€
Total	11.356,0€
Benefici industrial (20%)	2.271,2€
Total	13.627,2€
IVA (21%)	2.861,7€
Total	16.489€

6.3. Pressupost alt

Aquest últim cas és el més complert de tots, consisteix en un total de 3 visites anuals que inclouen un estudi luxomètric amb cotxe enregistrador, el qual serà del doble d'hores perquè és faran dos estudis, un pel període a plena potencia i un altre per al període de potencia reduïda. També es realitza estudi dels carrers de vianants a partir del mètode dels nou punts, i a més a més, un 3^{er} estudi luxomètric mitjançant la fotografia HDR de les zones comercials més important de la població. En dues de les visites es realitza els estudis amb el cotxe enregistrador i el mètode dels nou punts, els quals com en el cas anterior, necessitaran de dos nit per poder ser completats satisfactòriament, generant una despesa en allotjament. La tercera visita correspon al estudi mitjançant la fotografia HDR i és pot duu a terme en només una nit.

6.3.1. Costos

El cost de les hores dedicades en total es desglossa en la següent taula:

Costos recursos humans	Nº treballadors	Nº d'hores per treballador	Preu unitari €/hora	COSTOS
Hores de treball de camp: Mètode del cotxe enregistrador	2	16 hores	35€/hora	1.120€
Hores de treball de camp: Mètode dels nou punts.	2	8 hores	35€/hora	560€
Hores de treball de camp: Fotografia HDR	1	4 hores	35€/hora	140€
Hores de treball de gabinet:	1	215 hores	variable	10.290€
Hores de desplaçament	2 persones en dos de les visites	8 hores	35€/hora	560€
	1 persona en la 3 ^a visita	4 hores	35€/hora	140€
TOTAL				12.810€

Les hores de treball de gabinet es desglossen a continuació:

Treball	Hores	Treballador	Cost
Posada a punt de les dades enregistrades pel software de gestió	3 hora	Administratiu (20€/h)	60€
Estudi del servei lumínic	100 hores	60% enginyer sènior (60€/h) 40% enginyer junior (35€/h)	5.000€
Redacció de l'informe del servei lumínic	16 hores	20% enginyer sènior (60€/h) 80% enginyer junior (35€/h)	640€
Posada a punt del registre d'incidències	4 hores	Administratiu (20€/h)	80€
Estudi del servei energètic	83 hores	60% enginyer sènior (60€/h) 40% enginyer junior (35€/h)	4.150€
Redacció de l'informe del servei energètic	9 hores	20% enginyer sènior (60€/h) 80% enginyer junior (35€/h)	360€
Total	215 hores		10.290€

Per altre banda les despeses en dietes, transports i cost dels equips són:

- Cost proporcional del equip: Un 10% del cost total del equip, és a dir, 180€.
- Cost del cotxe: En aquests cas son 6 trajectes (3 d'anada i 3 de tornada) de 180km cadascun, més els dos recorreguts amb el cotxe enregistrador. Això fa un cost final de 250,8€.
- Dietes: Dos nits per cadascun dels dos tècnics fa un total de 320€.

Aquestes partides sumen un total de 750,8€ en forma de despeses generals.

6.3.2. Pressupost final

PARTIDES	COST
Costos recursos humans	12.810€
Dietes, transports i equips	750,8€
Total	13.560,8€
Despeses generals (13%)	1.762,9€
Total	15.323,7€
Benefici industrial (20%)	3.064,7€
Total	18.388,4€
IVA (21%)	3.861,6€
Total	22.250€

6.4. Resum dels pressupostos

A continuació es presenta una taula que resumeix els punts anteriors.

Classe de pressupost	Explicació	Cost
Baix	Luxometria mòbil (cotxe enregistrador)	11.042€
Mig	Luxometria mòbil + luxometria puntual (mètode dels 9 punts)	16.489€
Alt	Luxometria mòbil + luxometria puntual + estudi mitjançant fotografia HDR	22.250€

7. Pressupost del projecte

El pressupost real d'aquest projecte es detalla a continuació:

7.1. Costos

- **Recursos humans:** En el projecte hi participen dos persones, la persona encarregada de la realització del mateix, qualificada com a enginyer junior, i el supervisor, qualificat com a enginyer sènior. Els seus costos per hora són respectivament de 30€/h i de 60€/h.

