

Treball de Recerca

**Desenvolupament pràctic d'un sistema d'il·luminació
d'alt rendiment**

Eloi Cortada i Vallicrosa

Dirigit per Josep Soler i Pujol

2n de Batxillerat, A

IES Ramon Turró

Malgrat de mar, 26 de Gener de 2007

Agraïments

A Josep Soler i Pujol per el gran treball que ha fet com a tutor i per la seva ajuda.

A tots els companys i familiars que m'han ajudat i fet costat en aquests dies de tanta feina.

Índex general

1. Introducció.....	2
2.Objectiu:.....	4
3.Equips comercials disponibles	5
4. Tecnologia emprada.	7
4.1. Retalladors d'intensitat i Convertidors Continua/Continua	7
4.2. El Díode LED.....	12
5. Procediment de treball.....	15
5.1. Elecció dels LEDS	15
5.2. Disseny i construcció del convertidor continua/continua	20
5.2.1. Muntatge del prototip.....	20
5.2.2. Disseny del convertidor continua/continua	23
5.2.3. Construcció convertidor continua/continua	26
5.3 Disseny i construcció de la placa de LEDS.....	29
5.4. Elecció de la bateria.....	31
5.4.1.Càlcul de l'autonomia de les bateries.....	33
6. Muntatge de la llanterna	36
6.1. El casc.....	36
6.2. Recipient de les bateries	49
6.3 Muntatge	40
7. Comparació amb altres llanternes de LEDS.....	44
8. Possibles millores.....	46
9. Conclusió.....	47
10 Bibliografia	49
11. Annex	50

1. Introducció

Les persones necessiten llum per fer les tasques més quotidianes a la nit i en llocs on la llum solar no hi arriba, per això els homes durant tota la seva història han fet servir diferents sistemes d'il·luminació.

Primer es va fer servir el foc, més tard es van inventar les espelmes i els llums d'oli, però el sistema més revolucionari va ser la bombeta d'incandescència inventada per Edison. A partir d'aquesta bombeta s'ha anat millorant fins a aconseguir sistemes d'il·luminació amb un bon rendiment.

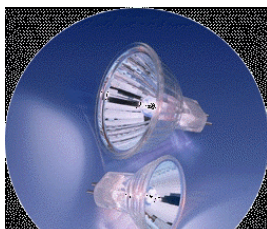
Les bombetes més utilitzades són les d'incandescència convencionals que estan formades per un filament de tungstè col·locat en una esfera de vidre que genera llum



Bombeta d'incandescència

quan entra en incandescència. Aquest tipus de bombeta la podem trobar col·locada a tot arreu des de les nostres llars a la il·luminació del nostres carrers, però aquest tipus de làmpada té alguns inconvenients, el més important és que treballen a temperatura molt elevada degut al seu baix rendiment (8% del consum transformat en llum davant un 92% de pèrdues en forma de calor) i una vida curta (estimada en unes 1000 hores). Però cada cop s'ha anat inventant diferents tipus de bombetes

amb vida més llarga i rendiments cada cop més elevats. La bombeta d'incandescència al·lògena encara té un rendiment bastant baix, però la seva vida és d'un 2000 hores. El fluorescent té un rendiment elevat entre el 30 i el 50 % i una vida entre 6000 i 7000 hores. I les làmpades fluorescents compactes tenen una vida útil molt llarga d'un 6000 hores i a més un rendiment alt entre el 40 i el 60% en llum. També repel·leixen la pols.



Bombeta al·lògena



Fluorescents



Làmpades fluorescents compactes

Actualment s'està desenvolupant un sistema d'il·luminació molt revolucionari que són els LED acrònim Anglès de *Light-Emitting Diode* (diode emissor de llum). Els LED es caracteritzen per un elevat rendiment ja que més del 70 % de l'energia utilitzada es converteix en llum, una vida molt llarga i per la seva resistència als xocs. A més a més



el color de la llum es pot canviar. Fa anys que existeixen els LED però cada vegada s'estan millorant fins que arribarà un dia que gràcies a les seves característiques podran substituir els sistemes d'il·luminació actuals.

Per raó de la novetat del sistema, del seu gran futur i el fet que és una tecnologia que encara està en plena evolució, s'ha decidit que el treball de recerca investigui aquest camp.

2.Objectiu:

Disseny i construcció d'una llanterna de 21 LEDS amb les següents característiques:

- Autonomia mínima de 18 hores.
- Submergible.
- Resistent al fang i a la pols.
- Resistència extrema als cops.
- Interruptor On/Off de manipulació fàcil i insensible al fang i a l'aigua.
- Quantitat de llum regulable.

La raó d'aquests requeriments tant extrems és que es vol utilitzar per a la pràctica de l'espeleologia. Per tant, a més dels requeriments anteriors, seria molt convenient poder-la integrar en el casc de l'espeleòleg/a per tal de poder tenir les mans lliures.

3. Equips comercials disponibles

En els últims 12 mesos han aparegut gran quantitat de petites llanternes de fins a 9



LEDs per usos variats però cap d'elles té els requeriments esmentats anteriorment.

Pel que fa a equips especialitzats per a la pràctica de l'espeleologia, quan es va començar a fer el treball els equips més avançats eren de 8 LEDs els quals ja estan descatàlogats. Aquestes llanternes tenien 2 problemes bastant greus:

- El primer problema era que no adaptava l'amplitud dels pols i en conseqüència la llum s'anava apagant a poc a poc.
- El segon problema era que es necessitava un altre llum d'emergència en cas de fallada del principal.

Actualment els equips més avançats estan formats per 14 LEDs. Aquests equips disposen de doble llanterna, una al·lògena i l'altre formada per 14 LEDs.

La llanterna al·lògena es pot regular segons l'ús: feix de llum estret i llarg o ample i curt. No es pot encendre la llanterna al·lògena i la de LEDs a la vegada.

El mòdul de 14 LEDs és regulable. Disposa d'un dispositiu electrònic de regulació que manté el nivell de llum constant. Quan les piles estan apunt d'esgotar-se la llum disminueix bruscament fins el nivell mínim de supervivència, el qual és el punt de treball a màxim rendiment.







D'altra banda, cal saber que la llanterna de 14 LEDs ofereix tres nivells d'il·luminació a escollir amb un ordre de prioritats d'ús:

- Òptim: Millor relació potència/autonomia.
- Màxim: Potència màxima
- Econòmic: Gran autonomia.

Aquest equip pot funcionar amb 4 piles tipus AA o bateries LR6 i té un pes aproximat de 725 grams.

El següent quadre de la llanterna de 14 LEDS indica la distància que il·lumina i les hores d'autonomia en funció del nivell d'il·luminació que s'utilitzi.

