

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

**Projecte d'Il·luminació d'una rotonda
*Smart, Eficient i LED***

MEMÒRIA

Autor: Oriol Ventura Duran
Director: Luis Ferrero i Andreu
Convocatòria: Juliol 2017



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona





RESUM

Projecte de caire luminotècnic i energètic basat en la senyalització d'una rotonda ubicada a la Plana de Vic mitjançant un sistema d'autocontrol 'Smart', de manera eficient i enllumenat LED. De manera innovadora, s'ha dissenyat una solució de senyalització amb balises LED per aportar un plus extra i diferenciar-se de qualsevol projecte d'enllumenat exterior convencional. Amb referència a tot el que comporta aquest projecte, s'afegeix qualsevol estudi de caràcter tècnic com ara, anàlisis luminotècnic, energètic, estructural i ambiental.

ÍNDEX

RESUM	2
I. MEMÒRIA.....	5
1. Introducció.....	6
1.1. Ordre de redacció	6
1.2. Objectius del Projecte	6
1.3. Antecedents	6
1.4. Problemàtica plantejada	7
1.5. Solució adoptada i justificació	7
II. MEMÒRIA DESCRIPTIVA	8
2. Dades generals.....	9
3. Informació prèvia	10
3.1. Estudi de mercat previ	10
3.2. Emplaçament i entorn físic.....	11
3.3. Requisits normatius previs a estudiar	14
4. Normativa a complir.....	18
4.1. Eficiència energètica segons ITC-EA-01	18
4.1.1. Qualificació energètica de les instal·lacions d'enllumenat.....	18
4.2. Mesures Luminotècniques segons ITC-EA-02	20
4.2.1. Generalitats importants	20
4.2.2. Classificació via i nivells d'il·luminació	21
4.2.3. Enlluernament	21
4.3. Resplendor lluminosa nocturna i llum intrusa segons ITC-EA-03.....	22
4.3.1. Resplendor lluminosa nocturna	22
4.3.2. Limitacions de les Emissions Lluminoses.....	22
4.3.3. Limitació de la llum intrusa o molesta	23
4.4. Components de la instal·lació segons ITC-EA-04.....	23
4.4.1. Làmpades.....	23
4.4.2. Lluminàries	23
4.4.3. Sistemes d'accionament.....	24
4.4.4. Sistemes de regulació del nivell lluminós.....	24
4.5. Manteniment de la eficiència energètica segons ITC-EA-06.....	24
4.5.1. Factor de manteniment	25
4.5.2. Operacions de manteniment i registre	25
4.6. Enllumenat exterior segons ITC-BT-09.....	26
4.6.1. Camp d'aplicació	26
4.6.2. Alimentació des de la xarxa de distribució	26

4.6.3.	Dimensionament d'alimentació de las instal·lacions	26
4.6.4.	Quadre de protecció, mesura i control	26
4.6.5.	Xarxa d'alimentació.....	27
4.6.6.	Suport de la lluminària	27
4.6.7.	Connexió a terra.....	28
5.	Descripció de la proposta final.....	29
5.1.	Sistema de captació d'energia.....	29
5.1.1.	Estructura per els mòduls fotovoltaics.....	30
5.1.2.	Localització i orientació dels mòduls fotovoltaics.....	35
5.1.3.	Mòduls fotovoltaics.....	36
5.1.4.	Bateries.....	38
5.2.	Sistema d'il·luminació	40
5.2.1.	Illetes d'entrades i sortides	40
5.2.2.	Perímetre exterior de la rotonda, entrades i sortides	40
5.3.	Sistema de control de l'enllumenat.....	41
5.3.1.	Regulador	41
5.3.2.	Inversor.....	43
5.3.3.	Control de precisió de bateries.....	45
5.3.4.	Monitorització dels aparells	47
5.3.5.	Sensor de moviment – “Lighting Management”	48
6.	Estudi Lumínic.....	55
6.1.	Classificació d'enllumenat.....	55
6.2.	Paràmetres de càlcul.....	55
6.3.	Resultats.....	57
7.	Estudi d'Impacte Ambiental.....	58
7.1.	Marc legal, normativa	58
7.2.	Impacte ambiental.....	58
7.3.	Estudi d'impacte	59
7.3.1.	Estudi d'impacte lumínic de la rotonda.....	59
8.	Conclusions	61
9.	Bibliografia.....	62
III.	PRESSUPOST	64
10.	Pressupost parcial nº 1 – Instal·lació, amidaments i equips	65
11.	Pressupost parcial nº 2 – Obra Civil.....	67
12.	Pressupost parcial nº 3 – Imprevistos.....	67
13.	Pressupost parcial nº 4 – Seguretat i Salut	67
14.	Pressupost Final.....	68

I. MEMÒRIA

1. Introducció

1.1. Ordre de redacció

La redacció d'aquest projecte es duu a terme, per demanda expressa de l'Ajuntament de Malla a L'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (ETSEIB), per tal d'assenyar textualment el disseny, descripció, planificació, plec de condicions i pressupost d'aquest. Tanmateix, aquest document reuneix les bases del projecte i la distribució de responsabilitats en el desenvolupament d'aquest.

L'enginyer industrial Oriol Ventura és l'encarregat de la redacció d'aquest document i de la realització dels diferents estudis duts a terme durant aquest projecte.

1.2. Objectius del Projecte

L'objectiu del projecte és evitar la generació d'accidents a la rotonda situada a la sortida 54 de la C-17 a Taradell [41°52'53"N 2°14'26"E], famosa per l'alta perillositat en els seus accessos (sobretot de nit), així com millorar aquests, mitjançant un sistema d'il·luminació intel·ligent, capaç d'auto-subministrar-se gràcies a la ajuda d'energies renovables.

La situació més desitjable és aquella en la que la rotonda queda suficientment il·luminada mitjançant un sistema de baix consum, autònom i basat en una font d'energia renovable.

A partir de la situació més desitjable definida anteriorment s'estableixen els següents objectius:

- Il·luminar mitjançant una font d'energia renovable.
- Il·luminar amb independència de la xarxa elèctrica.
- Emprar elements de baix consum.
- Implantar un sistema per optimitzar els recursos energètics.

1.3. Antecedents

Rotonda oest formada per 6 accessos (3 d'entrada i 3 de sortida), els quals permeten l'accés en ella des de la autovia direcció Barcelona i tanmateix, la seva incorporació. Permet l'accés al poble de Malla i l'accés a la rotonda est, que permet agafar la autovia de nou en sentit contrari, ruta cap a el poble de Taradell o bé accés a la zona comercial 'Esclat'. Situada en un gran desnivell respecte la autovia C-17 (carretera que connecta Ripoll amb Barcelona), amb una separació de les dues rotondes mitjançant un túnel d'uns 24 metres i propera a una zona comercial important a la comarca d'Osona. No existeix cap mena de sistema d'enllumenat a la rotonda, on queda totalment a les fosques quan el sol es pon i es manté en un estat de visibilitat

deficient en condicions meteorològiques adverses tals com la boira; condició molt usual a la zona geogràfica on està situada.

1.4. Problemàtica plantejada

La problemàtica que en deriva d'aquest projecte d'il·luminació és diversa. És tant de caire econòmic, estructural, de distribució com, fins i tot, en el propi procés d'instal·lació.

El primer problema es basa en el pressupost que presenta el projecte. Un pressupost elevat tenint en compte que el sistema d'enllumenat és intel·ligent. Aquest fet provoca que s'hagin d'instal·lar una sèrie de dispositius concrets per al correcte funcionament d'aquest sistema i aquests, usualment, no són assequibles.

La segona problemàtica que sorgeix és la referent a la distribució d'aquesta instal·lació d'enllumenat. Donades les característiques de la rotonda, hi ha diferents distribucions de l'enllumenat i alhora diferents sistemes d'il·luminació a tenir en compte. Totes les diferents casuístiques generades a partir de les combinacions d'aquests han estat estudiades per tal d'arribar a la solució més òptima.

Per últim, la problemàtica derivada del procés d'instal·lació del sistema definitiu no és senzilla donat que s'ha d'aixecar part del paviment asfaltat, fer una tala luminotècnica per tal d'aprofitar el màxim d'hores de llum solar disponible i una adequació del terreny comprès a l'interior de la rotonda i dels voltants.

1.5. Solució adoptada i justificació

Per a resoldre la problemàtica comentada es proposa un sistema d'il·luminació de baix consum amb obtenció d'energia autònoma, a partir de l'energia solar fotovoltaica. D'aquesta manera es redueix l'impacte econòmic al no tenir consum elèctric de la xarxa i apostar per l'ús de les energies renovables com a font d'obtenció de l'electricitat.

Respecte al sistema de baix consum s'emprarà l'enllumenat LED que es basa en un tipus de làmpades de consum reduït i una elevada vida útil, considerant molt poc manteniment.

Per acabar, el sistema d'il·luminació es caracteritzarà, també, per un sistema de control de l'enllumenat mitjançant tecnologia amb sensors i temporitzadors. Així, es podrà reduir el consum de la instal·lació, augmentant la seva eficiència energètica.

II. MEMÒRIA DESCRIPTIVA

2. Dades generals

Projecte: Il·luminació de la rotonda oest situada a la sortida 54 de la C-17 a l'alçada de Taradell, Osona, Catalunya.

Tipus d'intervenció: Obra civil i posterior instal·lació del sistema d'enllumenat.

Emplaçament: Sortida 54 de la C-17 a l'alçada de Taradell, Osona, Catalunya.



Figura 1. Emplaçament del projecte i vista aèria de la rotonda.

3. Informació prèvia

3.1. Estudi de mercat previ

Al mercat actual és conegut l'ús massiu d'un tipus de sistema d'il·luminació anomenat VSAP (vapor de sodi a alta pressió) ja utilitzat a les vies primàries i preferents, incloses les glorietses d'aquest tipus de vies, ciutats i pobles on la connexió a la xarxa elèctrica és de fàcil accés. L'enllumenat d'una rotonda en la via secundària seria possible mitjançant fanals convencionals com els anteriorment esmenats, connectats a la xarxa elèctrica pública.

És necessària l'excavació del terreny per a la conducció interna del cablejat connectat a la xarxa elèctrica pública o en cas contrari la instal·lació de torres elèctriques per la distribució d'aquest cablejat per l'exterior.

Aquest tipus de làmpades (VSAP) són molt utilitzades pel seu gran rendiment ja que són capaces de proporcionar un gran nombre de lúmens per watt; entre 80 lúmens/W i 115 lúmens/W. El consum per a una làmpada de 5 metres, cas estàndard en una rotonda de dimensions mitjanes, és de 150W entregant 11620 lúmens. A més a més, necessiten d'un temps estimat d'entre 9 i 10 minuts per la seva posada en marxa i per a poder re-encendre-les necessiten entre 4 i 5 minuts. El temps de vida mig d'aquestes és elevat, rondant les 15000 hores i el seu temps de vida útil arriba fins les 24.000 hores amb un ús diari de 6 h/dia.

Cal remarcar abans d'exposar les raons de l'estudi d'una millora, que les solucions no deixen de ser vàlides en cap moment. Si s'estudia el cas i es realitza una comparativa amb el tipus d'il·luminació LED s'extreuen diverses conclusions a continuació argumentades.

El fet de dependre de la connexió a la xarxa pública comporta un cost econòmic degut a la construcció dels canals portadors del cablejat, tant mitjançant una excavació del terreny com torres elèctriques. Aquest cost engloba una mà d'obra i una major quantitat de dies de treball així com el cablejat necessari. A més a més, s'ha de tenir en compte l'impacte ambiental que es pot produir a l'hora de realitzar les construccions i canvis en el paisatge pertinents.

Per altra banda, realitzant una comparació amb la il·luminació LED es poden observar diversos factors de tipus econòmic, de consum, de rendiment i de vida útil a destacar.

A priori, si es comparen la quantitat de lúmens que poden proporcionar els dos tipus d'il·luminació es pot arribar a la falsa conclusió que el LED no millora en cap cas el sistema VSAP. El LED és capaç de proporcionar aproximadament 8400 lúmens, és a dir, una quantitat menor que el sistema VSAP, però, per contra, el seu consum és de 80 W, el que es tradueix en un major rendiment ja que és capaç de produir una diferència menor de lúmens a costa d'una major

diferència en el consum (gairebé el 50%).

La vida útil de la tecnologia LED, d'acord amb les proves realitzades a laboratori, pot arribar a ser de 80.000 hores, el temps mig de fallada. Per tant, la vida útil del fanal no dependria de la tecnologia d'il·luminació, perquè la resta de components disposen d'un temps de vida inferior. Cal destacar que la llum d'aquest tipus de tecnologia és freda. Per tant, hi ha un important estalvi d'energia dissipada així com un menor risc de cremades al tacte o del propi aparell.

No només existeix un estalvi d'energia, també n'hi ha en qüestions d'il·luminació ja que no és necessari l'ús d'aparells reflectors, el que suposa en la resta de casos una pèrdua del 60% de la llum produïda. La tecnologia LED pot il·luminar amb una eficiència de fins el 90%.

El temps necessari per a posar en marxa un sistema d'il·luminació LED és virtualment nul, és a dir, gairebé instantani. Aquesta característica permet la instal·lació d'un sistema de detecció de vehicles a una distància prudencial de la rotonda per tal de poder fer el sistema autònom i eficient.

Reciclables. Els materials amb els que estan construïdes les bombetes de LED es presenten en estat sòlid, això a diferència de les demés, permet que aquesta tecnologia sigui reciclable presentant d'aquesta manera un benefici clar en termes de protecció del medi ambient.

Per últim, gràcies al seu baix consum, l'ús de l'energia renovable és totalment adient a aquest sistema d'il·luminació ja que aquesta normalment té una producció baixa i certament costosa en comparació amb l'enllumenat connectat a la xarxa elèctrica pública.

3.2. Emplaçament i entorn físic.

La rotonda està situada a la sortida 54 de la C-17, a l'alçada de la població de Taradell, tot i que pertany al municipi de Malla, de la comarca d'Osona, Catalunya.

El clima d'Osona, segons el Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) és Mediterrani Continental Humit. Les precipitacions es distribueixen al llarg de l'any, però l'hivern és l'estació més seca. Pel que fa a la temperatura, l'estiu és calorós a la Plana de Vic i més fresc a la resta. L'hivern és fred a tota la comarca, amb inversió tèrmica i boires que afecten sovint la plana. L'amplitud

tèrmica és alta al centre i oest de la comarca i només l'estiu queda lliure de la possibilitat de glaçades. Les temperatures mitjanes anuals, a la Plana de Vic es troben entre 11 i 13 °C.

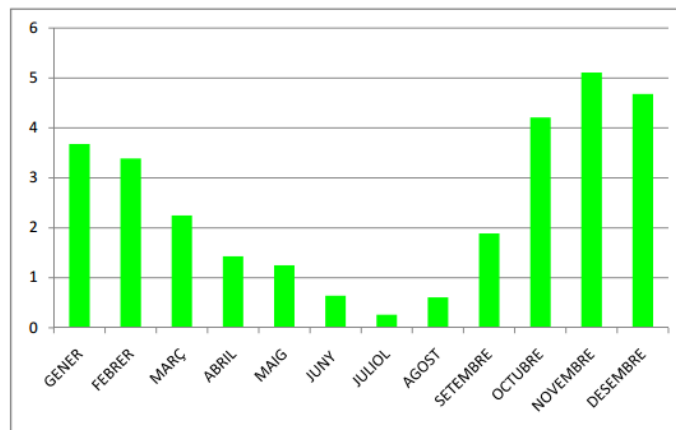


Figura 2. Distribució mitjana mensual de boires a la Plana de Vic

El factor meteorològic més conegut i important pel projecte a la Plana de Vic, és la boira. Al fons de la conca d'erosió de la Plana de Vic es donen les condicions idònies perquè, en els dies de calma, des de la tardor fins a mitjans de primavera, es formi una important àrea d'inversió tèrmica. El límit superior d'aquesta capa, més freda i humida, està situada entre els 600 i 650 m d'altitud. Els mesos menys boirosos són els més ventosos i es donen sobretot en primavera, seguits dels d'estiu. De juny a agost l'augment de la temperatura, la menor humitat relativa i el poc refredament del sòl eviten la formació de boires. Els anys que apareixen boires en aquests mesos és degut a les pluges que augmenten la humitat relativa i el gradient tèrmic dia/nit.

Mitjançant l'estudi del SMC, es comprova que durant els últims anys, els mesos amb més dies de boira i duració d'aquesta són el Novembre i el Desembre.

La rotonda connecta amb l'autovia C-17, en direcció Barcelona i Ripoll, i amb la nacional N-141c que enllaça amb el poble de Malla i té direcció cap a Manresa passant per Collsuspina. El flux de pas més importants es corresponen amb el que es genera entre el Ripollès i l'àrea de Barcelona canalitzats per la C-17. Aquesta es pot classificar de trànsit intens, mentre que la resta de carreteres d'abast intercomarcal o regional com la N-141c tenen un trànsit de pas més feble. El trànsit local comprèn els desplaçaments des del lloc de residència al de treball o d'estudi i tots els que es relacionen amb el funcionament de la indústria i els serveis. Aquest tipus de trànsit tendeix a créixer degut a la proximitat entre les poblacions i a l'especialització territorial.