	Hores dedicades	Cost
Enginyer junior	710 hores	21.300€
Enginyer sènior	42 hores	2.520€
Total	752 hores	23.820€

- **Costos de transport:** S'ha realitzat un viatge al poble de Sant Martí de Tous per veure de primera mà el procés de presa de dades mitjançant el mètode del cotxe enregistrador. Les hores dedicades a aquest viatge entren dintre del punt de recursos humans. El cost de transport cobreix tots els costos relacionats amb el vehicle particular d'un treballador, per descomptat inclou el combustible, però també altres factors com el desgast del cotxe, els impostos o l'assegurança. el cost que s'accepta legalment com a assignables als costos d'un viatge és de 0,19€/Km.

El trajecte des de Barcelona a Sant Martí de Tous és de aproximadament de 80 km. El temps per recórrer el poble en cotxe fent les mesures és d'unes 3 hores, a una velocitat de 15km/hora, es recorren en total 45 km. La suma del total de quilòmetres és de 125 km, a 0,19€/km, és un cost de 23,75€.

- **Costos generals:** S'ha tingut en compte el cost de la electricitat consumida per l'ordinador, que ascendeix a 170,4€. Aquest cost està basat en la tarifa energètica, que és de 0,15€/kWh, el consum de l'ordinador que es de 1.6kWh y la duració del projecte, 710h.

Amb tot això, el cost total del projecte és de **24.014,15€**.

7.2. Pressupost final

El pressupost final d'aquest projecte és de 30.966,7€. A continuació es desglossa el seu contingut:

PARTIDES	COST
Honoraris	23.820€
Costos de transport	23,75€
Costos generals	170,40€
Total	24.014,15€
Benefici industrial (20%)	4.802,83€
Total	28.816,98€
IVA (21%)	6.051,57€
Total	34.868,55€

8. Impacte ambiental

L'impacte ambiental que suposa portar a la pràctica aquest mètode d'avaluació té dos cares oposades. Per una part, té un impacte negatiu produït per el consum d'energia, provinent de les instal·lacions on es duu a terme l'estudi i dels aparells elèctrics que es fan servir per aconseguir-ho, bàsicament ordinadors. També s'ha d'incloure en aquesta cara negativa, el consum del cotxe, la quantitat emesa de CO₂ que s'allibera a l'atmosfera a causa de d'utilització del vehicle com a eina de transport i de treball.

Només a mode d'exemple, en el cas de que en l'estudi de Deltebre, s'hagués optat per el pressupost més elevat, el qual inclou 3 visites, i més hores de gabinet que els altres dos, el impacte ambiental negatiu seria el següent. El cotxe utilitzat es suposarà que és el model Peugeot 206, aquest model té unes emissions de 152 grCO₂/km i es recorrerien uns 1290km entre viatges d'anada i tornada més els recorreguts per tots els carrers enregistrant amb els sensors els nivells d'il·luminació. Amb aquestes dades s'obté que el consum seria de 196 kgCO₂. Segons la Oficia Catalana de Canvi Climàtic es pot fer una estimació del que suposa una certa quantitat de CO₂ en kWh. El factor més recent és del 2014 i estima que la relació és d'uns 276 gCO₂ per cada kWh. Al aplicar aquest factor als 196 KgCO₂ consumits per a la realització de l'estudi de Deltebre s'obté que equivalen a 734 kWh.