Distància		Autonomia
Halogen		
4 h		t ₀ = 100 m t _{30mn} = 70 m
14 Leds Optim		
26 m → 		10 h + 138 h*
Màxim		
34 m → 		3h30 + 180 h*
Econòmic		
15 m → 		63 h + 47 h*
	*	Hores de llum supervivència

El llum que s'ha creat en aquest projecte té més autonomia i lluminositat que aquest equip comercial de 14 LEDS.

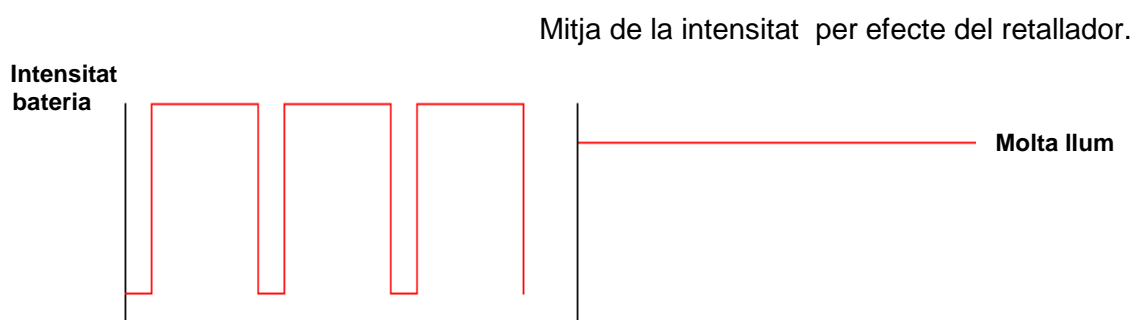
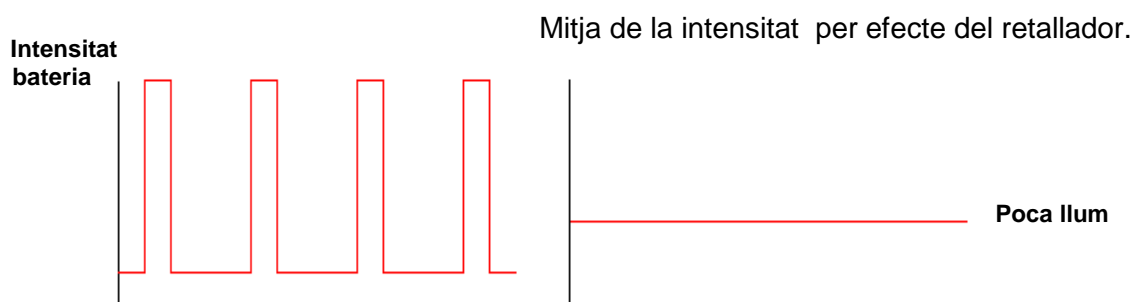
4. Tecnologia emprada.

4.1. Retalladors d'intensitat i Convertidors Continua/Continua

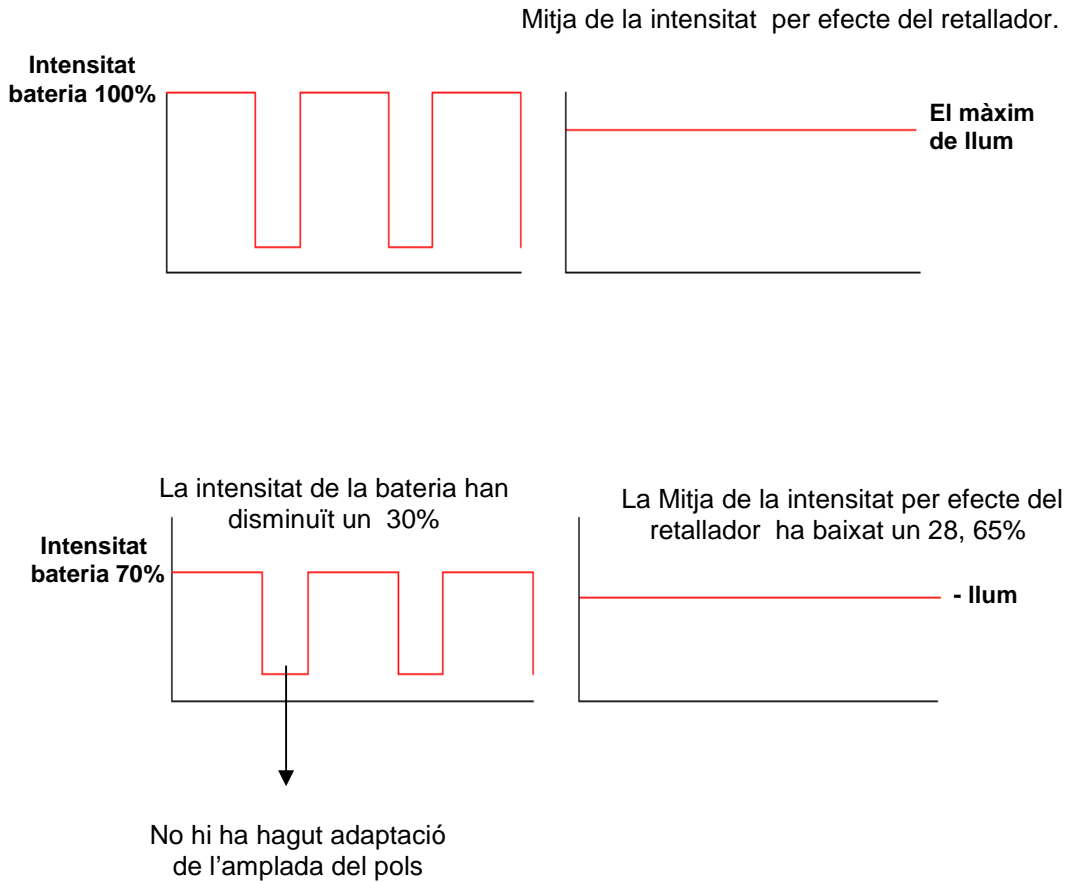
Les llanternes LED amb llum regulable que es comercialitzen treballen amb retalladors d'ona.

La intensitat mitja que arriba als LEDS disminueix a mesura que va caient la intensitat de la pila o acumulador. A la pràctica aquest fet es manifesta amb una apagada progressiva de la llum. L'electrònica de control no adapta l'amplada de pols. Aquesta és una important limitació dels equips presents en el mercat.