Les deficiències del transport públic, per culpa de la poca inversió de l'estat, com a mitjà de comunicació intermunicipal junt amb l'increment de la mobilitat interna, fan que l'ús del vehicle

privat sigui cada vegada més important. La mobilitat interzonal de Vic és captada en un 82,7 % dels viatges pel vehicle privat, en un 16 % pel tren i en un 1,3 % per l'autobús.

En general es constata que les carreteres que conflueixen a la Plana de Vic suporten un trànsit local molt elevat, que provoca freqüents congestions a les hores punta. Cal destacar la IMD¹ de la C-17 amb 42050 vehicles/dia registrat a l'any 2015, vers els 2421 vehicles/dia que té la N-141c. A continuació informació sobre el mapa de trànsit aportat per el 'Ministerio de Fomento'.

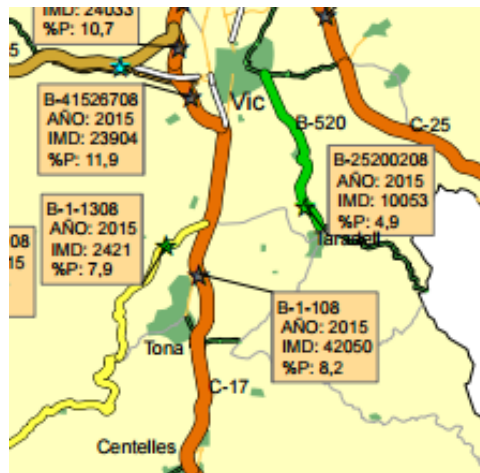


Figura 3. Mapa amb dades del trànsit que circula per la rotonda i als voltants.

Tot i que existeix un petit voral en la majoria de trams de la rotonda, el terreny en el que es vol efectuar la instal·lació del sistema d'enllumenat és de tipus natural i està soterrat respecte la carretera C-17 i envoltat per terrenys rurals. Superficialment està format per fangs, vegetació i roques. En alguns trams de l'exterior de la rotonda hi creixen diferents tipus d'arbres (sobretot a la vessant sud) i al centre d'aquesta hi ha plantat un avet. A més, existeix un voral de terra a la vessant oest suficientment gran com per estacionar el vehicle. Les illetes estan netes d'arbres o vegetació, però sense asfaltar ni arreglar.

¹ Intensitat Mitjana Diària = [vehicles/dia]



Figura 4. Imatges del terreny interior i exterior de la rotonda.

Als voltants de la rotonda, es troba el centre comercial “Esclat”, un dels més importants a la Plana de Vic i que té una gran afluència de compradors dia darrere dia. En aquest si accedeix mitjançant la rotonda est (no marcada en la figura 3) que connecta també amb el poble de Taradell. La il·luminació d'aquesta és pràcticament nul·la també, però gaudeix de major visibilitat degut a la il·luminació del centre comercial i el pàrquing exterior. A més, hi ha una gasolinera i una estació de servei.

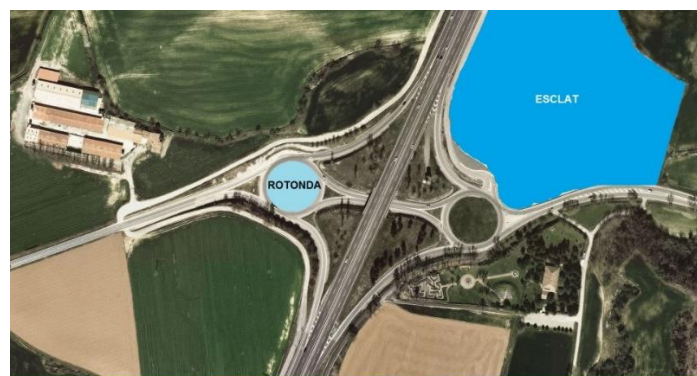


Figura 5. Imatges aèries de l'emplaçament de la rotonda.

3.3. Requisits normatius previs a estudiar

De bon principi, el projecte s'ha realitzat seguint les directrius establertes pel 'Real Decreto 1890/2008. Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior' i per el 'Real Decreto 842/2002. Reglamento electrotécnico de baja tensión' del 'Ministerio de Industria, Energía y Turismo'. Així també com la següent legislació de la Generalitat de

Catalunya: 'Llei 6/2001, de 31 de maig, d'ordenació ambiental de l'enllumenament per a la protecció del medi nocturn'.

Així doncs s'aplicarà a les instal·lacions, de menys d'1 kW de potència instal·lada, incloses en les instruccions tècniques complementàries ITC-BT-09, referides a enllumenat exterior del 'Reglamento electrotécnico de baja tensión'.

Totes aquestes lleis i normes es donen per conegudes per part dels proveïdors encarregats del subministrament del material, disseny del sistema d'enllumenat així com el desenvolupament de les obres d'adequació del terreny i la posterior instal·lació del sistema.

La instal·lació compleix amb tots els requisits exigits.

La normativa a la qual es dona compliment és la següent:

- **Eficiència energètica.**

Per tal d'aconseguir una eficiència energètica adequada en les instal·lacions d'enllumenat exterior, aquestes han de complir, almenys, amb els requisits següents:

1r- Els nivells d'il·luminació de la instal·lació no superin el que estableix la instrucció tècnica complementària ITC-EA 02.

2n- Per a l'enllumenat vial, es compleixin els requisits mínims d'eficiència energètica establerta a la ITC-EA-01.

3r – Si es disposa d'un sistema d'accionament i de regulació del nivell lluminós, dissenyar tal i com es defineix en la ITC-EA-04.

- **Resplendor lluminós nocturn, llum intrusa o molesta.**

Amb la finalitat de limitar la resplendor lluminosa nocturna i reduir la llum intrusa o molesta, les instal·lacions d'enllumenat exterior s'han d'ajustar, particularment, als requisits establerts a la ITC-EA-03.

- **Nivells d'il·luminació.**

Es compliran els nivells màxims de Luminància, il·luminància i d'uniformitat mínima permesa, en funció dels diferents tipus de l'enllumenat exterior, segons el que disposa la ITC-EA-02.

- **Règim de funcionament.**

1. Els sistemes d'accionament han de garantir que les instal·lacions d'enllumenat exterior s'encenguin i s'apaguin amb precisió, quan la lluminositat ambient ho requereixi.

2. Les instal·lacions d'enllumenat exterior, estaran en funcionament com a màxim durant el període comprès entre la posta de sol i la seva sortida, o quan la lluminositat ambient ho requereixi.
 3. Quan s'especifiqui, els enllumenats exteriors tindran dos nivells d'il·luminació de manera que en aquells casos de període nocturn en els quals disminueixi l'activitat o característiques d'utilització, es passi del règim de nivell normal d'il·luminació a un altre amb nivell d'il·luminació reduït, mantenint la uniformitat.
 4. Correspon a les administracions locals regular el temps de funcionament de les instal·lacions d'enllumenat exterior que es trobin en el seu àmbit territorial i que no siguin de competència estatal o autonòmica.
- **Documentació de les instal·lacions.**
Amb la finalitat de justificar el compliment de les exigències establertes en aquest Reglament, tota instal·lació d'enllumenat exterior ha d'incloure la documentació, en forma de projecte o memòria tècnica de disseny, segons s'estableix a la ITC-EA-05.
 - **Execució i posada en marxa de les instal·lacions.**
Les instal·lacions d'enllumenat exterior estan sotmeses, en general, a l'execució i posada en servei que determina l'article 18 del 'Reglamento electrotécnico de baja tensión', aprovat pel Real Decreto 842/2002.
La documentació de les instal·lacions i el manual d'instruccions per a l'usuari, així com la revisió i, si escau, la inspecció inicial, s'han de complementar amb el que indica la ITC EA-05.
 - **Manteniment de l'eficiència energètica de les instal·lacions.**
 1. Totes les instal·lacions hauran de disposar d'un pla de manteniment que comprendrà fonamentalment les substitucions de làmpades, les operacions de neteja de lluminàries i els treballs d'inspecció i mesuraments elèctrics. La programació dels treballs i la seva periodicitat, s'ajustaran al factor de manteniment adoptat, segons el que estableix la ITC-EA-06.
 2. A fi de disminuir els consums d'energia elèctrica en els enllumenats exteriors, el titular de la instal·lació ha de portar a terme, com a mínim un cop l'any, un anàlisi dels consums anuals i de la seva evolució.
 3. En les instal·lacions d'enllumenat exterior serà necessari disposar d'un registre fiable dels seus components incloent les làmpades, lluminàries, equips auxiliars, dispositius de regulació del nivell lluminós, sistemes d'accionament i gestió centralitzada, quadres de enllumenat, etc.

- **Sistemes d'il·luminació LED i aparells elèctrics i electrònics.**

Tot els elements destinats al sistema solució hauran de complir un seguit de normatives establertes pels agents competent de la regió. Cal esmentar que l'origen dels elements destinat a la lluminària hauran de complir obligatòriament al reglament fixat per el mercat CE.

El sistema d'il·luminació LED i els aparells electrònics compromesos en el sistema ha d'estar sotmesos a la següent legislació:

1. En aquests cas també hauran de complir el "Real Decreto 1890/2008" que aprova el 'Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior' i les seves especificacions tècniques complementaries EA-01 a EA-07.
2. El "Real Decreto 842/2002 pel que s'aprova el 'Reglamento electrónico de baja tensión' i les instruccions tècniques complementaries ITC-BT-01 a ITC-BT-51.
3. La "Directiva de Baja Tensión 2006/95/CEE" sotmesa a la aproximació de les legislacions dels estat membres sobre el material elèctric destinat a utilitzar-se amb determinats límits de tensió.
4. La "Directiva ROHS 2011/65UE". Relativa a les restriccions a la utilització de determinades substancies perilloses en aparells electrònics y elèctrics.
5. La "Directiva d'Ecodiseny 2009/125/CE" pel que instaura un marc per l'establiment de requisits de disseny ecològic.

4. Normativa a complir

4.1. Eficiència energètica segons ITC-EA-01²

En enllumenat específic per seguretat nocturna es tindrà en compte els següents aspectes per l'eficiència energètica:

- S'il·luminarà únicament la superfície que es vulgui dotar d'enllumenat.
- S'instal·larà làmpades d'alta eficàcia lluminosa compatibles amb els requisits cromàtics de la instal·lació i amb valors no inferiors als establerts en el capítol 1 de la ITC-EA-04.
- S'utilitzaran balises o lluminàries de rendiment lluminós elevat segons la ITC-EA-04.
- L'equip auxiliar serà de pèrdues mínimes, donant-se compliment als valors de potència màxima del conjunt de la làmpada i equip auxiliar, fixats a la ITC-EA-04.
- El factor d'utilització de la instal·lació serà el més elevat possible segons la ITC-EA-04.
- El factor de manteniment de la instal·lació serà el major possible, segons la ITC-EA-06.

Es calcula l'eficiència energètica com:

L'eficiència energètica d'una instal·lació d'enllumenat exterior es defineix com la relació entre el producte de la superfície il·luminada per la il·luminància mitjana en servei de la instal·lació entre la potència activa total instal·lada.

$$\varepsilon = \frac{S \cdot E_m}{P} \left[\frac{m^2 \cdot lux}{W} \right] \quad (Eq. 1)$$

ε = eficiència energètica de la instal·lació d'enllumenat exterior (m²·lux / W);

P = potència activa total instal·lada (làmpades i equips auxiliars) (W);

S = superfície il·luminada (m²);

E_m = il·luminància mitjana en servei de la instal·lació, considerant el manteniment previst (lux).

4.1.1. Qualificació energètica de les instal·lacions d'enllumenat

Les instal·lacions d'enllumenat exterior, excepte les d'enllumenats de senyals i anuncis lluminosos i festiu i nadalenc, es qualificaran en funció del seu índex d'eficiència energètica.

L'índex d'eficiència energètica (I_ε) es defineix com el quocient entre l'eficiència energètica de la instal·lació (ε) i el valor de eficiència energètica de referència (ε_R) en funció del nivell d'il·luminància mitjana en servei projectada, que s'indica en taula següent.

² ITC-EA: referides al 'Real Decreto 1890/2008'

$$I_{\varepsilon} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_R} \quad (\text{Eq. 2})$$

ENLLUMENAT PER A SEURETAT NOCTURNA

Il·luminància mitjana en servei. Em (lux)	Eficiència energètica de referència. ε_R
≥ 20	13
15	11
10	9
7,5	7
≤ 5	5

Taula 1. Eficiència energètica de referència segons la il·luminància instal·lada

Per tal de facilitar la interpretació de la qualificació energètica de la instal·lació d'enllumenat i en consonància amb el establert en altres reglamentacions, es defineix una etiqueta que caracteritza el consum d'energia de la instal·lació mitjançant una escala de set lletres que va des de la lletra A (instal·lació més eficient i amb menys consum d'energia) a la lletra G (instal·lació menys eficient i amb més consum d'energia). L'índex utilitzat per a l'escala de lletres serà l'índex de consum energètic (ICE) que és igual a l'invers de l'índex d'eficiència energètica:

$$ICE = \frac{1}{I_{\varepsilon}} \quad (\text{Eq. 3})$$

La taula 2 determina els valors definits per les respectives lletres de consum energètic, en funció dels índexs de eficiència energètica declarats.

Qualificació Energètica	Índex de consum energètic	Índex d'eficiència energètica
A	$ICE < 0,91$	$I_{\varepsilon} > 1,1$
B	$0,91 \leq ICE < 1,09$	$1,1 \geq I_{\varepsilon} > 0,92$
C	$1,09 \leq ICE < 1,35$	$0,92 \geq I_{\varepsilon} > 0,74$
D	$1,35 \leq ICE < 1,79$	$0,74 \geq I_{\varepsilon} > 0,56$
E	$1,79 \leq ICE < 2,63$	$0,56 \geq I_{\varepsilon} > 0,38$
F	$2,63 \leq ICE < 5$	$0,38 \geq I_{\varepsilon} > 0,20$
G	$ICE \geq 5$	$I_{\varepsilon} \leq 0,20$

Taula 2. Classificació de la qualificació energètica d'una instal·lació

Entre la informació que s'ha de lliurar als usuaris figurarà l'eficiència energètica (ϵ), la seva qualificació mitjançant l'índex de eficiència energètica (I_{ϵ}), mesurat, i l'etiqueta que mesura el consum energètic de la instal·lació, d'acord amb el model que s'indica a continuació:

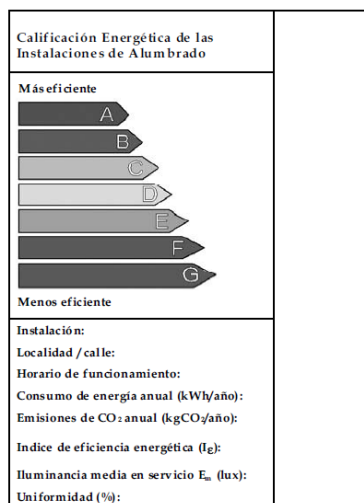


Figura 6. Etiqueta energètica obligatòria de l'enllumenat

4.2. Mesures Luminotècniques segons ITC-EA-02

4.2.1. Generalitats importants

- S'entén per nivell d'il·luminació el conjunt de requisits luminotècnics o fotomètrics (luminància, il·luminació, uniformitat, enlluernament, relació d'entorn, etc.) coberts per la present instrucció. En enllumenat vial, es coneix també com a classe d'enllumenat.

- Els nivells màxims de luminància o d'il·luminància mitjana de les instal·lacions d'enllumenat descrites a continuació no podran superar en més d'un 20% els nivells mitjans de referència que estableix la present ITC. Aquests nivells mitjans de referència estan basats en les normes de la sèrie UNE-EN 13201 "Il·luminació de Carreteres", i no tenen la consideració de valors mínims obligatoris, ja que queden fora dels objectius d'aquest Reglament.

- És d'assenyalar que els nivells de luminància i il·luminància mitjana consignats en la Instrucció tècnica.

complementària ITC-EA-02 són valors de referència.

- No s'haurà de garantir el valor de uniformitat mínima inclosos a ITC-EA-02, per a sistemes de seguretat nocturna.

- Així mateix, assolir uns valors mínims de la relació entorn (SR), així com no superar els nivells màxims d'enlluernament (TI), resulta necessari per a la seguretat dels usuaris de les vies de trànsit, per la qual cosa es recomana ajustar-se als nivells determinats referents en aquesta ITC-EA-02.

4.2.2. Classificació via i nivells d'il·luminació

El nivell d'il·luminació requerit per una via depèn de múltiples factors com són el tipus de via, la complexitat del seu traçat, la intensitat i el sistema de control del trànsit.

En el cas que consideréssim il·luminar la rotonda amb lluminàries per enllumenat exterior, el criteri principal de la classificació de la via és la velocitat de circulació. El projecte quedaria definit per una via tipus B o de velocitat moderada, on la velocitat és entre (30, 60] km/h. On a partir d'aquí, s'establiria el subgrup B2, ja que es tracta d'una carretera local en àrea rural i en funció de la intensitat del trànsit (IMD), s'hauria de definir el tipus d'enllumenat.