A més a més del consum del cotxe, s'ha d'estudiar el consum en kWh produïts per les hores de treball. Això implica sumar el consum de l'ordinador, del enllumenat de la oficina, i si es donés el cas, el del aire condicionat. L'enllumenat d'una oficina petita, pot ser el següent; dos fluorescent de 40W cadascun i una llum de sobretaula de 8W, fent un total de 88W. L'ordinador de sobretaula té una potencia d'uns 450W, i la suma d'aquestes potencies per les 215 hores de treball de gabinet, fan un total de 115,7kWh. Si a això li sumem el consum d'aire condicionat atribuïbles al projecte, és a dir, unes 2 hores al dia durant els 3 mesos més calorosos a una potencia de 800W, fan un total de 960kWh.

En resum, la suma de tots els costos energètics de l'estudi de l'enllumenat públic del municipi de Deltebre fan un total de 1.694kWh.

Per una altra part l'aplicació del mètode té una cara molt positiva, i és que aporta control sobre tot el sistema d'enllumenat, i això implica que si s'actua en conseqüència amb els resultats obtinguts, aplicant les mesures adequades, es pot aconseguir un sistema més eficaç, i reduir-ne el seu consum energètic.

Les dos fonts d'on es treu més informació de la qualitat del enllumenat són, les dades enregistrades per el sistema de telegestió, i les dades mesurades durant el recorregut ja sigui amb el cotxe enregistrador o a peu amb el mètode dels nou punts. Les primeres, permet detectar alteracions en el consum, i per tant són molt útils ja que permet centra l'atenció, ja sigui en un quadre, circuit, o en una

hora de la nit concreta, facilitant que es trobi l'arrel del problema. En canvi, les dades enregistrades durant el treball de camp, tracten la il·luminació dels carrers, per tant aquestes, encara que també afecten al consum energètic si acaben implicant un canvi de làmpada, afecten sobretot a la qualitat de la il·luminació dels carrers, i per tant, a la qualitat de vida del ciutadà.

No es possible generalitzar sobre l'impacte ambiental que suposa l'aplicació d'aquest mètode, perquè aquest dependrà del lloc on es dugui a terme, les seves condicions inicials, els seus recursos econòmics, etc. Cada cas, serà únic, i de cadascun sortiran resultats diferents, i consegüentment solucions i impactes, tan ambientals com econòmics, diferents.

Conclusions

Aquest treball metòdic és i pretén ser, bàsicament, una guia. És vàlid per a qualsevol cas; ja sigui per a una gran ciutat amb un pressupost elevat, o per a un petit poble que compti amb un de més ajustat. Qualsevol pot tenir al seu abast una avaluació de la gestió que la ESE duu a terme en l'enllumenat públic de la seva localitat. Òbviament, l'abast serà més gran contra més elevat sigui el pressupost. Com que les accions que es podran duu a terme dependran del pressupost, és per aquest motiu que s'ha realitzat l'apartat d'estudi econòmic de l'aplicació del mètode, definint tres escenaris diferents els quals varien des dels 11.000 euros fins als 22.250 euros, segons la profunditat de l'anàlisi i la durada de l'estudi. Gràcies a aquest apartat el client pot fer-se una idea de la relació pressupost i tipus d'estudi. Paga la pena recordar que estem parlant d'una despesa important per a la majoria d'Ajuntaments i d'una gestió de diners públics que, ara més que mai, s'exigeix més que eficient, excel·lent.

Aquesta guia serà d'utilitat per a les empreses adjudicatàries però sobretot per a tots els serveis tècnics municipals responsables del procés d'adjudicació del concurs públic de gestió de l'enllumenat. Unes i altres disposen ara, amb l'estudi, d'un llistat d'infraccions habituals així com un altre de propostes de millora. L'Ajuntament ara ho té molt més fàcil, pot recollir aquestes propostes i incloure-les totes elles en un futur plec de condicions del concurs públic per a la gestió de l'enllumenat públic per tal de garantir la seva aplicació futura així com la millor prestació d'aquest servei públic. Implementar aquest projecte els aportarà un fet importantíssim que és assegurar-se que hi haurà una relació més estreta entre Ajuntament i empresa, i per tant més transparència. A més a més, un altre punt important, i que veu del anterior, és que provocarà un augment de la rigorositat per part de la ESE.