- Efecte de la regulació de llum:



- Efecte de l'esgotament de la pila/acumulador:

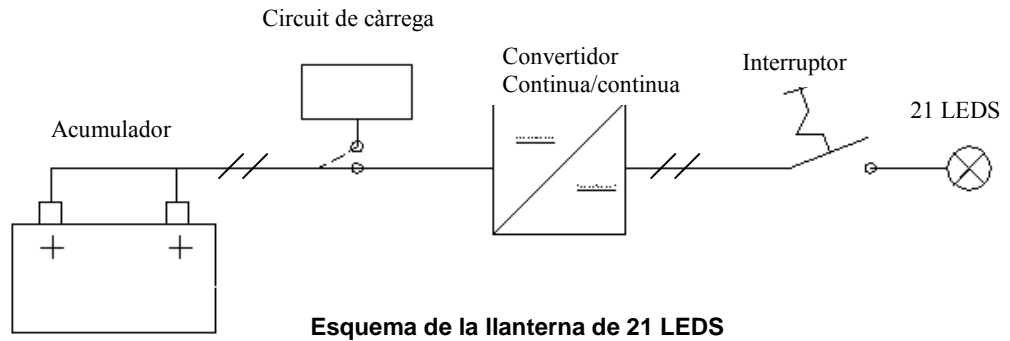


El rendiment d'aquests retalladors està al voltant del 85%/90%.

En aquest treball s'ha volgut que la llum que ofereix la llanterna sigui estable independentment de l'estat de la bateria. O sigui, que la quantitat de llum que emet la llanterna no vagi disminuint a mesura que s'esgota la pila. A més a més el nivell d'il·luminació es pot regular a voluntat de l'usuari.

Aquest pot ser un avantatge competitiu determinant respecte altres models que es troben en el mercat.

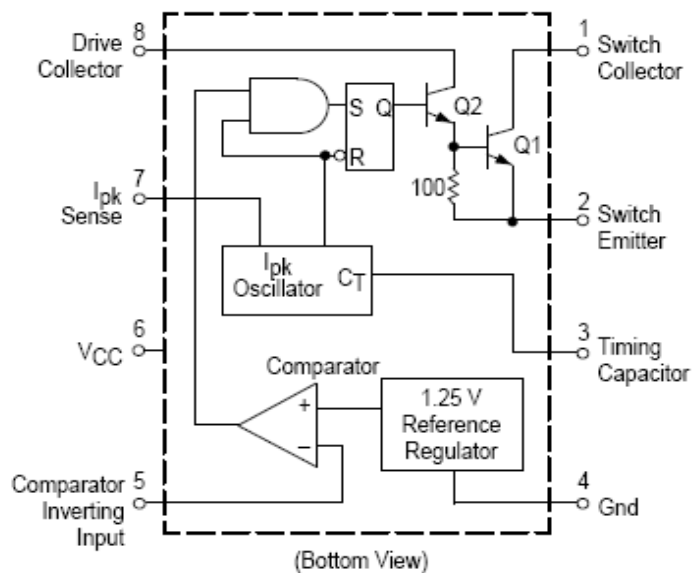
En lloc d'un retallador s'ha optat per una tecnologia de conversió continua /continua.



El convertidor continua/continua és un xip que converteix una determinada tensió continua d'entrada, en aquesta cas uns 15 Volts, en una tensió més gran de sortida, al voltant de 25 Volts.

En aquest treball s'ha fet servir el xip MC34063A per fer la funció de convertidor Continua/ Continua d'elevació.

I



El "Xip" MC34063A és un circuit integrat que conté les funcions de control necessàries per a la conversió continua/continua tant Step-up (elevació), Step-down (reducció) com Inverter (Inversió de polaritat). En qualsevol cas necessita pocs components externs.

El rendiment de la conversió és molt alt, al voltant del 85-90% depenent de les condicions particulars de treball. Pot treballar amb intensitats de sortida de fins a 1,5 amperes o superiors sempre que es col·loquin etapes addicionals de sortida.

En el cas particular de treball en "step-up", presenta majors dificultats de disseny quan es vol treballar amb intensitats de sortida superiors a 200 mA. Aquestes dificultats estan relacionades amb l'eliminació del rissat i particularitats del funcionament de la inductància. De totes maneres, aquestes complicacions no afecten aquest projecte ja que la intensitat de sortida serà menor de 100 mA.

- Principi de funcionament:

Quan una bobina està sotmesa a intensitats variables, indueix tensions segons el principi de la llei de Faraday:

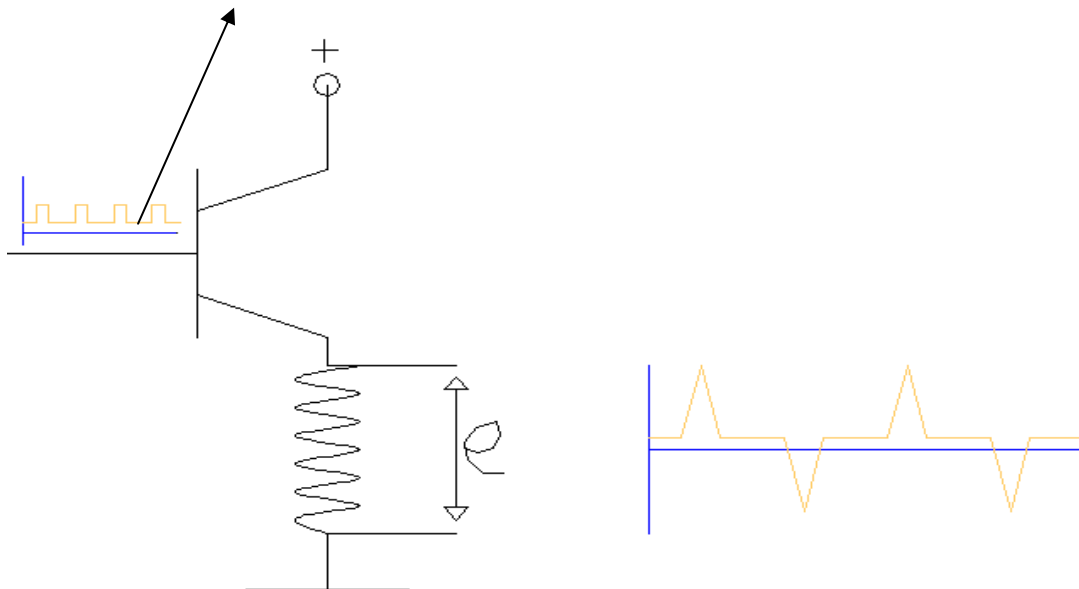
$$\rightarrow e = -L \times \frac{dI}{dt}$$

L = Inductància de la bobina (Henrys)