- $IMD \geq 7000 \rightarrow$ Classe d'enllumenat: ME2 / ME3b
- $IMD < 7000 \rightarrow$ Classe d'enllumenat: ME4b / ME5

Finalment però s'ha establert un criteri o normativa en la ITC-EA-02 que es considera més important que l'anterior i el fet d'instal·lar balises el fa obviar. I doncs, l'objectiu de instal·lar aquests aparells és la seguretat dels conductors, per tant s'utilitzaran uns nivells d'il·luminació bastant diferents als habituals. A més, tot i haver zones rurals al voltant, es classificarà la l'indret com a zona per a activitats industrials o comercials, degut a l'existència del centre comercial 'Esclat'.

Es defineix la normativa **d'Enllumenat de Vigilància i Seguretat Nocturna** la ITC-EA-02 com:

En les àrees destinades a activitats industrials o comercials, els nivells de referència mitjans de il·luminància seran els següents:

- Àrees de risc normal: 5 lux
- Àrees de risc elevat: 20 lux
- Àrees d'alt risc: 50 lux

Per l'obtenció dels nivells anteriors, s'admetrà la instal·lació d'un sistema d'enllumenat de seguretat temporitzat i activat per detectors de presència.

4.2.3. Enlluernament

Per avaluar l'enlluernament en la il·luminació de recintes oberts-superfícies s'utilitza l'índex d'enlluernament GR l'escala de 0 a 100, en ordre creixent d'enlluernament és la indicada a la següent taula:

Enlluernament	Índex GR
Insignificant	10
Lleuger	30
Límit Admissible	50
Molest	70
Insoportable	90

Taula 3. Caracterització Índex GR

Així doncs es classifica l'enlluernament segons dos criteris fonamentals:

Funcionalitat d'enllumenat	Tipus d'activitat	GR _{màx}
Seguretat i estàtic	Riscos alts	55
	Riscos mitjans	50
	Riscos baixos	45
Seguretat i moviment	Només vianants	55
	Tràfic lent	50
	Tràfic normal	45

Taula 4. Límits d'enlluernament segons funcionalitat

Valors a utilitzar depenent de la zona a senyalitzar de la rotonda.

4.3. Resplendor lluminosa nocturna i llum intrusa segons ITC-EA-03

4.3.1. Resplendor lluminosa nocturna

La resplendor lluminosa nocturna o contaminació lumínica és la lluminositat produïda al cel nocturn per la difusió i la reflexió de la llum en els gasos, aerosols i partícules en suspensió a l'atmosfera, provinent, entre d'altres orígens, de les instal·lacions de l'enllumenat exterior, bé per emissió directa al cel o reflectida per les superfícies il·luminades.

La protecció contra la contaminació lluminosa de la zona es classifica segons el tipus d'activitat a desenvolupar-hi.

En el cas concret del projecte, la zona es de tipus E3; àrea de brillantor o lluminositat mitjana. Aquest tipus d'àrees són zones urbanes residencials, on les calçades (vies de trànsit rodat i voreres) estan il·luminades o sectors comercials amb activitat durant part de la franja nocturna.

4.3.2. Limitacions de les Emissions Lluminoses

Es limitaran les emissions lluminoses cap al cel en les instal·lacions de l'enllumenat exterior, amb excepció de l'enllumenat festiu o nadalenc.

La lluminositat del cel produïda per les instal·lacions de l'enllumenat exterior depèn del flux hemisfèric superior instal·lat i és directament proporcional a la superfície il·luminada i al seu nivell d'il·luminància, i inversament proporcional als factors d'utilització i manteniment de la instal·lació.

El flux hemisfèric superior instal·lat FHS_{inst} o emissió directa de les lluminàries a implantar depèn del tipus de zona establert anteriorment. La zona és E3, per tant els seus límits són $FHS_{inst} \leq 15\%$.

A més d'ajustar-se als valors determinats anteriorment, per a reduir les emissions cap al cel tant directes, com les reflectides per les superfícies il·luminades, la instal·lació de les lluminàries haurà de complir els següents requisits:

- a) S'il·luminarà solament la superfície la qual es vol dotar d'enllumenat.
- b) Els nivells d'il·luminació no hauran de superar els valors màxims establerts a la ITC-EA-02.
- c) El factor d'utilització i el factor de manteniment de la instal·lació satisfaran els valors mínims establerts a la ITC-EA-04.

4.3.3. Limitació de la llum intrusa o molesta

Amb l'objectiu de minimitzar els efectes de la llum intrusa o molesta provinent de les instal·lacions de l'enllumenat exterior, sobre els residents i sobre els ciutadans en general, les instal·lacions de l'enllumenat exterior, amb excepció de l'enllumenat festiu i nadalenc, es dissenyaran per a que compleixin els valors màxims establerts següents, i en funció del tipus de zona establerta anteriorment (zona E3):

- a) Intensitat lluminosa emesa per les lluminàries $\rightarrow I = 10000 \text{ cd}$
- b) Il·luminància vertical $\rightarrow E_v = 10 \text{ lux}$

4.4. Components de la instal·lació segons ITC-EA-04

4.4.1. Làmpades

Amb excepció de les il·luminacions nadalencs i festives, les làmpades utilitzades en instal·lacions d'enllumenat exterior hauran de tenir una eficàcia lluminosa o rendiment lumínic superior a:

- 40 lum / W, per a enllumenats de vigilància i seguretat nocturna.

4.4.2. Lluminàries

Les lluminàries incloent els projectors, que s'instal·lin en les instal·lacions d'enllumenat excepte les d'enllumenat festiu i nadalenc, han de complir els requisits següents respecte els valors de rendiment de la lluminària (η) i el factor d'utilització (f_u).

- a) Rendiment de la lluminària $\rightarrow \eta \geq 60 \%$
- b) Factor d'utilització $\rightarrow f_u \geq 0,30$

Pel que fa al factor de manteniment (f_m) i al flux hemisfèric superior instal·lat (FHS_{inst}), han de complir el que disposen les ITC-EA-06 i la ITC-EA-03, respectivament.

A més, les llums s'han de triar de manera que es compleixin els valors d'eficiència energètica mínima, per a instal·lacions d'enllumenat vial i la resta de requisits per a altres instal·lacions d'enllumenat, segons el que estableix la ITC-EA-01.

4.4.3. Sistemes d'accionament

Els sistemes d'accionament han de garantir que les instal·lacions d'enllumenat exterior s'encenguin i s'apaguin amb precisió a les hores previstes quan la lluminositat ambient ho requereixi, a fi d'estalviar energia.

L'accionament de les instal·lacions d'enllumenat exterior es pot portar a terme mitjançant diversos dispositius, com per exemple, fotocèl·lules, rellotges astronòmics i sistemes d'encesa centralitzat.

4.4.4. Sistemes de regulació del nivell lluminós

Amb la finalitat d'estalviar energia, les instal·lacions d'enllumenat recollides a la ITC-EA-02, es projectaran amb dispositius o sistemes per regular el nivell lluminós mitjançant algun dels sistemes següents:

- a) Balasts sèrie de tipus inductiu per a doble nivell de potència;
- b) Reguladors - estabilitzadors en capçalera de línia;
- c) Balasts electrònics de potència regulable.

Els sistemes de regulació del nivell lluminós han de permetre la disminució del flux emès fins a un 50% del valor en servei normal, mantenint la uniformitat dels nivells d'il·luminació, durant les hores amb funcionament reduït.

4.5. Manteniment de la eficiència energètica segons ITC-EA-06

Les característiques i les prestacions d'una instal·lació d'enllumenat exterior es modifiquen i degraden al llarg del temps. Una explotació correcta i un bon manteniment permetran conservar la qualitat de la instal·lació, assegurar el millor funcionament possible i aconseguir una idònia eficiència energètica.

Les característiques fotomètriques i mecàniques d'una instal·lació d'enllumenat exterior es degradaran al llarg del temps a causa a nombroses causes, sent les més importants les següents:

- La baixa progressiva del flux emès per les làmpades.
- L'embrutiment de les làmpades i del sistema òptic del llum.
- L'envelliment dels diferents components del sistema òptic de les lluminàries (reflector, refractor, tancament, etc.).
- El prematur cessament de funcionament de les làmpades.
- Els desperfectes mecànics deguts a accidents de trànsit, actes de vandalisme, etc.

La peculiar implantació de les instal·lacions d'enllumenat exterior a la intempèrie, sotmeses als agents atmosfèrics, el risc que suposa que part dels seus elements siguin fàcilment accessibles, així com la primordial funció que aquestes instal·lacions ocupen en matèria de seguretat viària, així com de les persones i els béns, obliguen a establir un correcte manteniment de les mateixes.

4.5.1. Factor de manteniment

El factor de manteniment (f_m) és la relació entre la il·luminància mitjana a la zona il·luminada després d'un determinat període de funcionament de la instal·lació l'enllumenat exterior (Il·luminància mitjana en servei - E_{servei}), i la il·luminància mitjana obtinguda a l'inici del seu funcionament com a instal·lació nova (Il·luminància mitjana inicial - $E_{inicial}$).

$$f_m = \frac{E_{servei}}{E_{inicial}}$$

El factor de manteniment serà sempre menor que la unitat ($f_m < 1$), i interessa que sigui el més elevat possible per a una freqüència de manteniment el més baixa que pugui dur-se a terme. El factor de manteniment serà funció fonamentalment de:

- El tipus de làmpada, depreciació del flux lluminós i la seva supervivència en el transcurs del temps;
- L'estanqueïtat del sistema òptic de la lluminària mantinguda al llarg del seu funcionament;
- La naturalesa i modalitat de tancament de la lluminària;
- La qualitat i freqüència de les operacions de manteniment;
- El grau de contaminació de la zona on s'instal·li la lluminària.

El factor de manteniment serà el producte dels factors de depreciació del flux lluminós de les làmpades, de la seva supervivència i de depreciació del lluminària, de manera que s'ha de verificar:

$$f_m = FDFL \cdot FSL \cdot FDLU$$

En què:

- FDFL = factor de depreciació del flux lluminós de la làmpada
- FSL = factor de supervivència de la làmpada
- FDLU = factor de depreciació de la lluminària

4.5.2. Operacions de manteniment i registre

Per garantir en el transcurs del temps el valor del factor de manteniment de la instal·lació, es realitzaran les operacions de reposició de làmpades i neteja de lluminàries amb la periodicitat determinada pel càlcul del factor.

El titular de la instal·lació serà el responsable de garantir l'execució del pla de manteniment de la instal·lació descrit en el projecte o memòria tècnica de disseny.

Les operacions de manteniment relatives a la neteja de les lluminàries i a la substitució de làmpades avariades podran ser realitzades directament pel titular de la instal·lació o mitjançant subcontractació.

Els mesuraments elèctrics i luminotècnics incloses en el pla de manteniment seran realitzades per un instal·lador autoritzat en baixa tensió, que ha de portar un registre d'operacions de manteniment, en el qual es reflecteixin els resultats de les tasques realitzades.

El registre es pot fer en un llibre o fulls de treball o un sistema informatitzat. En qualsevol dels casos, es numeraran correlativament les operacions de manteniment de la instal·lació d'enllumenat exterior, hi ha de figurar, com a mínim, la següent informació:

- a) El titular de la instal·lació i la ubicació d'aquesta.
- b) El titular del manteniment.
- c) El número d'ordre de l'operació de manteniment preventiu en la instal·lació.
- d) El número d'ordre de l'operació de manteniment correctiu.

4.6. Enllumenat exterior segons ITC-BT-09³

Tot el referent al enllumenat vial exterior està establert per la normativa del "Reial Decreto 842/2002" amb les instruccions tècniques complementaries ITC-BT-09.

Les instruccions tècniques complementaries BT-09 estan basades en diversos apartats:

4.6.1. Camp d'aplicació

Aquí es defineix l'aplicació de les tècniques a instal·lacions d'enllumenat exterior destinat a il·luminar zones de domini públic. En el aquest cas es tracta de enllumenat vial, concretament en una rotonda.

4.6.2. Alimentació des de la xarxa de distribució

El cas del fanal de la rotonda no es tindrà en consideració aquets aspecte ja que el subministrament elèctric es aïllat de la xarxa publica.

4.6.3. Dimensionament d'alimentació de las instal·lacions

El cas del fanal de la rotonda no es tindrà en consideració aquets aspecte ja que el subministrament elèctric es independent de la xarxa publica.

4.6.4. Quadre de protecció, mesura i control

Les línies d'alimentació als punts de llum i de control, partiran d'un quadre de protecció i control; les línies es protegiran individualment, amb tall omnipolar, tant contra sobrecorrent (sobrecàrregues i curt circuit), com contra corrent de defecte a terra i sobretensions quan els equips instal·lats ho requereixen. La intensitat de defecte, l'indiar de desconexió dels interruptors diferencials, que pot ser de reenganxament automàtic, serà com a màxim de 300 mA i la resistència de contacte a terra, mesurada en la posada en servei de la instal·lació, serà com a màxim de 30 Ω . No obstant això, s'admetrà interruptors diferencials de corrent màxima

³ ITC-BT: referides a 'Real Decreto 842/2002'.

de 500 mA o 1A, sempre que la resistència de contacte terra mesurada en la posada en funcionament de la instal·lació sigui inferior o igual a 5Ω i 1Ω , respectivament.

Si el sistema d'accionament de l'enllumenat es realitza amb interruptors horaris o fotoelèctric, es disposarà d'un interruptor manual que permeti el accionament del sistema, amb independència dels dispositius citats.

Els evolvents del quadre, proporcionarà un grau de protecció mínima IP55 segons UN-EN 20.32 e IK10 segons UNE-EN 50.102 i disposarà d'un sistema de tancament que permeti l'accés exclusiu al mateix, del personal autoritzat, amb una porta d'accés situat a una altura d'entre 2 m i 0,3 m.

4.6.5. Xarxa d'alimentació

En el cas d'establir al sistema una xarxa d'alimentació (independent de la xarxa elèctrica pública en aquest cas) ha de mantenir uns requisits pel que fa el cablejat i el tipus (soterrat, aeri).

a) Cables:

Els cables seran multipolars o unipolars amb conductors de coure i tensió assignada de 0,6/1 kV.

b) Tipus:

i. Xarxa subterrània:

Sistemes anàlegs als regulats a la ITC-BT-07. Els cables hauran de complir les especificacions de la UNE 21123 i aniran entovats. Els tubs per a la canalització hauran de ser els indicats a la ITC-BT-21 i el grau de protecció mecànic el indicat a la mateixa instrucció.

La profunditat del soterrament ha de ser de superior o igual 0,4 m del nivell del sòl mesurats des de la cota inferior del tub i el seu diàmetre no serà inferior a 60 mm.

ii. Xarxa aèria:

S'utilitza els sistemes i els material adequats per les xarxes aèries aïllades descrites a la ITC-BT-06.

4.6.6. Suport de la lluminària

En l'interior dels suports de la lluminària hauran de respectar els següents requisits:

- a) Els conductors seran de coure, de secció mínima de $2,5 \text{ mm}^2$, i de tensió assignada 0,6/1 kV, com a mínim.
- b) En els punts d'entrada dels cables a l'interior del suport, els cables tindran una protecció suplementària de material aïllant mitjançant la prolongació del tub o un altre sistema que ho garanteixi.

- c) La connexió als terminals, estarà feta de forma que no exerceixi sobre els conductors cap esforç de tracció. Per les connexions dels conductors de la xarxa amb el suport, s'utilitzaran elements de derivació que contindran els borns apropiats, en número i tipus, així com els elements de protecció necessaris pel punt de llum.

4.6.7. Connexió a terra

Per la connexió a terra, s'instal·larà com a mínim un elèctrode de contacte a terra cada 5 suports de lluminària, i sempre en el primer i últim suport de cada línia.

Els conductors de la xarxa a terra que uneixen els elèctrodes han de ser:

1. De coure, de 35 mm² de secció mínima, si formen part de la pròpia xarxa de terra, en aquest cas passaran per fora de canalitzacions dels cables d'alimentació.
2. Aïllada, a través de cables de tensió assignada 450 / 750 V, amb recobriments de color groc, amb conductors de coure, de secció mínima 16 mm² per a xarxes subterrànies i d'igual secció que els conductors de fase per a les xarxes posades, en aquest cas aniran per l'interior de les canonades dels cables d'alimentació.

El conductor de protecció que connecta cada suport amb l'elèctrode o xarxa a terra, serà de cable unipolar aïllat, de tensió assignada de 450/750 V, amb recobriments de color groc-verd i secció transversal mínima de 16 mm² de coure.

Les connexions dels circuits de terra, es realitzarà mitjançant borns, grapes, soldadures o elements que garanteixin un bon permanent contacte i protegits contra la corrosió.

5. Descripció de la proposta final.

La proposta final, després de realitzar estudis de diverses combinacions amb les diferents opcions plantejades durant el projecte, s'especifica a continuació. Com bé s'ha esmentat a les anteriors línies, el sistema d'enllumenat final es basarà en el treball conjunt de tres tipus de sistemes: sistema de captació d'energia, sistema de control del sistema i sistema d'il·luminació.

Es descriuen:

5.1. Sistema de captació d'energia.

El present sistema d'il·luminació té la característica que obté l'energia d'una font renovable, com s'ha comentat anteriorment, l'energia solar. Ha estat l'escollida degut a l'impossibilitat d'utilitzar instal·lacions eòliques per el poc vent que circula a la Plana de Vic. Això es pot observar gràcies a la constant boira en temporada d'hivern, provocada per l'aire fred (més dens) que queda enclotat al fons de la Plana, esperant una ràfega de vent o una forta radiació solar que se l'endugui.