A Catalunya, amb els seus 947 municipis, de enorme diversitat geogràfica i demogràfica, és evident que cada cas serà un món i per és això que, en aquest projecte, no s'han extret conclusions numèriques de caire general. Al llarg del treball, els casos concrets explicats, hi són a mode d'exemple, és a dir, no se'n pot deduir d'ells cap regla numèrica que, per exemple, permeti calcular els beneficis econòmics que s'obtidrien o el percentatge de despesa energètica que s'estalviaria a partir del pressupost que es volgués dedicar a l'estudi. Cal recordar però que la implementació d'aquest estudi sempre millorarà la qualitat de l'enllumenat, i que per tan els que sempre sortiran beneficiats seran els ciutadans.

Els resultats de l'estudi depenen de variables que en cada cas seran diferents, i que difícilment són quantificables. Variables com les condicions inicials del sistema d'enllumenat, el tipus d'instal·lació, així com el tipus de gestió de la ESE influenciaran sobre les conclusions que se'n derivaran de l'estudi. Podem trobar-nos, per exemple, que un ajuntament pot invertir molts diners en la realització de l'estudi, però si té contractats els serveis d'una ESE eficient, que fa el manteniment adequat i el control de tot el parc via telegestió de manera regular, segurament, aconseguirà menys beneficis econòmics

que un Ajuntament amb poc pressupost el qual ha deixat l'enllumenat públic en mans d'una ESE menys eficient.

La implementació d'aquest estudi pot ser molt útil sobretot en aquells casos en que l'Empresa de Serveis Energètics és la encarregada de fer front a la factura energètica. Quan és dona aquest cas hi ha moltes més possibilitats de que els nivells d'il·luminació baixin per sota dels permisos, ja que això suposa una reducció de la factura a pagar, i per tant, un benefici econòmic directe per a la ESE. Aquest estudi realitzar un control d'aquests valors, és a dir, permet controlar a la ESE, i per tant assegurar que no està aconseguint un benefici econòmic a força de disminuir la qualitat de l'enllumenat. Aquest projecte és en el fons una eina que permetrà als ajuntaments poder demanar explicacions i millores, o tenir fets en els que basar-se per poder portar a terme una sanció.

En el cas contrari també pot ser útil, perquè si hi ha algun fet que fa pujar el preu de la factura de manera innecessària, a la ESE no li repercuteix de cap manera, i per tant no s'esforçarà per trobar l'arrel del problema i solucionar-ho. Un exemple d'aquest últim cas, són els 215€ al mes que s'estaven pagant de més en el municipi de Deltebre, per culpa de tenir làmpades amb regulacions diferents.

Aquest estudi a part de permetre controlar el consum energètic també inclou un estudi dels nivells d'il·luminació i un altre sobre la contaminació lumínica. Amb els exemples extrets del cas de Deltebre queda demostrat que són completament necessaris. El cas exposat de Riumar amb un 25,8% de trams amb manca d'il·luminació, un 67,7% amb excés d'il·luminació, i per tant, només un 6,5% de correctes, evidencia la necessitat de duu a terme aquest tipus de control. Igualment, passa amb la llum intrusa, no es poden permetre valors de 195lx a les finestres dels veïns quan el màxim legal és de tan sols 10lx com en el exemple explicat en el cas pràctic.

Cal destacar que, en la majoria dels cops que un Ajuntament demani un estudi com aquest, la funció principal serà la d'arreglar els desperfectes e incidències resultants de l'estudi. Però un cop fet això, l'Ajuntament ja estarà en condicions d'introduir les accions i els estudis que s'expliquen en aquest document dintre de la gestió habitual del parc de llums. Sense aquest darrer pas i si es fa servir l'estudi només com a avaluació puntual, com és lògic, al cap d'un cert temps l'ajuntament tornarà a trobar-se en la necessitat de demanar la realització, un altre cop, d'una avaluació externa de la gestió de la ESE. Per això la necessitat i l'oportunitat d'incorporar part dels valors recollits a l'estudi en el procés administratiu d'adjudicació del servei públic d'enllumenat. D'aquesta manera l'Ajuntament pot absorbir la metodologia emprada en aquest estudi, realitzar ells una avaluació continua, i incorporar-la en la seva gestió diària del servei. Si l'Ajuntament és petit i no te els recursos humans i tècnics per fer-ho sempre podrà sol·licitar, cada cert temps, a una empresa externa la realització de la avaluació.