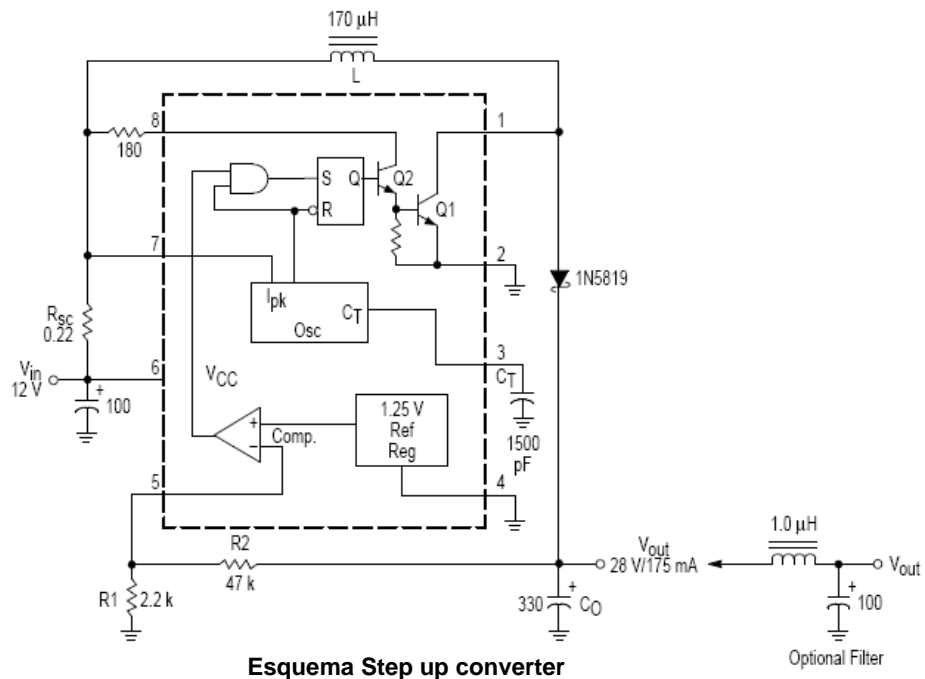
$\frac{dI}{dt}$ = Variació de la intensitat respecte el temps

El factor di/dt es pot aconseguir fàcilment amb un sistema retallador de corrent continu tal com mostra la figura:

En els flancs di/dt és molt gran



Esquema del sistema retallador de corrent continu



Esquema Step up converter

Ja només cal un díode de recuperació ràpida o d'un díode Shottky capaç de recollir els impulsos de polaritat adequada i retenir els inversos, i un gran condensador electrolític capaç de filtrar aquests impulsos fins a convertir-los en un senyal constant.

Una mostra del senyal de sortida passa a través del divisor de tensió R1/R2 i esdevé el senyal de mesura del bucle de regulació. El sistema de control pot actuar sobre el valor de la tensió de sortida tot alentint o accelerant els impulsos oferts per la bobina. Les freqüències de commutació de la bobina van de 24 a 42 KHz.

En aquest sistema no tot són avantatges. Aquesta tecnologia obliga a afegir un requeriment especial al sistema.

Donat que quan s'esgoti la bateria es produirà una apagada sobtada dels LEDS és imprescindible que l'espeleòleg/a compti amb un sistema d'il·luminació addicional.

4.2. El Díode LED

Un díode LED, acrònim anglès de Light Emitting Diode (díode emissor de llum) és un dispositiu semiconductor que emet llum monocromàtica quan és polaritzat en directe i és travessat per corrent elèctric. El color depèn del material semiconductor emprat en la construcció del díode podent variar des de l'ultraviolat, passant per l'espectre de llum visible, fins a l'infraroig, rebent aquest últim la denominació de díodes IRED (Infra-Red Emitting Diode).

El dispositiu semiconductor està encapsulat en una coberta de plàstic de major resistència que les de vidre que usualment s'usen en les peretes. Encara que el plàstic pot estar acolorit, és només per raons estètiques, ja que això no influeix en el color de la llum emesa. Usualment, la coberta té una cara plana que indica el càtode, que a més és més curt que l'ànode

Al contrari que les làmpades d'incandescència que poden alimentar-se amb corrent altern o continu, el díode LED només funciona amb aquest últim, ja que només condueix l'electricitat quan es polaritza en directa, com els díodes p-n convencionals. Ha de triar-se bé el corrent que travessa el LED per a obtenir una bona intensitat lluminosa. El primer díode LED que emetia en l'espectre visible fou desenvolupat per l'enginyer de General Elèctric Nick Holonyak el 1962.

Tots els díodes emeten una certa quantitat de radiació quan els parells electró-buit es recombinen, és a dir, quan els electrons cauen des de la banda de conducció (de major energia) a la banda de valència (de menor energia). La freqüència de la radiació emesa i per tant el seu color, dependrà de l'altura de la banda prohibida (diferències d'energia entre les bandes de conducció i valència), és a dir, dels materials emprats. Els díodes convencionals, de silici o germani, emeten radiació infraroja molt allunyada de l'espectre visible, no obstant amb materials especials poden aconseguir-se longituds d'ona visibles. Els díodes LED i IRED, a més tenen geometries especials per a evitar que la radiació emesa sigui reabsorbida pel material circumdant del propi díode, la qual cosa succeeix en els convencionals.

Els primers díodes construïts foren els díodes infraroigs i de color vermell, permetent el desenvolupament tecnològic posterior la construcció de díodes per a longituds d'ona cada vegada menors. En particular, els díodes blaus van ser desenvolupats a finals dels 90, afegint-se als rojos i verds desenvolupats amb anterioritat, la qual cosa va permetre, per combinació dels mateixos, l'obtenció de llum blanca. El díode de seleniür de zinc pot emetre també llum blanca si es barreja la llum blava que emet amb la roja i verda creada per fotoluminescència. La més recent innovació en l'àmbit de la tecnologia LED són els díodes ultraviolats, que s'han usat amb èxit en la producció de llum blanca il·luminant materials fluorescents.

Tant els díodes blaus com els ultraviolats són relativament cars si els comparem amb els més comuns (roig, verd, groc i infraroig) sent per això menys emprats en les aplicacions comercials.

Els LED comercials típics estan dissenyats per a potències de l'ordre dels 30 a 60 mW. Al voltant de 1999 es van introduir en el mercat díodes capaços de treballar amb potències d'1 W per a ús continu; aquests díodes tenen òbviament unes matrius semiconductoras de dimensions molt majors per a poder suportar tals potències i incorporen a més aletes metàl·liques per a dissipar la calor generada per l'efecte Joule. En 2002 es van comercialitzar díodes per a potències de 5 W, amb eficiències entorn de 60 lm/W, és a dir, l'equivalent a una bombeta incandescent de 50 W. De continuar aquesta progressió, en el futur serà possible l'ús de díodes LED en la il·luminació.

A començaments del segle XXI van aparèixer els díodes OLED (díodes LED orgànics), fabricats amb polímers orgànics semiconductors. Encara que l'eficiència aconseguida amb aquests dispositius està lluny de la dels díodes inorgànics, la seva fabricació promet ser considerablement més barata que la d'aquells, sent a més possible dipositar gran quantitat de díodes sobre qualsevol superfície emprant tècniques de pintat per a crear pantalles a color.

- Aplicacions:

Els díodes d'infraroigs (IRED) s'usen des de mitjans del segle XX en comandaments a distància de televisors i el seu ús s'ha generalitzat en altres electrodomèstics com a equips d'aire, equips de música, etc. I en general per a aplicacions de control remot, així com en dispositius detectors.