Per tal de captar l'energia irradiada pel Sol, es pretén instal·lar un sistema de captació basat en mòduls fotovoltaics que s'encarregaran de transformar aquesta energia irradiada en electricitat. Aquesta electricitat s'emmagatzemarà en bateries per ser utilitzada quan les condicions de visibilitat dificultin la circulació. Bàsicament, en moments matinals que hi hagi boira i durant la nit.

Tot això, es durà a terme mitjançant una sèrie de components elèctrics i electrònics, connectats de la següent manera:

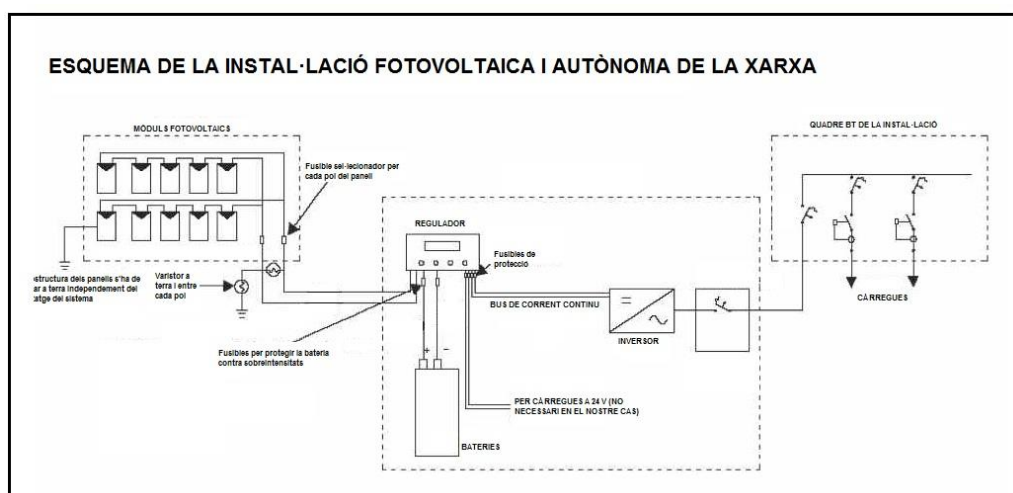


Figura 7. Esquema de la instal·lació adoptada

Primerament és important decidir el voltatge que tindrà el sistema i seguidament escollir els aparells que s'utilitzaran. En aquest cas, tenim un sistema de 24V i doncs, que funciona a corrent continu en la major part del circuit fins a l'arribada del inversor. Es parteix dels mòduls fotovoltaics com a sistema generador d'energia, seguits per dos fusibles 'gl' de tipus industrial, un en cada cable de cada pol dels panells, encarregats de protegir els aparells electrònics en el cas de corrent més elevat. A més a més, s'instal·laran dos varistors, un connectat a terra i l'altre entre cada pol dels panells per tal de proporcionar un camí diferent a la intensitat si existeixen sobretensions. Tot això, permetrà tenir cura a l'entrada del regulador/controlador, el qual distribuirà l'energia de la manera més òptima cap a les bateries, cap a les càrregues a través de l'inversor o bé cap als dos llocs. A més, el sistema disposarà de components electrònics per tal de fer un seguiment de la instal·lació i no perdre cap tipus d'informació. Tots els aparells elèctrics, electrònics i estructures per el sistema de captació d'energia són descrits a continuació.

5.1.1. Estructura per els mòduls fotovoltaics

L'estructura encarregada d'aguantar les plaques solars ha de ser resistent a les condicions meteorològiques i climàtiques de la zona, i rígida per aguantar el pes dels mòduls que se sustentaran sobre.

El model estructural escollit parteix d'una estructura triangulada de barres metàl·liques i de base també triangular. Les unions es faran amb 'tornilleria' a taller, tret del que no es pugui o es farà utilitzant soldadura preferentment en bàsic, substituint tota la secció a soldar. L'altura de l'estructura és de 12,36 metres, formada per 11 blocs de 1,17 m de llargària a una inclinació de 73 graus respecte la horitzontal.

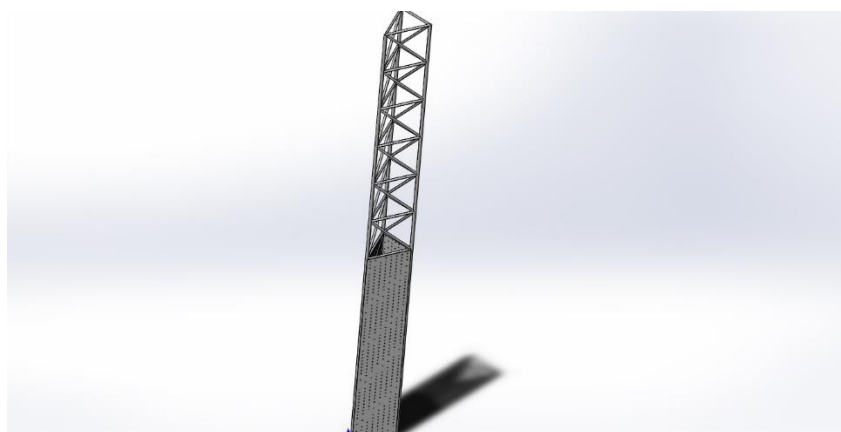


Figura 8. Estructura completa sense els mòduls instal·lats

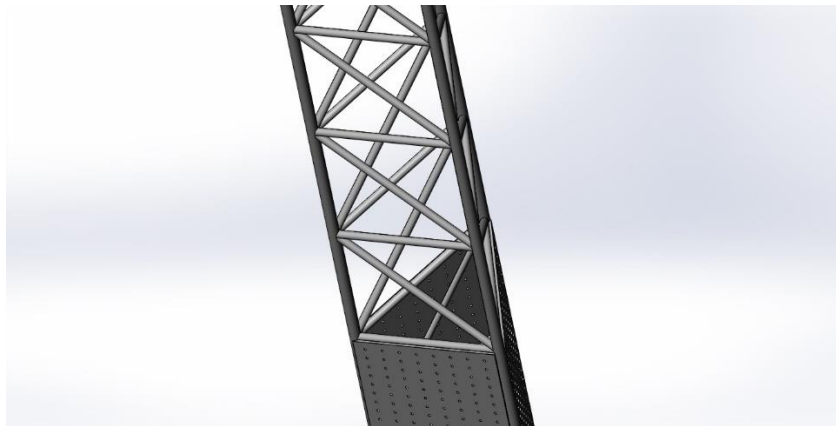


Figura 9. Unions de l'estructura

Es preveu que per motius constructius, estètics i de transport les torres estiguin compostes per dos mòduls amb un dimensionat diferent. Un superior, en que les seccions rectes dels perfils tubulars seran més petits i on també es trobaran uns esforços més petits, i una inferior, on a més de suportar les càrregues de vent majors, tindran que suportar tres bateries per planta segons es pot veure en els plànols corresponents (Annex E). Aquest darrer model anirà embolicat per xapa metàl·lica que no es tindrà en compta pels càlculs del conjunt.

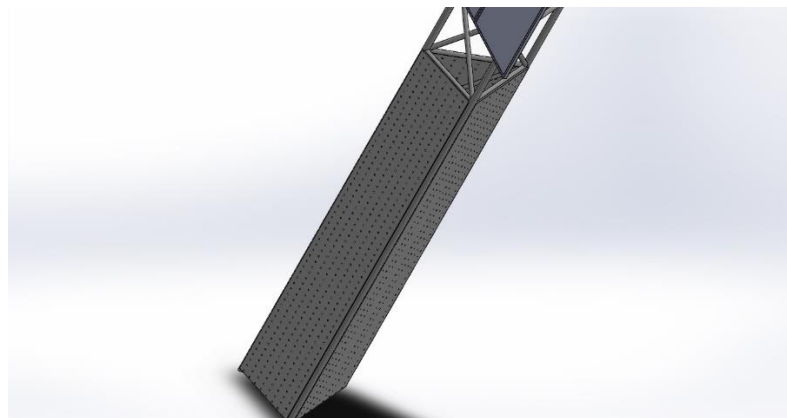


Figura 10. Xapa metàl·lica del bloc inferior de l'estructura

Aquest complement aporta a l'estructura protecció envers fenòmens meteorològics, protecció vers el vandalisme i seguretat per qualsevol vianant que pugui apropar-s'hi. A dins, hi ha aniran col·locades les diferents bateries que es veuran a més endavant, juntament, amb cablejat i aparells electrònics i elèctrics. A més, cal destacar les petites obertures circulars de 2 cm practicades a la xapa, per tal de donar una bona ventilació als gasos que extreuen les bateries durant el procés de càrrega i descàrrega.

a) **GENERALITATS:**

1. ACCIONS : L'estimació de les accions que graviten sobre les diferents plantes de l'estructura s'ha realitzat d'acord amb el que marca la Norma AE-88 (1991) "**Acciones en la Edificación**".

2. CÀLCULS : Pel càlcul dels esforços produïts a les diferents barres de l'estructura s'han fet uns predimensionaments previs, que s'adjunten en la documentació d'annexos en l'apartat càlculs, i després s'ha decidit la solució final.

L'anàlisi de les sol·licitacions es realitza mitjançant un càlcul espacial en **3D**, pels mètodes matricials de rigidesa formant tots els elements que defineixen l'estructura.

S'estableix la compatibilitat de deformacions a tots els nusos, considerant 6 graus de llibertat, i es crea la hipòtesi de indeformabilitat del pla en cada planta, per tal de simular el comportament rígid del forjat, impeditint els desplaçaments relatius entre nusos del mateix. Per tant, cada planta sols podrà girar i moure's en el seu conjunt (3 graus de llibertat).

Per tots els estats de càrrega es realitza un càlcul estàtic i es suposa un comportament lineal dels materials i, per tant, un càlcul de primer ordre, de cara a l'obtenció dels desplaçaments i esforços.

3. DIMENSIONAT : Pel dimensionat dels diferents elements que configuren l'estructura s'han seguit les recomanacions pertinents de la Norma Bàsica de la Edificació "*Cálculo de las estructuras de acero laminado en edificación*" (NBE-MV103-1972) adoptant-se el diagrama bilineal del diagrama tensions-deformacions.

b) CARACTERÍSTIQUES DELS MATERIALS :

Els material estructural que es farà servir per a fabricar tota l'estructura serà tub metàl·lic rodó amb les característiques de qualitat següents :

-F E R R O-

Tindrà un límit elàstic convencional no inferior a 2.600 K/cm²

c) VALORACIÓ DE LES ACCIONS :

1. GRAVITATÒRIES I VENT

Segui en el predimensionament com en el càlcul definitiu s'han tingut en compte les següents accions :

- *Pes propi de l'estructura*
- *Pes bateries*
- *Càrregues laterals del vent*
- *Càrregues en punta voladius-càrregues en fase de construcció*

Per totes elles s'han seguit els criteris exposats a la instrucció d'obligat compliment:

NBE-AE-88 "Acciones en la Edificación" , i en concret les ECG-88 per a càrregues gravitatòries.

2. SISME

S'han seguit en tot moment els criteris exposats en l'actual **NCS-94 "Norma de Construcció sismoresistente"** d'obligat compliment i que substitueix a l'antiga "*Norma Sismoresistente P.D.S.-1*" de 1975, de la que es dedueix que es pot obviar la comprovació a sisme.

Al respecte s'han pres per la comprovació anterior els següents valors:

- Coeficient adimensional de risc per un període de vida de 50 anys : 1,0
- Acceleració sísmica bàsica a Barcelona : 0,04
- Acceleració sísmica : 0,04

d) COEFICIENTS DE SEGURETAT :

D'acord amb les normes ja citades anteriorment s'han fet servir els coeficients que s'assenyalen a continuació:

1. **Ferro:** S'ha pres el valor d'1,0 (U COMA CERO) que correspon a perfils normalitzats.
2. **Càrregues:** S'ha pres valor de 1,5 (U COMA CINCO) d'acord amb la norma abans esmentada.

e) COMBINACIONS DE CÀRREGUES :

Per una correcta interpretació dels resultats s'han escollit en cada cas la combinació de càrrega més desfavorable, tot això amb l'afectació dels corresponents coeficients de majoració i reductors que permeten les normes.

En el cas actual i donat que el vent és el factor determinant en l'obtenció dels esforços tan en barres com a la base de la fonamentació s'ha pres aquest cas com el més desfavorable, menyspreant la comprovació d'altres casos més per la banda de la seguretat.

f) DESCRIPCIÓ DEL PROCÉS DE CÀLCUL :

1. **DISCRETIZACIÓ DE L'ESTRUCTURA**

L'estructura es discretitza en elements, barres i nusos de la forma següent:

- **Cordons inclinats:** són els que més treballen i van connectats a la fonamentació de secció més potent i que fonamentalment treballen a tracció⁴ o compressió. En aquests elements no s'han considerat les excentricitats degudes a la variació de dimensions en alçada.

⁴ O compressió mínima.

- **Diagonals i muntants:** són de menys secció que el cas anterior i tenen la funció de suportar els tallants produïts per les càrregues horitzontals⁵.

2. AVALUACIÓ DELS ESFORÇOS

S'han comprovat els esforços en les tres direccions.

g) FONAMENTACIÓ:

S'ha seguit un procés paral·lel al de l'estructura : Primer s'ha fet un predimensionament per trobar una tipologia òptima i a continuació s'han calculat els elements de l'estructura: fonaments com les condicions de no bolcament i seguretat al tall del terreny de fonamentació.

Al respecte s'ha dissenyat una solució singular que consisteix en col·locar una base de fonamentació que es recolza amb uns fonaments perimetrals on es connecta a través de riestres de formigó armat.

h) ESTRUCTURA COMPLETA:

Dissenyada a partir del programa SolidWorks 2016, per donar-li una simulació el més proper a la realitat, abans de ser construïda. A continuació el disseny definitiu:



Figura 11. Estructura definitiva amb els mòduls fotovoltaics

Les plaques es col·locaran paral·leles a l'estructura i dues en sèrie a cada bloc. Des de l'alçada màxima fins quatre blocs més avall, per tal d'aprofitar la radiació solar al màxim, evitar ombres unes amb les altres i no produir reflexes molestos pels conductors quan circulin per la rotonda.

⁵ S'ha de preveure com es recolzen les bateries en un darrer dimensionament.

5.1.2. Localització i orientació dels mòduls fotovoltaics

La localització dels mòduls fotovoltaics dintre l'espai a estudiar serà el centre de la rotonda. Com s'observa en el plànol *Planta Rotonda* (Apartat Plànols) es disposa de prou espai al centre per col·locar els mòduls sense afectar la circulació dels vehicles. Tot i això, s'ha de realitzar la tala d'un avet que es troba al centre de la rotonda per poder col·locar l'estructura de les plaques fotovoltaïques.

En el cas de l'orientació dels mòduls, es defineix a partir de les coordenades (latitud i longitud), de l'angle azimut, la declinació⁶ i la culminació superior del sol⁷ del lloc on es realitzarà la instal·lació.

Com que tenim llibertat per triar l'angle d'azimut, evidentment i per a les nostres latituds, triarem l'azimut 0°, és a dir, l'orientació sud, ja que el sol culmina superiorment al sud del zenit al llarg de tot l'any i divideix el recorregut del sol diàriament en dues meitats perfectes.

Si hem instal·lat la placa solar amb un azimut de 0° (cap al Sud), l'altura adequada serà la mitjana entre l'altura màxima i mínima de la culminació superior del sol referit al lloc on s'instal·la la placa solar. Però en aquest cas, i com que es vol assegurar el subministrament lumínic en el pitjor dels casos, és necessari realitzar els càlculs amb la culminació superior del sol (h) en el cas més desfavorable (dia 21 de desembre, solstici de hivern), perquè es vol que les plaques captin la major energia en aquest moment de l'any que és quan hi ha més boira i més nit.

Si s'està situat a un lloc de latitud mitjana ($\rho = 41,88^\circ$) i el dia 21 de desembre:

- El sol surt quasi al sud-est (Azimut = $304^\circ 14' 55''$), la culminació superior té una altura de $21^\circ 33'$ i es posa quasi al sud-oest (Azimut = $55^\circ 45' 5''$). El dia dura 8 h 34 min 21s. (temps solar)
- Les ombres mai es projecten cap al Sud al moment de la culminació superior del sol.
- El sol segueix el seu camí augmentant l'ascensió recta i disminuint la seva declinació fins arribar al valor de $-(23^\circ 27')$

⁶ La declinació solar és l'angle entre la línia Sol-Terra i el pla equatorial celeste (projecció de l'equador terrestre).

⁷ Es recorda que un astre qualsevol a causa del moviment de rotació de la Terra passa dues vegades pel meridià del lloc. Aquestes posicions s'anomenen **culminacions**; serà **culminació superior** quan passa pel semi meridià superior i assoleix la màxima altura.

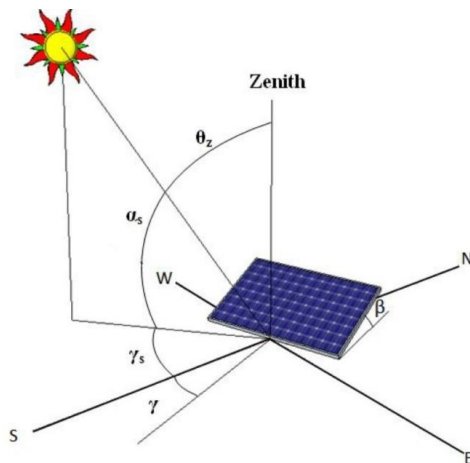


Figura 12. Angles solars emprats en el càlcul de potències per mòduls fotovoltaics.