En definitiva, aquest estudi fa possible una avaluació totalment recomanable que pot comportar uns beneficis a curt termini amb la reparació de tots els desperfectes del sistema d'enllumenat públic en el moment de la seva realització però crec, sincerament, que el més important de tot és que pot ajudar a situar als Ajuntaments en el camí definitiu per a la prestació d'un bon servei públic d'enllumenat amb l'excel·lència, la transparència i l'estalvi que els ciutadans es mereixen.

La il·luminació és un dels serveis públics més importants, que afecta a la totalitat de la població, que té un impacte ambiental i que genera una gran despesa pública i, per tot això, s'ha de prestar amb la màxima eficiència i transparència, aquest projecte espera poder ajudar a aconseguir-ho.

Agraïments

En primer lloc donar les gràcies al meu professor director Manuel García Gil per tota l'ajuda prestada al llarg d'aquests mesos, agrair-li les indicacions en tots els dubtes que m'han sorgit al llarg de la realització d'aquest projecte, i agrair-li també la disponibilitat que ha tingut en tot moment.

També m'agradaria agrair l'ajuda presentada a Ramón Estrada, el qual de manera totalment desinteressada em va explicar les bases del programa ArcGis, i em va fer el tractament de dades que necessitava per poder llegir la informació que em reportava el programa.

De manera més general, vull agrair a tots aquells professors de l'ETSEIB que m'han ensenyat els coneixements necessaris per a poder realitzar aquest projecte.

Finalment, no vull acabar sense mencionar a la família i els amics, i agrair-los tot el suport prestat al llarg no només del projecte, sinó durant tots els anys de carrera, sense ells hauria sigut tot molt més difícil.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] JAVIER GARCIA FERNÁNDEZ, PFC: *Diseño e implementación de un método de enseñanza multipersona y distribuido basado en un sistema interactivo, multiplataforma e hipermedial. Aplicación a la formación en alumbrado de exteriores*, 1991.
[<http://recursos.citcea.upc.edu/llum/>, juny 2015]
- [2] Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07. Disponible a <<http://www.boe.es/boe/dias/2008/11/19/pdfs/A45988-46057.pdf> >
- [3] CRISTINA MORENTE MONTSERRAT, Projecte final de carrera: *"Elaboración del material docente actualizado para curso on-line de iluminación"*
[<http://grlum.dpe.upc.edu/manual/> ,juny 2015]
- [4] MANUEL GARCIA GIL i RAMÓN ESTRADA GARCIA, *Informe de control de qualitat de les P2, P3 del "Contracte de subministrament i servei integral de l'Enllumenat Públic del municipi de Deltebre"*
- [5] *Estudio de viabilidad para el Desarrollo de una nueva Metodología para la elaboración de Mapas Lumínicos*": Estudis luminotècnics UPC
- [6] MSc. ISRAEL OMAR MOCKEY COUREAUX i Dr. EDUARDO ROBERTO MANZANO. *Tendencias en la consideración de la depreciación luminosa de las lámparas empleadas en alumbrado viario.*

Bibliografia complementària

- [1] MANUEL GARCIA GIL, RAMÓN SAN MARTÍN PÁRAMO, HECTOR SOLANO LAMPHAR i PAU FRANCIA PAYÀS, *Contaminación lumínica. Una visión desde el foco contaminante: el alumbrado artificial*. Iniciativa Digital Politècnica, 2012
- [2] DEPARTAMENTO DE PROYECTOS DE INGENIERÍA UPC, *Sistemas informáticos para la gestión del alumbrado*.
- [3] Ing. HERBERTO C.BUHLER, *"Gestión y Mantenimiento del Alumbrado Urbano*, Universidad nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología", Juny 2002