Els díodes LED es fan servir en tot tipus d'indicadors d'estat (encès/apagat) en dispositius de senyalització (de trànsit, d'emergència, etc.) i en panells informatius (el major del món, del NASDAQ, fa 36.6 metres d'alçària i està a Times Square, Manhattan). També s'empren en l'enllumenat de pantalles de cristall líquid de telèfons mòbils, calculadores, agendes electròniques etc., així com en bicicletes i usos semblants. Existeixen a més impressores LED. La Torre Agbar utilitza més de 4.000 llums que inclouen LEDS per a il·luminar la seva façana amb diferents imatges.

L'ús de làmpades LED en l'àmbit de la il·luminació (incloent la senyalització de trànsit) és previsible que s'incrementin en el futur, ja que presenten indubtables avantatges enfront de les làmpades incandescentes i els tubs fluorescents, particularment la seva llarga vida útil, i la seva menor fragilitat.

5. Procediment de treball

5.1. Elecció dels LEDS

Primer de tot es van buscar uns Màster LED (LEDS d'alta lluminositat) que tinguessin un bon rendiment. Es van trobar dos possibles models. Les dades de catàleg eren escasses. El fabricant assegurava de 15000 a 20000 mil·liCandeles. Però no especificava la tensió de treball. Es varen realitzar esforços per completar aquestes dades però no es va trobar res més. Davant aquesta desinformació es va decidir fer una verificació experimental de les seves característiques.

Es va procedir de la següent manera:

Es col·locaren cinc LEDS en sèrie en una taula de proves, aquesta anava



Luxòmetre

connectada a una font d'alimentació de corrent continu de tensió regulable i s'hi va connectar un voltímetre i un amperímetre per mesurar els valors de la tensió i intensitat. Es va fer servir un luxòmetre per mesurar els lux de llum que feien els cinc màster LEDS. Es posava un tub de cartró el qual el seu interior estava pintat de color blanc (ja que així reflectia millor la llum) al voltant dels cinc leds i es va posar el luxòmetre sobre el tub. Es va

començar amb una tensió de 0 v i s'anava pujant la tensió progressivament de 0,5 a 0,5 volts i cada cop que es pujava la tensió es mirava la intensitat que passava pels leds i els lux de llum que emetien.

Els LEDS començaven a fer llum a uns 12 volts (2,4 volts per LED) i a uns 0,000008 amperes d'intensitat.

Als 17 volts quan passaven uns 0,029 Amperes d'intensitat (29 mA) s'aturava l'experiment ja que intensitats superiors poden destruir els LEDS.

Aquesta prova es va fer 3 vegades canviant 3 dels 5 LEDS cada cop que es feia la prova.

Gràcies a aquestes mesures es va poder calcular:

- La potència elèctrica consumida en watts.

$$\triangleright P_{total} = T_{font} \times I$$

$$\triangleright P_{unitària} = \frac{P_{total}}{5}$$

- El flux lluminós en lúmens:

$$\triangleright Flux\ lluminós(lúmens) = Luminància\ (Lux) \times Àrea\ (m^2)$$

Luminància mesurada amb el luxòmetre.

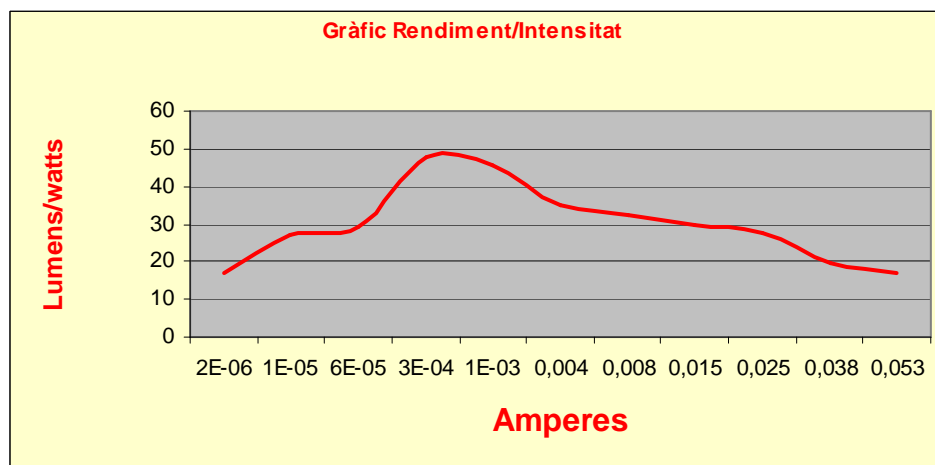
$$Area = secció\ de\ tub = 0,00159\ m^2$$

- A partir de la potència elèctrica i el flux lluminós es va poder calcular el rendiment lluminós.

$$\triangleright \eta = \frac{Flux\ lluminós}{Potència\ consumida}$$

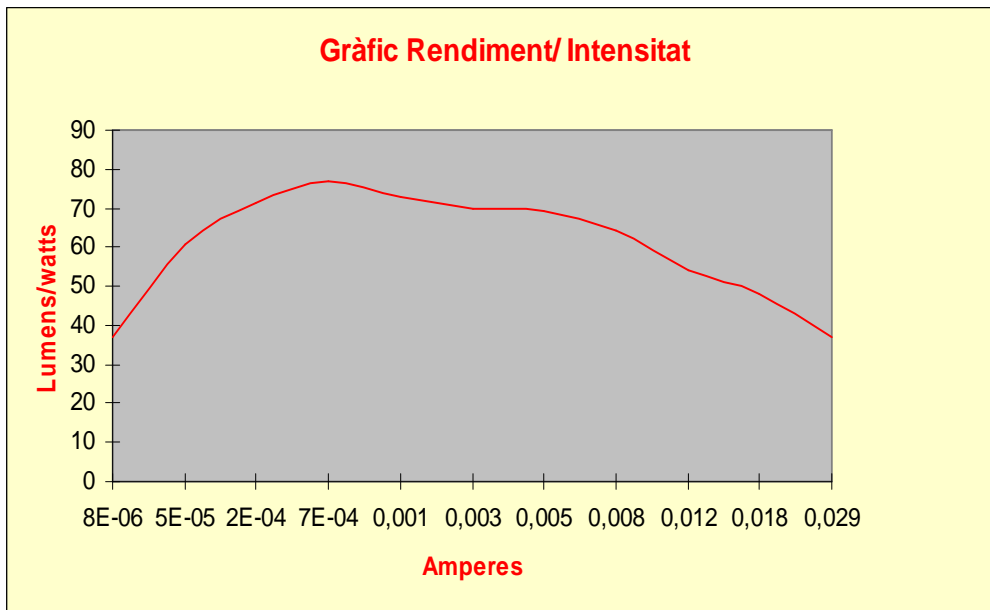
Per últim es va fer la mitjana de les 3 combinacions. En un primer intent el rendiment lluminós que va donar no era l'esperat. Es va obtenir un rendiment màxim d'uns 50 lúmens/ Watt, clarament inferior als valors descrits a l'apartat 4.2.