En el cas particular de la rotonda, la posició ideal del mòdul queda definida a la Taula 5. Aquests valors s'obtenen d'un estudi adjunt a l'Annex A (Càlculs del projecte).

CONCEPTE	VALOR
Angle inclinació del mòdul, β	65,33°
Angle Azimut de la superfície del mòdul,	0°

Taula 5. Orientació òptima dels mòduls fotovoltaics.

Tot i que l'angle d'inclinació òptim sigui de 65,33°, s'ha decidit col·locar les plaques paral·leles a l'estructura (a 73°) per tal d'evitar ombres entre elles i proporcionar als càlculs estructurals major fiabilitat de rigidesa i compactació del sòlid dissenyat.

En quan a l'estiu aquestes plaques no captaran tota l'energia possible, degut a la seva inclinació, però tindrem assegurat de bon tros el funcionament de la instal·lació gràcies als marges de seguretat en els càlculs energètics.

Per tal de poder optimitzar al màxim la captació d'energia és convenient realitzar una tala luminotècnica dels arbres que es troben al perímetre del vessant sud de la rotonda en qüestió, perquè podrien produir ombra i reduir l'eficiència de la instal·lació de captació.

5.1.3. Mòduls fotovoltaics

La instal·lació d'il·luminació necessita una potència de 488 W i doncs amb el respectius càlculs tant de consum com meteorològics, realitzats en l'apartat Annex A, s'ha arribat a la conclusió que s'instal·laran vuit mòduls fotovoltaics de la marca SHARP i model ND-R250A5. Les seves dimensions són de 1652x994x46 mm i cada una pesa uns 19 kg, ubicats a la estructura en 4 branques en paral·lel amb dos panells en sèrie cada branca.



Figura 1. Mòdul Fotovoltaic SHARP ND-R250A5

Es caracteritzen per el seu alt rendiment, gràcies a la tecnologia de triple barra col·lectora i formats per cèl·lules de silici policristal·lines (156,5 mm²) amb coeficients de rendiment de fins el 15,2%. A més, tenen una capa antireflectant per augmentar la absorció de la llum i obtenir una millor captació energètica, inclús a baixa irradiació. Aquests tenen una potència pico de captació de 250 W amb una tolerància del 0 a +5%, el qual significa que només s'entregaran mòduls amb la potència igual o superior a la nominal especificada.

Es caracteritzen per portar connectades 60 cèl·lules policristal·lines en sèrie de 156,5 x 156,5 mm cada una, protegides per un vidre blanc temperat de 3 mm. És important escollir de forma raonada el tipus de cèl·lules, policristal·lines o monocristal·lines, ja que tot i que des de el punt de vista de fabricació del panell i del seu rendiment tècnic no existeix cap diferència entre elles a l'actualitat, sí a efectes pràctics. En els inicis, les plaques solars es fabricaven de la mateixa mida per els dos tipus, cosa que provocava un rendiment més baix tenir instal·lada una placa policristal·lina. Actualment, aquestes són totes un centímetre més llargues per tal d'equilibrar aquest petit increment que tenien de rendiment respecte les monocristal·lines. Per altre banda, i parlant sobre efectes pràctics, intervenen 2 factors externs al mòdul i que en resultats de eficiència beneficien les policristal·lines. En primer lloc, es tracta de la seva capacitat per captar la radiació difusa⁸, la qual permet donar radiació extra i més energia. El segon factor és la capacitat d'oferir una major eficiència de treball durant els mesos de més calor, ja que disposa de cèl·lules de silici de tonalitat blava que no reben un escalfament excessiu com en el cas de les

⁸ Radiació solar que no incideix directament del sol al panell perpendicularment, és a dir, que arriba rebotada des dels costats.

monocristal·lines que són més fosques. Això provocarà un millor funcionament i que l'energia que generaran a final d'any sigui superior a la de les germanes monocristal·lines.

Es disposa d'una garantia del producte de 10 anys i també, d'una garantia del rendiment lineal de 25 anys. A continuació una taula amb algunes de les seves característiques més importants i útils.

CONCEPTE	VALOR
Potència pico de captació de la placa (W)	250
Quantitat de plaques (ut.)	8
Tensió en circuit obert. Voc (V)	37,6
Corrent de curtcircuit. Isc (A)	8,68
Tensió en el punt de màxima potència. Vmpp (V)	30,9
Corrent en el punt de màxima potència. Impp (A)	8,10
Coefficient de rendiment del mòdul (%)	15,2

Taula 6. Propietats mòdul⁹

5.1.4. Bateries

Per tal d'emmagatzemar l'energia obtinguda i poder-la utilitzar quan les condicions de visibilitat siguin baixes, s'utilitzarà un sistema de bateries.

La característica essencial d'aquest sistema de bateries ha de ser la capacitat de poder il·luminar durant varis dies, exactament cinc, sense que la profunditat de descàrrega màxima estacional sigui major al 70% de la capacitat nominal i que la profunditat de descàrrega diària no superi el 15%.

Segons els càlculs estipulats en l'annex, les bateries seleccionades són les anomenades **20 OPzS 2500 LA** de la marca EXIDE de 2V cada una i 2500 A·h de capacitat nominal.

El terme OPzS significa: O = Ortsfest (estacionari) Pz = PanZerplatte (placa tubular) S = Flüssig (inundat), i doncs, són bateries de Pb-Ac (Plom Àcid) amb electròlit líquid amb forma de vasos.



Figura 2. 12 vasos de 2V cada un de bateries 20 OPzS 2500 LA

⁹ STC = Standard Test Condition: irradiació de 1.000 W/m², temperatura de la cèl·lula de 25 °C.

El recipient és transparent, per tal d'observar el estat de les cel·les i el nivell del electròlit. Estan formades per unes tapes que permeten tant la evacuació natural del hidrogen i del oxigen alliberats durant la gasificació, com la reposició periòdica (normalment anual) de l'aigua eliminada.

Entre les plaques existeix un separador microporós que permet la ràpida i fàcil difusió del electròlit, consistent en una dissolució aquosa d'àcid sulfúric de densitat al voltant de 1,24 g/cm³, a 20 °C i plena de càrrega.

Les plaques positives i tubulars garanteixen una llarga vida de servei de la bateria. Més de 10 anys amb un 20% de profunditat de descàrrega diària i molt poc manteniment. La reserva electrolítica i el sistema de recombinació allarguen els intervals de manteniment de 5 a 10 vegades. Això significa que la bateria està virtualment lliure de manteniment o almenys funcional amb un manteniment suau.

Aquest model de bateria solar estacionària, es solen utilitzar en instal·lacions fotovoltaïques i autònomes a 24-48V, que necessiten d'una gran capacitat d'emmagatzemament amb una profunditat de descàrrega moderada. Al tractar-se de vasos de 2V, es necessitaran bancs de bateries en sèrie de 12 unitats per complir el voltatge del sistema global (24V) i mantenir la capacitat nominal. A continuació algunes de les seves característiques més importants:

CONCEPTE	VALOR
Voltatge Nominal (V)	2
Capacitat Nominal. C₁₀ (A·h)	2500
C₂₀ (A·h)	2640
C₁₀₀ (A·h)	3760
Resistència interna (mΩ)	0,12
Pes (kg)	184

Taula 7. Característiques tècniques de les bateries

Aquestes es situaran a l'interior de l'estructura dissenyada, a la part inferior, col·locades en 4 prestatges de tres en tres i elevades uns 30 cm del terra per evitar l'accés de l'aigua en elles en dies de precipitacions. El seu pes és de 184 kg per unitat, per tant s'hauran de suportar 552 kg per prestatge i les seves dimensions de 812x490x215 mm. Requeriran un emplaçament adequat i senyalitzat, ja que la mescla del oxigen amb l'hidrogen pot arribar a ser explosiva. S'han de col·locar sempre de forma que el electròlit cobreixi totalment les plaques i els orificis de ventilació permetin una fàcil evacuació dels gasos extrets. És per això que les plaques inferiors de protecció de l'estructura, tindran forats suficientment petits perquè no es pugui enfilar ningú com alhora capaços de ventilar els gasos de les bateries.

5.2. Sistema d'il·luminació

El sistema d'il·luminació es basarà en la tecnologia de tipus LED. És de gran importància que el projecte estigui estretament relacionat amb les noves tecnologies i els sistemes energètics més eficients i eficaços al mateix temps.

Un cop s'ha estudiat la normativa i s'ha elaborat diferents estudis lumínics, s'ha decidit que la rotonda es basarà en criteris de senyalització i no amb il·luminació exterior. Tot i que es parli d'il·luminació durant el projecte, es referirà a la senyalització d'aquesta.

El plantejament d'aquest sistema es basa en la senyalització de les diferents zones de la rotonda amb balises. El proveïdor d'aquestes balises és l'empresa catalana LEDs-C4, especialista en el disseny, desenvolupament i producció d'aparells d'il·luminació, que dona servei a més de 13000 clients i a 140 països diferents.

5.2.1. Illetes d'entrades i sortides

La il·luminació en aquestes zones no cal que presenti els mateixos nivells que a la rotonda. Es planteja la idea d'il·luminar amb balises de més baixa potència (3 watts) la zona delimitada per les illetes, per tal de deixar-la ben senyalitzada per detectar l'encreuament des de una distància suficientment de seguretat. Aniran arran de terra, amb una altura del punt de llum de 0,058 metres. Aquesta il·luminació no és en cap cas funcional, té un objectiu complementari i és secundari.

5.2.2. Perímetre exterior de la rotonda, entrades i sortides

Per a la il·luminació del perímetre de la rotonda, les entrades i les sortides es disposarà de balises amb òptiques LED a una altura de 0,5 metres respecte el terra i de més potència respecte les balises de les illetes. S'instal·laran clavades mitjançant cargols a uns blocs de formigó d'alçada 0,442 metres. Concretament seran òptiques de 2 LEDs i una potencia de 13W cadascuna distribuïdes tal com es representa a la Figura 15 al exterior de la rotonda. A més, es col·locaran balises a cada entrada i sortida enfocant des de l'interior de la rotonda per tal de cobrir aquestes zones amb més perillositat. A les entrades es situaran balises amb òptiques de 2 LEDs de 7 watts per tal de controlar l'enlluernament als conductors, tot i la seva baixa altura. En canvi, en les sortides hi aniran les mateixes que al exterior de la rotonda.

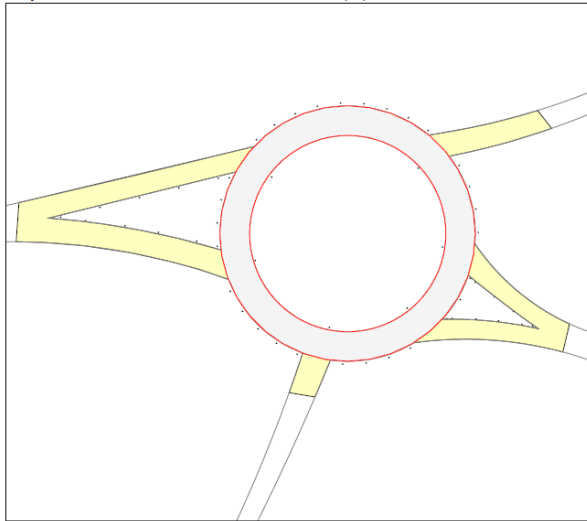


Figura 15. Plànols de distribució del sistema de il·luminació.

La informació addicional del sistema d'enllumenat, es podrà trobar en l'apartat 6 (*Estudi Lumínic*).

5.3. Sistema de control de l'enllumenat.

Un cop definit el sistema de captació d'energia i el model d'enllumenat que s'implanta a la rotonda estudiada. Es procedeix a definir com controlar aquest últim sistema per tal d'augmentar la seva eficiència, és a dir, el sistema de control té com a finalitat optimitzar l'energia elèctrica emmagatzemada a les bateries per tal que aquestes no es descarreguin per sota el 30% de la seva capacitat nominal i, d'aquesta manera, assegurar la il·luminació de la rotonda en tot moment. A més a més, s'implantaràn mètodes per reduir el consum total, mitjançant els sensors i aparells explicats a continuació:

5.3.1. Regulador

El regulador solar o regulador de càrrega, és una peça clau de cara al esquema elèctric i de control en qualsevol instal·lació solar i autònoma. La seva funció, com bé diu el seu nom, és la regulació, distribució i control de l'entrada d'energia generada a les bateries. Aquest permet allargar la vida útil de la bateria gràcies a l'ús eficient de l'electricitat obtinguda dels panells fotovoltaics, permeten el pas d'aquesta segons l'estat en que es troba la bateria en cada moment. A més, també permet obtenir informació i paràmetres de la instal·lació.

Com en qualsevol aparell, és necessari conèixer la varietat que existeix per tal de trobar un bon proveïdor. Existeixen 2 tipus de reguladors, el PWM o convencional, i el MPPT o maximitzador. El ús de un o altre dependrà del tipus de plaques fotovoltaïques escollides. Si es tracten de plaques solars de 36 o 72 cèl·lules, és a dir no més de 200W per placa, serà suficient un regulador PWM ja que aquests panells tenen un voltatge en el punt de màxima potència (V_{mpp}) alt. En el cas d'utilitzar plaques de 60 cèl·lules, com és el cas de les SHARP ND-R250A5, serà d'ús obligatori el regulador MPPT, ja que tenen un voltatge menor i prioritzen el amperatge en lloc del voltatge.

EL MPPT modularà el voltatge del panell i l'adaptarà a les característiques de les bateries utilitzades.

És important diferenciar els panells de xarxa (60 cèl·lules) amb els convencionals (36/72 cèl·lules). Per això, cal observar a la fitxa tècnica el paràmetre de voltatge a màxima potència (V_{mpp}), on s'indicarà d'uns 29-30 V per a panells de xarxa i d'uns 36-37 V per els convencionals. Per saber l'amperatge del regulador, s'haurà de mirar la intensitat total que circula pels panells i buscar un aparell que superi i aguantí aquesta intensitat. Aquesta part anirà definida als càlculs de l'annex.

El regulador que s'utilitzarà, seguint el anteriors criteris, és l'anomenat '**SmartSolar charge Controller MPPT-250-100**' de la marca 'VictronEnergy'.

Es tracta d'un regulador de càrrega avançat de 250 volts de tensió màxima del circuit obert i de 100 A de corrent de càrrega nominal, el qual és totalment necessari quan es volen instal·lar plaques solars de xarxa (de 250W) en instal·lacions solars aïllades.



Figura 16. SmartSolar charge Controller MPPT 250/100

Les plaques de 60 cèl·lules instal·lades només generen un voltatge de 30,9 V a màxima potència, amb lo qual degut a les pèrdues sempre arribaria a un voltatge menor al del sistema (24V). Per solucionar aquest problema, s'ha d'utilitzar aquest regulador, el qual amplificarà el voltatge del panell de xarxa fotovoltaic fins a convertir-lo a un de similar al dels panells de 72 cèl·lules (≈ 37V). Si no es tingués coneixement d'aquest fet i s'utilitzen aquests panells amb un regulador convencional, les bateries patiran per poder igualar la electricitat que rebin amb l'electricitat que emmagatzemin. Això repercutirà en la seva capacitat de vida útil, reduint-se més o menys a la meitat. Les bateries són el element més car de la instal·lació, per tant convé cuidar-les al màxim.

Aquest regulador permetrà que quan la bateria estigui a un nivell de càrrega inferior al 95%, permetrà el pas lliure de tota l'electricitat amb l'objectiu de carregar-la al màxim possible. Si es

troba a un percentatge de càrrega entre el 95 i 99%, permetrà el pas de forma molt controlada que es l'estat anomenat càrrega de flotació. Finalment, si la bateria es troba completament carregada, es tallarà el pas de corrent per evitar sobrecàrregues o un sobreescalfament del acumulador.

Al ser una instal·lació de 24V aïllada, permetrà arribar al punt de màxima potència del panell durant el major temps possible, amb lo qual dispararà el rendiment de fins un 30% superior respecte un regulador PWM i de un 10% respecte un MPPT més lent. Això afavoreix a concloure que és rentable l'ús de regulador MPPT.

Característiques més importants:

- Seguiment ultra ràpid del punt de màxima potència (MPPT).
- Detecció avançada del punt de màxima potència en cas de núvols parcials o boira.
- Excepcional eficiència de conversió sense ventilador (99%).
- Algoritme de càrrega regulable.
- Àmplia protecció electrònica.
- Sensor de temperatura interna.
- Bluetooth integrat.
- V.E. Direct¹⁰



Figura 17. Connexions MPPT 250-100

5.3.2. Inversor

La funció bàsica del inversor és canviar el voltatge d'entrada de corrent continua provinent de les bateries i el regulador, a un voltatge simètric de sortida de corrent altern, amb la magnitud i freqüència desitjada per el tècnic.

L'escollit en aquest projecte és el '**Multiplus Inverter charger 24/3000/70 + 50**' de la marca 'VictronEnergy'.