Tensió (V)	Intensitat (A)	P. Elèctrica (W)	Lluminància (Lx)	Flux Iluminós (Lm)	Rendiment Lluminós(Lm/W)		
12	2,00E-06	2,40E-05	0,250	0,000	16,563	COMBINACIÓ 1	
12,5	1,10E-05	1,38E-04	2,500	0,004	28,909		
13	5,40E-05	7,02E-04	13,50	0,021	30,577		
13,5	3,00E-04	4,05E-03	123,3	0,196	48,407		
14	9,80E-04	1,37E-02	388,0	0,617	44,965		
14,5	3,47E-03	5,03E-02	1100	1,749	34,761		
15	7,70E-03	1,16E-01	2400	3,816	33,039		
15,5	1,40E-02	2,17E-01	4350	6,917	31,873		
16	2,52E-02	4,03E-01	7080	11,26	27,920		
16,5	3,71E-02	6,12E-01	7820	12,43	20,312		
17	5,28E-02	8,98E-01	9580	15,23	16,970		
12	1,90E-06	2,28E-05	0,240	0,000	16,737		COMBINACIÓ 2
12,5	1,20E-05	1,50E-04	2,600	0,004	27,560		
13	5,90E-05	7,67E-04	13,80	0,022	28,608		
13,5	3,20E-04	4,32E-03	125,4	0,199	46,154		
14	9,80E-04	1,37E-02	391,0	0,622	45,313		
14,5	3,47E-03	5,03E-02	1100	1,749	34,761		
15	8,00E-03	1,20E-01	2460	3,911	32,595		
15,5	1,60E-02	2,48E-01	4360	6,932	27,953		
16	2,52E-02	4,03E-01	7080	11,26	27,920		
16,5	3,94E-02	6,50E-01	7930	12,61	19,395		
17	5,33E-02	9,06E-01	9590	15,25	16,828		
12	2,30E-06	2,76E-05	0,300	0,000	17,283	COMBINACIÓ 3	
12,5	1,50E-05	1,88E-04	2,900	0,005	24,592		
13	6,00E-05	7,80E-04	14,00	0,022	28,538		
13,5	3,40E-04	4,59E-03	139,8	0,222	48,427		
14	9,90E-04	1,39E-02	401,0	0,638	46,002		
14,5	3,61E-03	5,23E-02	1170	1,860	35,539		
15	8,10E-03	1,22E-01	2450	3,896	32,062		
15,5	1,50E-02	2,33E-01	4360	6,932	29,817		
16	2,60E-02	4,16E-01	7090	11,27	27,099		
16,5	3,83E-02	6,32E-01	7860	12,50	19,776		
17	5,36E-02	9,11E-01	9710	15,44	16,943		
12	2,07E-06	2,48E-05	0,26333	0,000	16,861	MITJANA	
12,5	1,27E-05	1,58E-04	2,66667	0,004	27,020		
13	5,77E-05	7,50E-04	13,7667	0,022	29,241		
13,5	3,20E-04	4,32E-03	129,500	0,206	47,663		
14	9,83E-04	1,38E-02	393,333	0,625	45,427		
14,5	3,52E-03	5,10E-02	1123,33	1,786	35,020		
15	7,93E-03	1,19E-01	2436,67	3,874	32,565		
15,5	1,50E-02	2,33E-01	4356,67	6,927	29,881		
16	2,55E-02	4,07E-01	7083,33	11,26	27,646		
16,5	3,83E-02	6,31E-01	7870,00	12,51	19,828		
17	5,32E-02	9,05E-01	9626,67	15,31	16,914		



Llavors es va agafar el segon model de Màster LEDS i es va fer el mateix que amb els LEDS antics, i el rendiment va donar l'esperat.

Tensió (V)	Intensitat (A)	P. Elèctrica (W)	Lluminància (Lx)	Flux Iluminós (Lm)	Rendiment Lluminós(Lm/W)		
12	8,00E-06	9,60E-05	2,250	0,004	37,266	Combi n a c i ó 1	
12,5	4,90E-05	6,13E-04	23,50	0,037	61,004		
13	2,31E-04	3,00E-03	135,8	0,216	71,902		
13,5	6,79E-04	9,17E-03	442,0	0,703	76,668		
14	1,37E-03	1,91E-02	870,0	1,383	72,280		
14,5	3,00E-03	4,35E-02	1850	2,942	67,621		
15	4,99E-03	7,49E-02	3140	4,993	66,701		
15,5	7,85E-03	1,22E-01	4900	7,791	64,031		
16	1,23E-02	1,97E-01	6700	10,65	53,999		
16,5	1,85E-02	3,06E-01	9100	14,47	47,298		
17	2,98E-02	5,07E-01	11600	18,44	36,407		
12	8,20E-06	9,84E-05	2,330	0,004	37,649		Combi n a c i ó 2
12,5	5,30E-05	6,63E-04	24,60	0,039	59,040		
13	2,43E-04	3,16E-03	140,1	0,223	70,516		
13,5	6,94E-04	9,37E-03	454,0	0,722	77,048		
14	1,38E-03	1,93E-02	901,0	1,433	74,097		
14,5	3,10E-03	4,50E-02	1880	2,989	66,501		
15	5,01E-03	7,52E-02	3140	4,993	66,435		
15,5	7,99E-03	1,24E-01	4970	7,902	63,808		
16	1,25E-02	1,99E-01	6710	10,67	53,559		
16,5	1,87E-02	3,08E-01	9340	14,85	48,233		
17	3,00E-02	5,10E-01	11670	18,56	36,383		
12	7,70E-06	9,24E-05	2,110	0,003	36,308	Combi n a c i ó 3	
12,5	4,40E-05	5,50E-04	21,40	0,034	61,865		
13	2,24E-04	2,91E-03	130,1	0,207	71,037		
13,5	6,64E-04	8,96E-03	435,0	0,692	77,159		
14	1,37E-03	1,91E-02	870,0	1,383	72,280		
14,5	2,70E-03	3,92E-02	1840	2,926	74,728		
15	4,42E-03	6,63E-02	3110	4,945	74,584		
15,5	7,72E-03	1,20E-01	4870	7,743	64,711		
16	1,22E-02	1,94E-01	6670	10,61	54,554		
16,5	1,80E-02	2,97E-01	8990	14,29	48,102		
17	2,80E-02	4,76E-01	11160	17,74	37,278		
12	7,97E-06	9,56E-05	2,230	0,004	37,074		W i t j a n a
12,5	4,87E-05	6,08E-04	23,17	0,037	60,637		
13	2,33E-04	3,02E-03	135,3	0,215	71,152		
13,5	6,79E-04	9,17E-03	443,7	0,705	76,958		
14	1,37E-03	1,92E-02	880,3	1,400	72,886		
14,5	2,93E-03	4,25E-02	1857	2,952	69,616		
15	4,81E-03	7,21E-02	3130	4,977	69,240		
15,5	7,85E-03	1,22E-01	4913	7,812	64,183		
16	1,23E-02	1,97E-01	6693	10,64	54,037		
16,5	1,84E-02	3,04E-01	9143	14,54	47,878		
17	2,93E-02	4,98E-01	11477	18,25	36,690		



A partir d'aquest gràfic es pot veure que el rendiment màxim d'aquests LEDs és de 76,958 Lumens/Watt, quan s'utilitza una intensitat de 0,000679A. Aquest rendiment és molt alt, això vol dir que el 76,958% de l'energia que reben és convertida en llum i que només el 24,042% de l'energia es perd en forma de calor.

Realitzant aquest experiment s'ha pogut veure que les dades del fabricant de LEDs són confuses i poc fiables, ja que diferents LEDs amb les mateixes característiques teòriques han demostrat tenir rendiments molt diferents. Per aquesta raó s'ha procedit a seleccionar els LEDs més adequats de forma experimental. A més quan es canviaven tres dels cinc LEDs, tot i que eren del mateix fabricant i tenien les mateixes característiques teòriques, el rendiment variava, això ens indica que els LEDs tenen comportaments lleugerament diferents tot i ser de la mateixa classe i fabricant.

- **Conclusió:**

S'utilitzaran Màster LEDs de fabricant desconegut subministrats per "Led1.de." El preu unitari és de 1,35 €/LED IVA inclòs.

Pel que fa a la tensió de treball a les gràfiques anteriors s'ha vist que el màxim rendiment s'obté quan els LEDS són travessats per una intensitat de 0,7 a 1 mA. Si bé el rendiment és màxim des del punt de vista energètic, no és un punt de treball raonable ja que la quantitat de llum produïda és molt petita. Davant d'aquest fet s'ha decidit que la placa reguladora permet treballar en 2 mA (2,85 Volts/ LED) mínim fins a 30 mA,(3,4 Volts/LED) L'usuari pot triar entre 2 mA i 30 mA en funció de si vol maximitzar l'autonomia o la il·luminació potent.

- La placa reguladora ha de permetre sortida variable entre 20 i 24 Volts:

- Quan treballa a 2 mA maximitza l'autonomia.

$$2,85 \text{ V/LED} \times 7 \text{ LEDS} = 20 \text{ Volts.}$$

- Quan treballa a 30 mA maximitza la il·luminació.

$$3,4 \text{ V/LED} \times 7 \text{ LEDS} = 23,8 \text{ Volts.}$$

5.2. Disseny i construcció del convertidor continua/continua

5.2.1. Muntatge del prototip

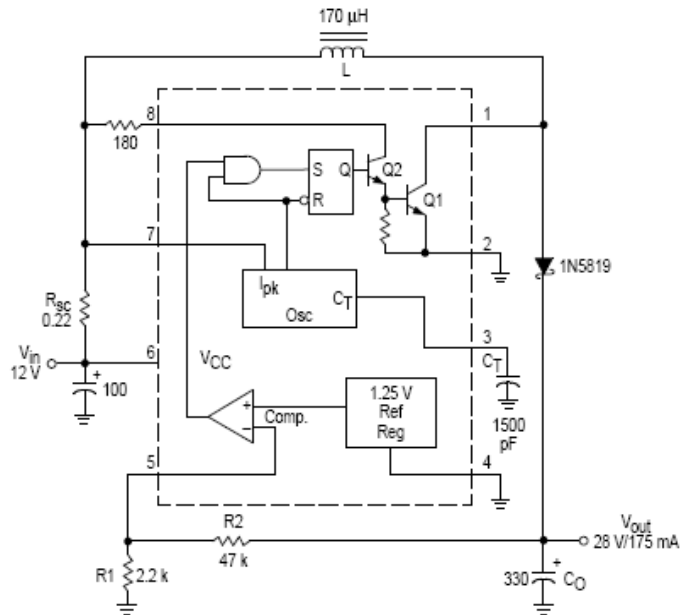
Per començar es busca un esquema d'un convertidor continua/continua per poder construir-ne un.

- Paràmetres a tenir en compte:
 - Tensió d'entrada.
 - Tensió de sortida
 - Intensitat màxima.
 - Intensitat mínima.
 - Rendiment.
 - Elements externs requerits.
 - Disponibilitat i preu.

Després d'un intens treball de recerca s'ha considerat la utilització del convertidor MC34063A fabricat entre d'altres per National i Motorola.

Per tal de verificar el funcionament adequat del convertidor es procedeix a muntar el següent esquema sobre una placa de prototips.

Esquema convertidor continua/continua MC34063A



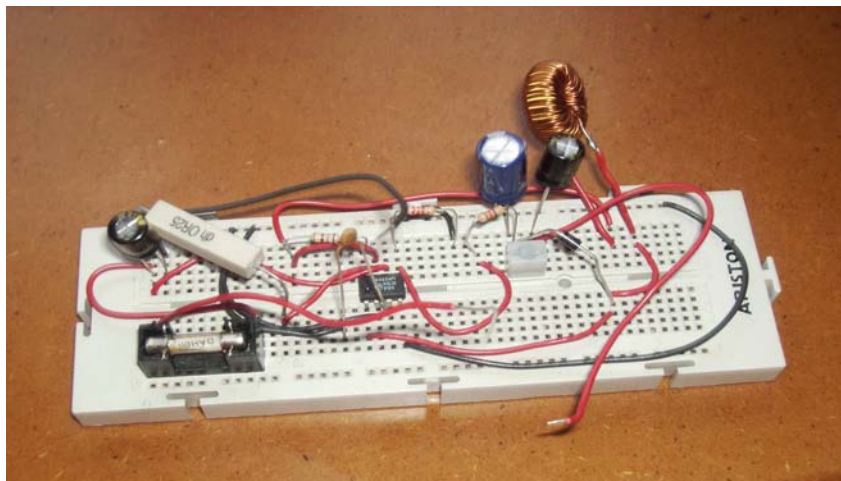
- Llista de components:

- Mc34063A Dc-to-Dc converter control circuits (convertidor de circuits continua/continua) És el component principal del convertidor.
- Resistència de 2.2 K Ohms.
- Resistència de 47 k Ohms.
- Resistència 180 Ohms.
- Resistència 0,22 Ohms.
- Diode 1N5819.
- Bobina de 170 Microhenrys.
- Porta fusibles amb el fusible.
- Condensador 330 Microfarads.
- Condensador 100 Microfarads.
- Condensador 1500 pf (Picofarads)



Xip Mc34063A (Convertidor continua/continua)

Un cop trobats tots els components necessaris es passa a fer el muntatge del convertidor sobre la taula de proves seguint l'esquema anterior.