¹⁰ Connexió per instal·lar-hi el Control GX o un ordinador per controlar el sistema.



Figura 18. Multiplus Inverter Charger 24/3000/70 +50

Es tracta d'un inversor carregador solar d'ona sinusoidal pura composta per dos parts ben diferenciades, per una part té el inversor que realitza les funcions típiques de inversor convencional. Per l'altre part, el carregador, que és l'encarregat d'activar un generador d'energia alternativa als panells solars, en cas de que les bateries baixin del mínim de tensió que els hi permet funcionar; si això passés, és quan el carregador activa el generador i alimenta simultàniament tant les bateries com també, subministra energia, si ho requereixen, les lluminàries.

Com s'especifica en el nom, l'aparell funciona amb un voltatge del sistema de 24 volts, té una potència de sortida de 3000 watts, una corrent de càrrega de les bateries auxiliars de 70 ampers i un commutador de transferència de 50 ampers. El seu rendiment és del 94%.

A continuació un resum de les característiques i propietats més importants que conté el producte escollit:

- Dues sortides CA: La sortida principal que conté la funció "no-break" (sense interrupció). En cas de desconexió dels generadors, s'encarrega de aportar subministrament a les càrregues. La segona sortida només és activada quan una de les entrades del Multiplus té alimentació CA i tant sols se li poden connectar aparells que no descarreguin la bateria com per exemple un sensor.
- Potència pràcticament il·limitada: es poden connectar fins a 6 inversors en paral·lel per tenir una major potència de sortida.
- Capacitat de funcionament trifàsic: tot i que no és necessari per el circuit empleat en el projecte, es poden configurar tres unitats del mateix model per una sortida trifàsica.

- Potència limitada del generador (PowerControl): en el panell de control es pot regular una corrent màxima provinent del generador. El Multiplus es farà càrrec de les altres càrregues CA i utilitzarà el corrent sobrant, evitant així sobrecarregar el generador.
- Augment de la capacitat elèctrica del generador (PowerAssist): quan es requereixi un pic de potència durant un curt espai de temps, es compensarà immediatament la possible falta de potència del generador amb potència de la bateria. Quan es redueixi la càrrega, la potència sobrant s'utilitza per carregar les bateries.
- Potència CA disponible durant una desconexió i software de detecció de falta de subministrament elèctric.
- Seguiment i control in situ.
- Seguiment i control a distància mitjançant Control GX.

5.3.3. Control de precisió de bateries

S'instal·larà un sistema de control de precisió de bateries de la casa 'VictronEnergy' anomenat '**Serie BMV-700**'. Es tracta d'un monitor d'alta precisió que la seva funció és calcular una sèrie de paràmetres de les bateries com els amper/hora consumits, la tensió i el corrent. A més de les opcions bàsiques de visualització, també mostra el estat de càrrega, l'autonomia restant i la potència consumida en watts.

La capacitat restant de la bateria depèn dels amper/hora consumits, de la corrent de descàrrega, de la temperatura i de la edat de la bateria. Per això, es necessita un software amb algorismes complexos per tenir en compte totes aquestes variables.

Aquest inclou un derivador de corrent per realitzar totes les connexions elèctriques de manera ràpida mitjançant un cable telefònic estàndard RJ12. També inclourà 10 metres d'aquest cable, un cable amb fusible de 2 metres per la bateria del monitor, una placa frontal per la pantalla, una anella de fixació i uns cargols per el muntatge.

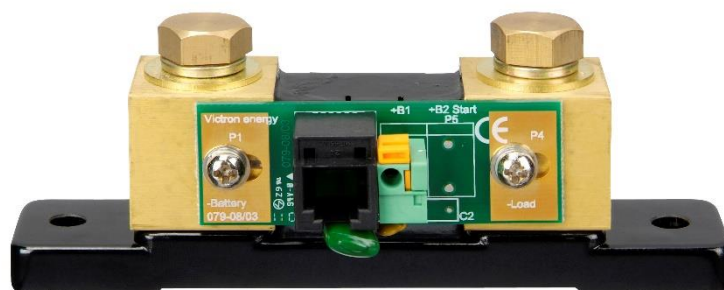


Figura 19. Derivador de corrent connectat a les bateries

Destaca per tenir la funció de control de la tensió del punt mig de les bateries, que s'utilitza sovint en el sector per monitoritzar grans i costosos bancs de bateries. Un banc de bateries consta d'una cadena de cel·les connectades en sèrie i la tensió del punt mitjà és la tensió que s'obté en la meitat d'aquesta cadena. Idealment, la tensió del punt mitjà equivaldria exactament a la meitat de la tensió total. No obstant això, en la pràctica es podran veure desviacions que dependran de molts factors, com el diferent estat de càrrega de les bateries o cel·les noves, de les seves diferents temperatures, de corrents de fuga internes, de les capacitats i de molt més. Les desviacions importants, o que vagin en augment, de la tensió del punt mitjà indiquen un manteniment inadequat o una fallada en alguna bateria o cel·la. Les mesures correctives que es prenguin després d'una alarma per tensió del punt mitjà poden evitar danys en una costosa bateria.

Característiques estàndard:

- Tensió, corrent, potència, amperes-hora consumits i estat de la càrrega de la bateria
- Autonomia restant al ritme de descàrrega actual.
- Alarma visual i sonora programable
- Relé programable, per desconectar càrregues no crítiques o per arrencar un generador en cas necessari.
- Derivador de connexió ràpida de 500 amperes i kit de connexió
- Selecció de la capacitat del derivador fins a 10.000 amperes
- Port de comunicació VE.Direct
- Emmagatzema una àmplia gamma de dades històriques, que poden utilitzar-se per avaluar els patrons d'ús i el estat de la bateria
- Ampli rang de tensió d'entrada: 9,5 - 95 V
- Alta resolució de mesurament del corrent: 10 mA (0,01A)
- Baix consum elèctric: 2,2 Ah al mes (3 mA) @ 24V



Figura 20. Serie BMV 700 amb diferents mesures

S'instal·larà un 'VE Direct Bluetooth Smart dongle' de baixa energia (BLE), que permetrà donar una connectivitat a temps real en qualsevol smartphone i tableta tant Android com Apple.



Figura 21. VE Direct Bluetooth Smart dongle i aplicació de control a temps real al smartphone

La seva connexió es podrà observar a la part de plànols elèctrics, en el document apart de la memòria.

5.3.4. Monitorització dels aparells

Per tal de agrupar i tenir tota la informació a l'abast de manera còmode i visible, s'utilitzarà un aparell anomenat 'Color Control GX' de 'VictronEnergy'.

Es tracta d'un aparell digital que ofereix un control i monitorització intuïtiva de tots els sistemes elèctrics de VictronEnergy instal·lats. Aquest controlarà de forma local i extraient la informació a la seva pantalla, el inversor, el regulador MPPT i el monitor de bateries BMV. També, pot enviar totes les lectures a la pàgina web gratuïta de monitorització remota de Victron i a partir d'allà es pot configurar els aparells a través d'internet. Es connectarà a partir de sistema WI-FI, a partir d'un router o bé amb un accessori USB amb connexió 3G o GPRS. En el cas de no disposar de connexió a internet, el GX emmagatzemarà totes les dades recollides internament durant un període de 48 hores. Si es necessiten més dades que les anteriors 48 hores, es pot inserta una targeta micro SD o una memòria USB.

Es pot personalitzar tant l'arrencada com la parada del generador, utilitzant el estat de càrrega, la tensió i altres paràmetres. Permet realitzar una prova de funcionament mensual.

Per connectar el regulador MPPT 250/100 i el control de bateries BMV 700 es farà servir els ports VE. Direct i per connectar el inversor Multiplus, serà necessari el port VE.Bus. A continuació un petit esquema o manual de la connexió entre els aparells i el Color Control GX:

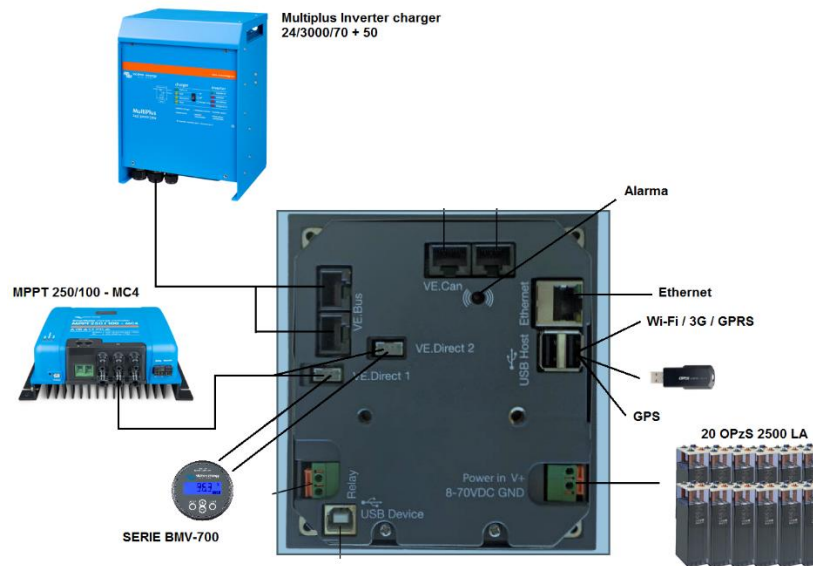


Figura 22. Monitorització de tots els aparells elèctrics.

5.3.5. Sensor de moviment – “Lighting Management”

En l'àmbit de la senyalització exterior, el ús de la il·luminació artificial és una de les causes de major consum d'energia. El consum excessiu d'energia i els seus alts costos de funcionament poden racionalitzar-se, gràcies a la introducció d'un sistema per la gestió de la il·luminació: “Lighting Management”.

Un sistema de gestió de il·luminació permet una reducció dràstica de l'energia dedicada a la il·luminació artificial: fins el 75%. L'objectiu és eliminar el malbaratament d'energia, per tant es dona pas a l'encesa automàtica per els dispositius de senyalització de manera intel·ligent: l'administració de la il·luminació proporciona la llum necessària, en el moment adequat i en el entorn on es sol·licita.

Avantatges que ofereix l'ús d'aquest sistema:

1. Reducció del cost operatiu: Un sistema de gestió de il·luminació permet una reducció significativa dels costos operacionals dedicats a la il·luminació artificial. No només als costos relacionats amb energia, sinó també el sistema de gestió i manteniment de la instal·lació, amb una taxa de retorn de la inversió que oscil·la entre els 6 mesos i els 5 anys. Així doncs el “Lighting Management” es converteix en una de les fórmules més viables de inversió en el mercat.
2. Sostenibilitat ambiental: Reduint el consum, un sistema de gestió d'il·luminació, permet una reducció significativa de les emissions de contaminants i dels gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera. Les fonts d'energia renovable, no són l'únic medi

per arribar als objectius de sostenibilitat del medi ambient. El punt de partida és definitivament reduir el consum.

3. Respecte a noves normatives: Un sistema de gestió d'il·luminació permet respectar les normes sobre l'eficiència energètica. Reduir el consum i els costos d'operació, participar en programes de sostenibilitat del medi ambient i complir amb les directives, no és una forta càrrega per les organitzacions, és més, representa l'oportunitat de millorar les seves instal·lacions, augmentant l'eficiència de consum d'energia, que permetrà avaluar econòmicament les instal·lacions pròpies.

Per aplicar aquest concepte de "Lighting Management", s'utilitzarà el "Switch Sensor" (sensor interruptor) de la casa italiana BTICINO, que compren una gama de sensors de presència i il·luminació combinats, que administren la càrrega en els seus dos possibles estats ON/OFF. Amb un voltatge de servei des de 100 fins a 240 Vac, poden controlar tots els principals tipus de càrrega presents al mercat com és el cas dels LEDs. El ajustament previ de fàbrica porta una operació immediata en la primera instal·lació, mentre que la disponibilitat de selectors i comandaments a distància el permet personalitzar el comportament dels dispositius per satisfer les necessitats de qualsevol tipus d'entorn.

Dissenyar un sistema d'administració d'il·luminació basat en la solució de "Switch Sensor", es basa en escollir el dispositiu més adequat en termes de tecnologia, l'àrea de cobertura, la ubicació i la quantitat. El disseny per tant es divideix en quatre diferents etapes d'anàlisi:

1. Característiques de l'ambient
2. Tecnologia del sensor
3. Àrea de cobertura del sensor
4. Modalitat de funcionament

Definir les opcions de projecte i dos passos més, permeten completar l'execució de la instal·lació:

1. Instal·lació
2. Configuració

És imprescindible informar als usuaris respecte a la lògica de funcionament del sistema de sensors, fent-los participar i sensibilitzant-los de la sostenibilitat del sistema. Per això s'instal·laran cartells d'avís en cada una de les entrades amb el següent missatge: 'Sistema de sensors a l'enllumenat de la rotonda a 100 metres'.

El compliment de les següents normes garanteix l'operació adequada, eficaç i eficient dels sensors:

- Escollir la tecnologia del sensor dependent del ús previst i del medi ambient, tenint en compte el nivell d'activitat dels ocupants.

- Es poden crear espais controlats per diferents sensors, per controlar la llum en entorns molt grans, avaluant minuciosament les zones de cobertura.
- Posicionar el sensors en la proximitat del espai principal d'activitat del vial, verificant que la lent no estigui dirigida directament a la font d'il·luminació natural o artificial.
- Verificar que l'altura màxima de la instal·lació del sensor i la tipologia de la instal·lació sigui possible.
- Escollir la tecnologia del sensor depenent de la presència o absència de objectes voluminosos, per verificar qualsevol interferència sobre la cobertura.
- Verificar la càrrega màxima que pot suportar el sensor seleccionat, tenint en compte que aquest pugui controlar qualsevol tipus de lluminària en el mercat.

A continuació es donarà una solució capaç de complir amb les normes anteriors i seguint les etapes d'anàlisis: Sensor BMSA2102



Figura 23. Sensor BMSA2102 de Bticino

Característiques sensor:

"Switch Sensor" infraroig passiu, detecció de moviment i el nivell de llum, administració de la càrrega de treball ON/OFF, paret, grau de protecció IP55, connexió a terminals de connexió ràpides, àrea de cobertura àmplia 30 m per 270 ° i la profunditat de camp de la instal·lació de 10 m (263 m²) a una altura de 2,5 m, una altura màxima de la instal·lació de 6 m. Font d'alimentació 100-240 VAC, 50/60 Hz, càrrega màxima de 8,5 A 230 Vac. Configuració amb control remot de mono/bidireccional (BMSO4003 i BMSO4001) de nivell de llum de 0 lux a 1275 lux, temps de retard de 0 s a 60 minuts i dels principals paràmetres de funcionament. Possibilitat de connectar un botó extern.

1. Característiques de l'ambient

Ambient exterior format per vials amb activitat principal de circulació de vehicles. S'instal·laran sensors de moviment a una distància aproximada de 100m de les diferents entrades de la rotonda, per tal de poder encendre l'enllumenat abans que el vehicle arribi i pugui ser alertat amb anterioritat.

2. Tecnologia del sensor

Es tracta d'un sensor amb tecnologia PIR, infraroig passiu, que consisteix en l'activació en funció de canvi d'energia en el rang del infraroig. Tal és el cas del cos humà en moviment. Analitzant la diferència entre l'energia de la font en moviment i el ambient que el rodeja, el sensor pot determinar la presència de vehicles i activar, si és necessari, la càrrega de la il·luminació. Perquè el sensor PIR funcioni de manera correcta, és imprescindible que no existeixin obstacles que interrompin la visibilitat entre el sensor i l'àrea on opera.

3. Àrea de cobertura del sensor

El tercer pas és escollir un sensor que pugui proporcionar una àrea de cobertura adequada a les característiques del medi d'instal·lació. A continuació es proporciona les àrees de cobertura del sensor escollit a diferents altures i en funció del nivell de sensibilitat de detecció:

Nivel de sensibilidad ajustable

H (m)	Bajo			Medio			Alto			Máximo		
	W (m)	D (m)	S (m ²)	W (m)	D (m)	S (m ²)	W (m)	D (m)	S (m ²)	W (m)	D (m)	S (m ²)
2.5	8	3	66	15	5	131	23	8	197	30	10	263
3	8	3	66	15	5	131	23	8	197	30	10	263
4	8	2	58	15	5	116	23	7	174	30	9	233
5	8	2	53	15	4	105	23	6	158	30	8	210
6	8	2	47	15	4	94	23	5	141	30	7	188

Leyenda:
H = Altura de Instalación (m)
W = Ancho (m)
D = Profundidad (m)
S = Superficie (m²)

Figura 24. Taula de l'àrea de cobertura del sensor BMSA2102

L'altura de muntatge escollida és a 2,5 metres per tal de cobrir el carril de circulació totalment amb una profunditat de 3 metres, una amplada de 8 metres i un nivell de sensibilitat baix. La superfície total coberta serà de 66 m². A continuació es mostra l'àrea de cobertura finalment escollida i la projecció dels infraroigs del sensor:

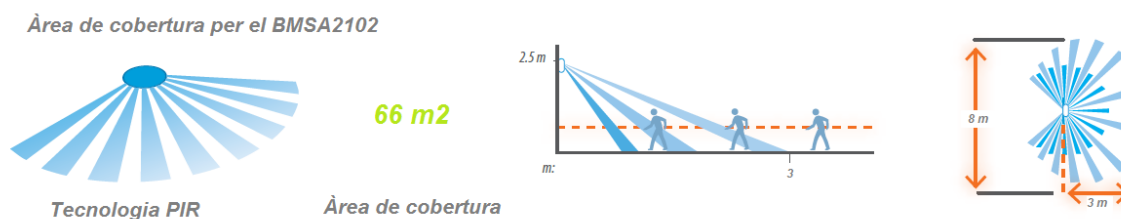


Figura 25. Àrea de cobertura i projecció dels infraroigs

Aquest sensors aniran subjectats en una columna cilíndrica d'acer galvanitzat de 3 metres d'alçada.

4. Modalitat de funcionament

El quart pas consisteix en la selecció de la modalitat de funcionament ideal per a les exigències dels usuaris del ambient. La modalitat escollida doncs és AUTO, que consisteix en que la connexió i desconnexió de la càrrega es gestionen automàticament per el sensor, en funció de la presència de vehicle i el nivell desitjat d'il·luminació. Aquesta modalitat no requereix la instal·lació d'un botó tradicional adicional; encara que es pot agregar per forçar el funcionament de la càrrega per sobre el automatisme del sensor.

El sistema es manté en funcionament manual el temps de detecció de presència; el sistema retorna a automàtic una vegada que es deixi de detectar presència i s'hagi completat el temps de retard o temps del temporitzador. Si el nivell de llum és igual o superior al mínim ajustat i es determina la presència de vehicles, el sensor no connectarà la càrrega. Si el nivell de llum és menor al mínim ajustat i es detecta presència de vehicles, el sensor connectarà la càrrega. Aquest funcionament permetrà un estalvi energètic mínim i assegurat d'un 40%.

Paràmetres establerts:

- Temps de retard (Temporitzador): 1 minut
- Nivell de llum: $\leq 200 \text{ lux}^{11}$
- Nivell d'apagat: $> 200 \text{ lux}$

Aquests sensors activaran la llum per un període estimat de 1 minut i s'apagaran en el cas que cap altre cotxe hagi activat de nou el sensor. A més, inclouen un sensor de lluminositat amb un rang de mesura regulable i un temporitzador incorporat.

5. Instal·lació

El cinquè pas consisteix en la instal·lació dels sensors, tant la ubicació com el cablejat. Aquest tindrà una instal·lació com si fos a paret, per realment anirà ubicat a 2,5 metres d'una columna.

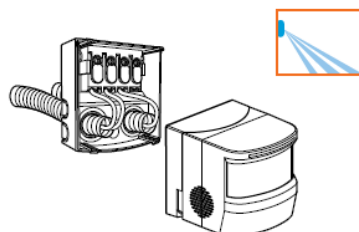


Figura 26. Predimensionament del muntatge

¹¹ Valor extrem dels núvols tempestuosos més foscos al mig dia.

La imatge següent mostra el esquema elèctric per la instal·lació dels sensors BMSA2102, on també mostra com es connecten varis sensors en paral·lel. La longitud de la línia elèctrica no ha de superar els 100 metres, en cas que s'utilitzi un polsador opcional.

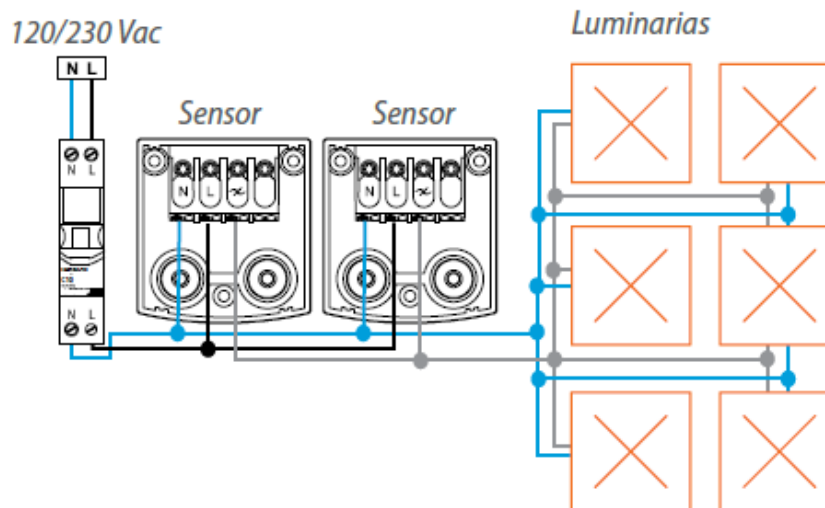


Figura 27. Esquema elèctric de la instal·lació en paral·lel dels sensors

Així que, en total, es necessitaran 3 sensors, un per cada entrada de la rotonda i aquests aniran connectats entre l'inversor i les càrregues paral·lelament entre ells, formant així una mena d'interruptors per donar pas del corrent. Mentre un estigui tancant el circuit per la circulació d'un vehicle, gràcies al funcionament AUTO, en el cas que arribi un altre vehicle, s'obrirà el circuit per part del que estava connectat i instantàniament, tancarà el circuit el de l'última entrada que s'ha accedit, tornant a posar el temporitzador a 1 minut.

6. Configuració

El sisè i últim pas, consisteix en la configuració del sensor. La configuració de fàbrica del sensor permet un funcionament immediat tan ràpid com són instal·lats; encara que mitjançant la manipulació dels selectors o el ús de telecomandament es pot personalitzar el funcionament dels dispositius, per a requeriments més exigents en ambients amb tipologies complexes.

Els paràmetres de funcionament modificables per l'usuari han sigut establerts en l'apartat modalitat de funcionament i són fonamentals per la correcta configuració del sensor en funció del ambient en el que s'instal·larà i de la exigència de la zona a controlar. Per la configuració òptima del nivell de llum, és apropiat fer un calibratge del sensor, una vegada es trobi instal·lat en el seu entorn. D'aquesta manera s'aconsegueix tenir en compte la influència de materials i colors que podrien afectar a les lectures fetes pel sensor.

Com s'ha explicat anteriorment, tant el regulador com el inversor proporcionen un estalvi energètic important gràcies a les seves funcions per detectar com distribuir l'energia en cada situació per aprofitar-la al màxim. Per donar un afegit al projecte, s'ha dissenyat aquest mètode de sensors perquè l'enllumenat només s'encengui quan algun vehicle necessiti accedir a la rotonda.

6. Estudi Lumínic.

La zona a il·luminar consisteix en una rotonda y accessos a la mateixa. L'estudi contempla la instal·lació de punts de llum mitjançant balises, amb una distribució preferent susceptible d'algun canvi. S'ha utilitzat 4 àrees de càlcul principals per realitzar l'estudi: el vial de la rotonda, el vial de les dues illetes i una porció de l'àrea de la rotonda ampliada. Estudi ubicat als annexos del projecte.

6.1. Classificació d'enllumenat

Per aquesta zona, a partir de la informació rebuda, i considerant l'establert a l'apartat "5. Alumbrado para vigilancia y Seguridad Nocturna" de la Instrucción Técnica ITC-EA-02 del Reglamento de Eficiencia Energética (REEIAE), es consideren uns valors de referència de Il·luminància Mitjana Horitzontal per zones comercials en funció de les àrees de risc. En que es dividirà en tres zones:

- Àrees de risc normal: la rotonda en general es considera una àrea de risc normal en que haurà de complir una condició mínima de 5 lux de mitjana en tota ella.
- Àrees de risc elevat: les àrees de risc elevat com són els vorals de les illetes i de la rotonda exterior hauran de complir la condició mínima de 20 lux en aquells punts.
- Àrees d'alt risc: les àrees d'alt risc com són les entrades i sortides de la rotonda compliran uns criteris de 50 lux de mitjana al voltant d'elles.

Uniformitat no es tindrà en compte segons la ITC-EA-02, ja que s'està senyalitzant la rotonda amb la finalitat de mantenir la seguretat dels conductors.

6.2. Paràmetres de càlcul.

Pels paràmetres de càlcul es tenen en compte els següents articles i conceptes:

- Balisa REXEL 2 LEDS 13 W, equipada amb òptica LED Cree de 2 LEDs ajustada a una potència de 13 W i 1404 lúmens de flux lluminós. Col·locada sobre bloc de formigó de 0,442 metres, per tal d'aconseguir una alçada de muntatge de 0,5 metres. S'ha intentat que l'alçada sigui la menor possible pel tema dels enlluernaments als conductors dels vehicles que circulin per la rotonda. Un total de 29 balises al diàmetre exterior de la rotonda i 3 en les sortides d'aquesta.

- Balisa REXEL 2 LEDS 7 W, equipada amb òptica LED Cree de 2 LEDs ajustada a una potència de 7 W i 756 lúmens de flux lluminós. Col·locada sobre bloc de formigó de 0,442 metres, per tal d'aconseguir una alçada de muntatge de 0,5 metres. S'ha intentat que l'alçada sigui la menor possible pel tema dels enlluernaments als conductors dels vehicles que circulin per la rotonda. Un total de 3 balises a les entrades de la rotonda.

- Balisa REXEL 2 LEDS 3 W, equipada amb òptica LED Cree de 2 LEDs ajustada a una potència de 3 W i 139 lúmens de flux lluminós. Col·locada arran de terra, per tal d'aconseguir una alçada de muntatge de 0,058 metres. Ús totalment de senyalització. Un total de 17 balises repartides en les dos illetes. Nou en la illeta sud i vuit en la illeta est.

Les Balises s'han col·locat segons imatge adjunta, a una interdistància d'uns 6 metres, amb alguna excepció i distribuïdes a l'exterior de la via de la rotonda. A les illetes s'ha mantingut una interdistància d'uns 8 metres. Tot i la baixa alçada, es calcula l'índex de enlluernament (GR) per a totes les lluminàries i es manté una temperatura de color càlida de 3000 K en les seves làmpades ja que **com més temperatura de color, es provoca més enlluernament** al conductor.

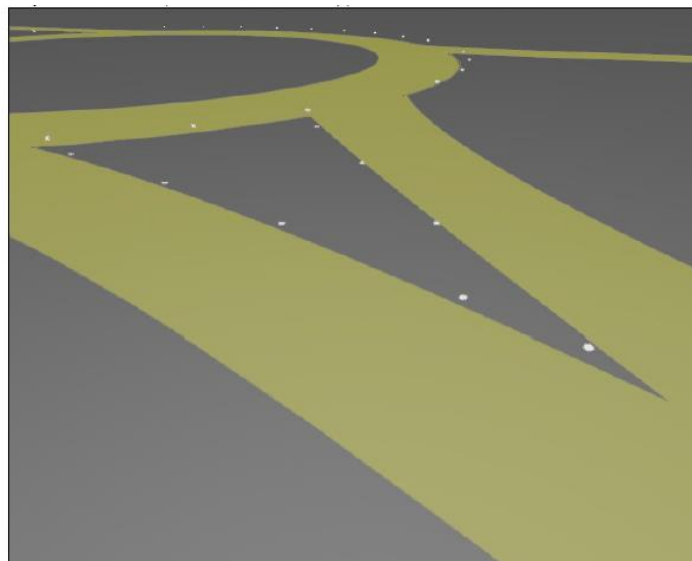


Figura 28. Distribució de balises

Es valorarà l'eficiència energètica de la instal·lació, juntament amb la seva qualificació energètica posant especial atenció en el tema de l'impacte ambiental.

Les làmpades tenen un rendiment lumínic de 101,3 lm/W, superior al mínim estipulat a la ITC-EA-04 (40 lm/W). A més, les lluminàries compleixen la normativa en aquesta mateixa guia tècnica en la propietat del seu rendiment, amb rendiments d'entre el 99 i 100%. Es considera un factor d'utilització del $f_u=0,99$.

A l'actual "Reglamento de Eficiencia Energética" no es contemplan els factors de depreciació corresponents a les lluminàries d'enllumenat públic proveïdes de font de llum LED. No obstant això, aquest valor no ha de ser superior a 0'98 per 4000 hores de funcionament tal i com s'indica

a l'apartat 2 de l'instrucció ITC-EA-06 de la "Guía Técnica de Aplicación del REEIAE". A aquest estudi s'ha considerat un factor de manteniment de $F_m=0,87$.

6.3. Resultats

Es realitza un expedient anomenat Estudi_Lumínic en el qual es determinen les òptiques LED, potències i finalment càlculs de diferents paràmetres lumínics expressats de forma explícita a l'Annex, apartat de Càlculs.

Expedient Estudi_Lumínic: Es determina una òptica LED de distribució asimètrica LED òptica Cree de 2 LEDs ajustada a una potència de 13W, 7W i 3W a la lluminària definida anteriorment, distribuïdes segons plànol adjunt, amb el que s'obtenen els valors de compliment per a la classe d'Enllumenat considerat (Seguretat Nocturna).

Els resultats obtinguts en els càlculs, així com els requeriments del REEIAE, es presenten en les següents taules. La primera fa referència als valors de lluminància obtinguts a la zona d'estudi i a la segona es presenta l'eficiència energètica de la instal·lació.

Propietats de la instal·lació

Expedient	Il·luminància Mitjana ¹² Em (lux)	Índex d'enlluernament (GR)	Rendiment Lumínic ef (lm/W)	Rendiment Luminària (%)	Uniformitat mitjana Um
Requeriments ¹³	≥ 5	≤ 45	≥ 40	≥ 60	-
Estudi	15,4	27	101,3	99,82	0,06

Taula 8. Resultats lumínics de l'estudi

Expedient	Àrea (m2)	Il·luminància mitjana pla treball Em (lux)	Potència total P (W)	Eficiència energètica ϵ (m ² ·lux/W)	Eficiència de referència (lux·m ² /W)	Índex d'eficiència energètica I_ϵ	Índex de consum energètic ICE	Qualificació Instal·lació
Estudi	425,02	15,4	488	13,41	11	1,22	0,82	A

Taula 9. Validació energètica de la instal·lació

¹² Els valors de lluminància mitjana no poden ser superats en més d'un 20 %.

¹³ Els valors requerits són valors de referència, considerats com a valors en servei.

7. Estudi d'Impacte Ambiental

Es realitza un estudi de l'impacte ambiental produït per la instal·lació d'enllumenat i es comprova que segueix la normativa establerta.

7.1. Marc legal, normativa

El sistema d'enllumenat LED de la rotonda haurà de mantenir les condicions necessàries per complir amb el descrit en el "Real Decreto 1890/2008" per l'eficiència en instal·lacions d'enllumenat exterior i l'estipulat en el "Decret 190/2015 i Llei 6/2001" per a la protecció del medi nocturn.

7.2. Impacte ambiental

En primer lloc cal identificar les accions d'impacte i els impactes potencials sobre cada un dels components ambientals de l'àrea d'influència del projecte. La identificació de les accions impactades del projecte es basen en l'anàlisi detallat del sistema, dels mètodes imposats en la construcció, operació i posterior desmantellament. Les fases d'execució són:

1. Construcció
2. Operació
3. Desmantellament

El tipus d'impacte que pot ocasionar deriva en termes generals a tres interaccions:

- Supressió d'elements del ambient ecosistema per poder adaptar el sistema dins de l'entorn establert en fase de construcció.
 - a) Tall d'arbres
 - b) Zones verdes o rurals del terreny
 - c) Poda d'arbres
- Inserció d'elements al ambient com a efecte directa de la instal·lació del sistema, com per exemple:
 - a) Estructura al centre de la rotonda
 - b) Balises
 - c) Cablejat
- Sobrecarrega del ambient provocat per el funcionament continu nominal del mateix sistema lumínic. La contaminació lumínica està causada per:
 - Lluminàries que emeten part del flux lluminós cap al cel o zones que no cal il·luminar
 - Nivell d'il·luminació superiors als necessaris
 - Horaris d'encesa innecessaris



Figura 29. Clar exemple de contaminació lumínica mundial

La contaminació lumínica produeix molts efectes negatius entre els quals destaquen:

- Alteració del descans de les persones i éssers vius que utilitzen la llum nocturna per caçar, orientar-se amb la Lluna, etc.
- Consum energètic innecessari que implica un augment de demanda d'energia elèctrica
- Dificultat per a estudis astronòmics
- Enlluernament

L'estudi d'impacte s'ha d'avaluar en totes les fases del projecte i per totes a les seves accions d'impacte establertes.

7.3. Estudi d'impacte

Un cop establert la identificació s'ha d'implementar unes mesures per mitigar els efectes d'impactes que no es puguin evitar, això amb la finalitat de que la execució del projecte s'emmarqui dins de la política mediambiental establerta per la normativa.

Dins de tots aquests efectes, cal remarcar l'anàlisi lumínic, atès que l'operació nominal del projecte avarca la major amplitud temporal d'aquest.

7.3.1. Estudi d'impacte lumínic de la rotonda

Durant el projecte s'ha intentat dissenyar un pla d'il·luminació que adapti l'enllumenat públic a les necessitats del ciutadà i es vol conscienciar a la societat que la contaminació lumínica és un problema actual important i per tant s'ha promogut accions per solucionar aquesta situació.

Per minimitzar l'impacte de la contaminació lumínica s'haurà de:

- 1) Evitar la llum artificial a tot el que sigui possible i aprofitar al màxim la llum natural.

Mesura correctora: tant el regulador com els sensors instal·lats tenen sensors de lluminositat per mantenir apagades les balises quan hi ha llum natural.

- 2) Utilitzar la llum només quan sigui necessària.

Mesura correctora: ús de temporitzadors o sensors de moviment.

3) Evitar l'emissió de llum cap al cel pel seu reflex en superfícies pròximes (edificis, finestres, arbres ...).

Mesura correctora: Orientar correctament les lluminàries i utilitzar lluminàries que dirigeixin el flux lumínic sobre la zona que es vol il·luminar, tal com es veu en la imatge següent.

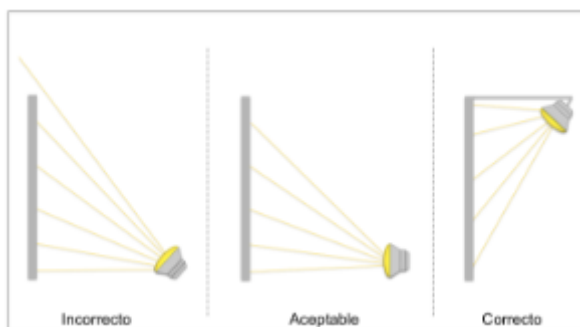


Figura 30. Correcta orientació lluminàries.

4) Utilitza llums d'espectre poc contaminant i gran eficiència energètica.

Mesura correctora: Ús de l'enllumenat LEDing.

5) Eliminar l'ús de lluminàries sense reflector.

Mesura correctora: LEDs utilitzats amb reflector o òptica de 45°.

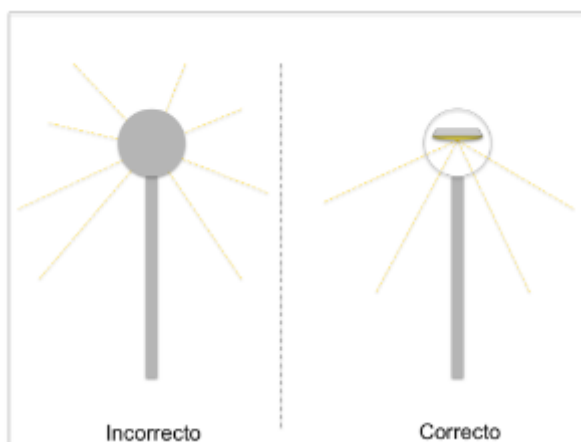


Figura 31. Diferència entre ús de reflector i sense.

8. Conclusions

Es pot concloure aquest projecte d'una manera ambiciosa i alhora havent complert una sèrie d'objectius proposats abans de la posada en marxa del mateix.

Era un problema evident i és que els accidents de trànsit provoquen conseqüències molt greus, molts cops sense marge correctiu i amb un alt cost per les institucions públiques. Aquest fet habitual a la rotonda de Malla, degut a la inexistència d'il·luminació prèvia, ha estat reduït considerablement complint les expectatives establertes abans del projecte. Consta en el Servei Català de Trànsit de la Generalitat de Catalunya que durant l'any 2016 en la rotonda, hi van haver 10 accidents, 2 dels quals van ser mortals i provocats per la falta de visió dels conductors implicats. No es pot preveure el que hagués passat amb una bona il·luminació, però si assegurar una bona qualitat de la via en que circulen els vehicles i forçar les estadístiques en una reducció important en aquest tipus de sinistres.

L'objectiu prioritari d'aquest projecte ha estat la seguretat dels usuaris i és que tota la normativa aplicada va en referència en aquest tema, és per això que s'ha arribat a la conclusió que l'ús de balises era una aposta clarament factible, complidora de lleis i innovadora. Sobretot innovadora, pel fet de senyalitzar des d'una distància molt propera al sòl, fet que provocava una dificultat afegida alhora de realitzar l'estudi lumínic. Apostar per balises ha permès augmentar la seguretat dels conductors ja que és totalment impossible que rebin enlluernaments per part d'aquestes, col·locades a tant baixa altura.

A més de millorar la seguretat per la circulació de vehicles, s'ha proposat un mètode intel·ligent ('smart') que permetrà reduir considerablement el consum energètic. No es pot deixar de banda el medi ambient, caracteritzat actualment per alts nivells de contaminació i l'ús d'aparells que degraden el planeta. És per això que durant el projecte s'ha cregut sempre en les energies renovables com a forma útil d'emmagatzemar l'electricitat, juntament amb la utilització de làmpades de baix consum LED. Aquestes sumades a la utilització de sensors aporten una reducció del 75% del consum donant un plus afegit respecte a qualsevol altre projecte que es pugui plantejar a l'ajuntament de Malla.

Finalment, s'ha treballat d'una manera multidisciplinària que ha permès aprendre i aplicar tot tipus de coneixements de l'àmbit tècnic i d'enginyeria, des de temes estructurals fins a elèctrics. L'anàlisi lumínic, ambiental, normatiu i energètic han permès definir les veritables claus per portar a terme aquest projecte, el qual està preparat per la presentació i defensa davant de qualsevol institució, amb el que implica de responsabilitat per part del Director Tècnic.

9. Bibliografia

Llibres

- I. Monedero Isorna, J. ; *Simulación visual de la iluminación: teoría, técnicas y análisis de casos*. Barcelona: Edicions UPC, 2015. ISBN: 9788498805451.
- II. García-Marquez Robledillo, V. ; *Eficiencia energética en las instalaciones de iluminación interior y alumbrado exterior*. ENAC0108. Antequera: IC Editorial, 2016. ISBN: 9788416271450.

Lleis i normes

- III. Espanya. **Real Decreto 842/2002**, de 2 de agosto, de *Reglamento electrotécnico para baja tensión*. Boletín oficial del Estado: Madrid, BOE, 18 setiembre 2002, no. 224, p. 33084 a 33086. BOE-A-2002-18099.
- IV. Espanya. **Real Decreto 1890/2008**, de 14 de noviembre, *Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior*. Boletín oficial del Estado: Madrid, BOE, 19 noviembre 2008, no. 279, p. 45988 a 46057. BOE-A-2008-18634.
- V. Catalunya. **Llei 6/2001**, de 31 de maig, *d'ordenació ambiental de l'enllumenament per a la protecció del medi nocturn*. Butlletí Oficial del Parlament de Catalunya, núm. 187, 28 maig 2001.

Webs i referències electròniques

- VI. Ministerio de Fomento: Tráfico
<http://www.fomento.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/CAR_RETERAS/TRAFICO_VELOCIDADES/MAPAS/2015/>
- VII. Tráfico: Manual de Carreteras
<https://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/01020103.pdf>
- VIII. Manual de cálculo para instalaciones fotovoltaicas autónomas
<<https://www.sfe-solar.com/suministros-fotovoltaica-aislada-autonoma/manual-calculo/>>
- IX. Photovoltaic Geographical Information System – Interactive Maps
<<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>>
- X. Estudi de boires a Plana de Vic
<http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/53625/1/LES_BOIRES_A_CATALUNYA_TFG.pdf>
- XI. Recursos CITCEA: Luminotecnia, Iluminación de Exteriores y Interiores
<<http://recursos.citcea.upc.edu/llum/>>

XII. Curso de iluminación

<<http://grlum.dpe.upc.edu/manual/disenProyecto-requisitosDiseno.php#requisitosEficienciaEnergeticaYMedioAmbiente>>

XIII. Leds C4

<http://leds-c4.com/ledsc4/es.html>

XIV. Victron Energy

<https://www.victronenergy.com.es/>

SoftwareXV. Autodesk Inc. (2017). *AutoCAD* (Versió 2016) [Software]:

<https://www.autodesk.es/store/products/autocad?term=1year&support=advanced>

XVI. Dial GmbH. (2017). *Dialux* (Versió evo 7) [Software]:

<https://www.dial.de/it/software/dialux/download/>

XVII. Dassault Systemes SolidWorks Corporation. (2017). *SolidWorks* (Versió 2017) [Software]:

<http://www.solidworks.es/>

III. PRESSUPOST

10. Pressupost parcial nº 1 – Instal·lació, amidaments i equips

CODI	DESCRIPCIÓ	UNITATS	QUANTITAT	PREU	IMPORT	
1	Balisa REXEL 2 LEDS 13 W	Balisa equipada amb òptica LED Cree de 2 LEDs ajustada a una potència de 13 W i 1404 lúmens de flux lluminós.	ut	32	127,99€	4.095,68€
2	Balisa REXEL 2 LEDS 7 W	Balisa equipada amb òptica LED Cree de 2 LEDs ajustada a una potència de 7 W i 756 lúmens de flux lluminós.	ut	3	95,99€	287,97€
3	Balisa REXEL 2 LEDS 3 W	Balisa equipada amb òptica LED Cree de 2 LEDs ajustada a una potència de 3 W i 139 lúmens de flux lluminós.	ut	17	71,99€	1.233,83€
4	SHARP ND-R250A5	Mòdul Fotovoltaic de potència pico 250 W, de dimensions 1652x994x46 mm i 19 kg de pes. Es caracteritzen per portar connectades 60 cèl·lules de silici policristal·lines en sèrie, cada una de 156,5 mm ² amb coeficients de rendiment de fins el 15,2%.	ut	8	291,30€	2.330,40€
5	Estructura mòduls	Suport de ferro per a fixació dels panell fotovoltaics. Fabricat amb 73° d'inclinació respecte al seu eix horitzontal. L'estructura és de 12,36 metres, formada per 11 blocs de 1,17 m de llargària i de base triangular.				
5.1	Barres de ferro \varnothing 90,4 mm	Llargària de 12,92 m.	ut	3	590,85€	1.772,55€
5.2	Barres de ferro \varnothing 60,6 mm	Diagonals de llargària de 1,62 m.	ut	33	53,47€	1.764,51€
5.3	Barres de ferro \varnothing 60,6 mm	Barres horitzontals de llargària 1,12 m.	ut	33	36,96€	1.219,68€
5.4	Planxes	Planxes d'acer galvanitzat de 5850x1120x30 mm amb forats per tenir una bona ventilació i utilitzades per recobrir l'estructura.	ut	3	923,83€	2.771,49€
6	20 OPzS 2500 LA	Bateries de Pb-Ac (Plom Àcid) amb electròlit líquid amb forma de vasos de la marca EXIDE de 2V i 2500 A·h de capacitat nominal.	ut	12	867,00€	10.404,00€
7	SmartSolar charge Controller MPPT- 250-100	Regulador de càrrega avançat de 250 volts de tensió màxima del circuit obert i de 100 A de corrent de càrrega nominal. De la marca VictronEnergy.	ut	1	819,19€	819,19€
8	Multiplus Inverter charger 24/3000/70 + 50	Inversor carregador solar d'ona sinusoidal pura que funciona amb un voltatge del sistema de 24 volts, té una potència de sortida de 3000 W, un corrent de càrrega de les bateries auxiliars de 70 A i un commutador de transferència de 50 A. El seu rendiment és del 94%. De la marca VictronEnergy.	ut	1	1.285,00€	1.285,00€
9	Serie BMV-700	Sistema de control de precisió de bateries de la marca 'VictronEnergy'. Es tracta d'un monitor d'alta precisió que la seva funció és calcular una sèrie de paràmetres de les bateries com els ampers/hora consumits, la tensió i el corrent.	ut	1	139,00€	139,00€
10	Color Control GX	Aparell digital que ofereix un control i monitorització intuïtiva de tots els sistemes elèctrics de VictronEnergy	ut	1	479,52€	479,52€

		instal·lats. Aquest controlarà de forma local i extraient la informació a la seva pantalla, el inversor, el regulador MPPT i el monitor de bateries BMV.				
11	Sensor BMSA2102	"Switch Sensor" infraroig passiu, detecció de moviment i el nivell de llum, grau de protecció IP55, àrea de cobertura 30 m per 270 °. Font d'alimentació 100-240 VAC, 50/60 Hz, càrrega màxima de 8,5 A 230 Vac. De nivell de llum de 0 lux a 1275 lux, temps de retard de 0 s a 60 minuts.	ut	3	70,24€	210,72€
12	Caixa de controls	Caixa de connexions IP-55 de polièster reforçada amb fibra de vidre, amb finestra central de policarbonat amb frontisses. Situada a l'interior de la columna, alberga els elements de protecció i control, a més de centralitzar els borns de connexió del mòdul, fotovoltaic, lluminària i bateries.	ut	1	10,88€	10,88€
13	Materials pels circuits elèctrics:					
13.1	Fusibles	Fusibles de 20 A.	ut	30	0,39€	11,70€
13.2	Porta fusibles	-	ut	10	4,12€	41,2€
13.3	Terminals punta per cable	-	ut	100	0,40€	40,00€
13.4	Terminals arandela	-	ut	52	0,62€	32,24€
13.5	Pack de Brides	Serveixen principalment per la bateria.	ut	3	3,22€	9,66€
13.6	Connectors per allargar cables	Connectors protegits per connectar dos cables diferents.	ut	10	6,98€	69,80€
13.7	Metre de cable de coure	Cable per enllumenat públic, enterrat i aïllat sota tub de PVC a una profunditat no menor a 60 cm. Instal·lat amb cable de coure de 2,3 o 4 conductors de 6 mm ² de secció nominal mínima. Construït segons normativa aplicable.	m	500	6,84€	3.420,00€
14	Instal·lació del cablejat	Subministrament i col·locació de cable de coure de 6 mm ² de secció amb caixa Claved i aïllament de polietilè, col·locat per l'interior de rases a 0,5 m de profunditat mínima.	m	500	1,95€	975,00€
15	Posada a terra	Posada a terra formada per piqueta d'acer-coure de 2 m de longitud i 14 mm de diàmetre, connectada amb cable nu de coure de 35 mm ² , inclòs muntatge, accessoris i medis auxiliars.	ut	1	37,47€	37,47€
16	Magneto tèrmic	Protecció i control de la temperatura.	ut	1	7,30€	7,30€
17	Tubs	Tub corrugat de 160 mm ² de secció, per protegir el cablejat de coure.	m	450	0,20€	90,00€
18	Extres	PARTIDA A L'ALÇA A JUSTIFICAR en concepte de verificació de la instal·lació juntament amb la Direcció d'Obra i Inspecció inicial per un organisme de control autoritzat segons ITC-BT-05. Tràmits.	pa	1	500,00€	500,00€
TOTAL						34.048,79€

11. Pressupost parcial nº 2 – Obra Civil

CODI	DESCRIPCIÓ	UNITATS	QUANTITAT	PREU	IMPORT
1	Demolició de paviment i asfalt amb apilament de runes inclòs.	m ²	267,07	7,68€	2.051,10€
2	Càrrega mecànica i transport del material procedent de la demolició a planta de selecció de runes, inclòs el cànon.	m ³	40,85	20,46€	835,79€
3	Excavació mecànica en rases en qualsevol tipus de terreny, càrrega mecànica del material sobre el camió i transport a planta autoritzada, inclòs cànon	m ³	81,69	17,70€	1.445,91€
4	Subministrament i estesa manual de sorra i recoberta de tuberes, inclòs compactació.	m ³	40,85	15,16€	619,29€
5	Formigó HM-20/P/20 per protecció de tubs.	m ³	0,1	117,05€	11,71€
6	Acabat superficial de l'asfalt, comprès la formació de solera de 10 cm de gruix de formigó HM-20, subministrament, estesa i compactació d'aglomerat asfàltic en calent S-12 de 4 cm de gruix.	m ²	13,35	25,15€	335,75€
7	Bloc de formigó HM-20, de 0,4x0,4x0,5 m, per cimentació de la balisa, amb els encofrats necessaris i excessos de formigó, col·locació de tub flexible d'entrada i sortida, inclòs excavació i transport de material sobrant a planta autoritzada.	ud	52	76,49€	3.977,48€
9	Poda lumínica d'arbres que eviten una bona radiació solar per els mòduls.	ud	8	30,00€	240,00€
TOTAL					9.517,03€

12. Pressupost parcial nº 3 – Imprevistos

CODI	DESCRIPCIÓ	UNITATS	QUANTITAT	IMPORT
1	PARTIDA A L'ALÇA A JUSTIFICAR en concepte de imprevistos durant la execució de l'obra.	pa	1	1200,00€

13. Pressupost parcial nº 4 – Seguretat i Salut

CODI	DESCRIPCIÓ	UNITATS	QUANTITAT	IMPORT
1	PARTIDA A L'ALÇA A JUSTIFICAR en concepte de mesures de seguretat i salut.	pa	1	2000,00€

14. Pressupost Final

Client: Generalitat de Catalunya

1. INSTAL·LACIÓ, AMIDAMENTS I EQUIPS.....	34.048,79 €
2. OBRA CIVIL.....	9.517,03 €
3. IMPREVISTOS.....	1200,00 €
4. SEGURETAT I SALUT.....	2000,00 €

Pressupost d'execució material.....	46.765,82 €
BENEFICI INDUSTRIAL (6%).....	2.805,95 €
GASTOS GENERALS (13%).....	6.079,55 €
Suma.....	55.651,33€
IVA (21%).....	11.686,78 €

Pressupost d'execució per contracta..... 67.248,11 €

**Ascendeix el pressupost d'execució per contracta a l'expressada quantitat de
SEIXANTA-SET MIL DOS-CENTS QUARANTA-VUIT EUROS AMB ONCE CÈNTIMS.**

Firma a 26 de Juny de 2017. Responsable del Projecte	
Sr. Oriol Ventura i Duran, Enginyer Industrial	