Muntatge convertidor continua/continua sobre taula de proves

Enllestit el prototip del convertidor es verifica el seu bon funcionament. El resultat és positiu. Els 21 LEDS funcionen perfectament

5.2.2. Disseny del convertidor continua/continua

Comprovat el correcte funcionament del prototip del convertidor continua /continua es comença a dissenyar les característiques i la forma que han de tenir la placa i el convertidor.

- Característiques del convertidor:
 - Tensió entrada: El convertidor ha de tenir una tensió d'entrada de 15 volts.
 - Tensió sortida: La tensió de sortida ha de ser regulable de 20 a 24 volts. Aquesta depèn de dues resistències que incorpora el convertidor.

$$Tensió\ sortida = 1,25 \times \left(1 + \frac{R2}{R1} \right)$$

- El convertidor ha de tenir una protecció mitjançant un fusible evitant així que es cremi per sobre càrregues, curt circuits...

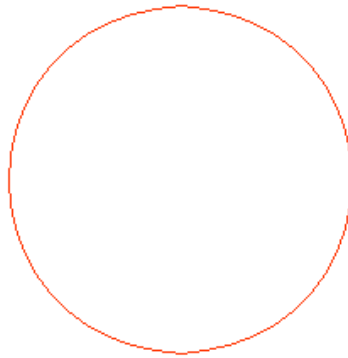
Llavors es busca una combinació de resistències, entre les quals ha d'haver-hi una resistència regulable ja que així els volts de sortida són regulables.

- Les resistències amb les quals la tensió de sortida és adequada són:
 - R1 ha de ser de 1000 Ohms .
 - R2 ha d'estar formada per tres resistències, una de 10.000 Ohms, una de 4700 Ohms i l'última resistència que ha de ser la variable de 5000 Ohms.
- Característiques de la placa base on anirà instal·lat el convertidor:
 - Ha de tenir un commutador, segons la seva posició el corrent anirà de les bateries al convertidor o del carregador (extern) a les bateries. Aquests dos circuits (el del convertidor i el de càrrega) han d'estar situats sobre la mateixa base.

- La forma de la placa base, on aniran tots els components del convertidor i del circuit de càrrega, ha de ser rodona i ha de tenir un diàmetre de 55 mm ja que així s'adapta perfectament al recipient hermètic on ha d'anar que ja ha estat seleccionat.

Tenint en compte les característiques anteriors es comença a dibuixar el convertidor mitjançant L'Autocad.

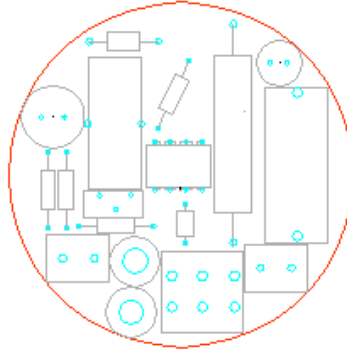
- Primer de tot es dibuixa la base rodona amb un diàmetre de 55 mm.



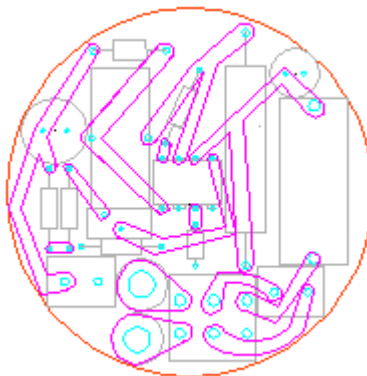
- Acabada la rodona es dibuixen tots els components del circuit del convertidor continua/continua i del circuit de càrrega sobre la placa.

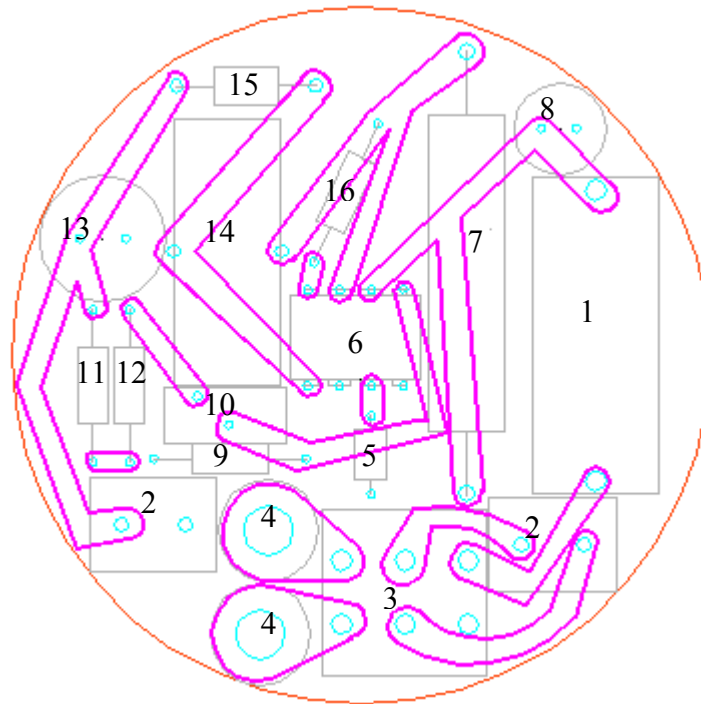


- Un cop dibuixats tots els components es dibuixen tots els forats a mida necessaris per poder col·locar i soldar els components sobre la base.



- Per últim es dibuixa el circuit per on passa l'electricitat. Es fa que tota la placa sigui el negatiu, excepte unes zones separades de la resta per un doble carril per on no hi ha coure. En aquestes zones separades hi ha les tensions diferents de negatiu.





Convertidor Continua/Continua Escala 2/1

- 1- Porta fusibles
- 2- Regletes.
- 3- Commutador.
- 4- Clavilles.
- 5- Condensador 1500 pf
- 6- MC 34063A Dc-to-Dc converter control circuits
- 7- Resistència 0,22 Ohms.
- 8- Condensador 100 Microfarads.
- 9- Resistència 1000 Ohms
- 10- Resistència variable 5000 Ohms
- 11- Resistència 4700 Ohms
- 12- Resistència 10000 Ohms
- 13- Condensador 330 Microfarads.
- 14- Bobina 170 Microhenrys
- 15- Diode 1N5819.
- 16- Resistència 180 Ohms

5.2.3. Construcció convertidor continua/continua

Primerament es fa el negatiu del dibuix del circuit del convertidor juntament amb els forats dels components per poder revelar una placa amb el circuit imprès i s'imprimeix en un fotolit (full de plàstic transparent).



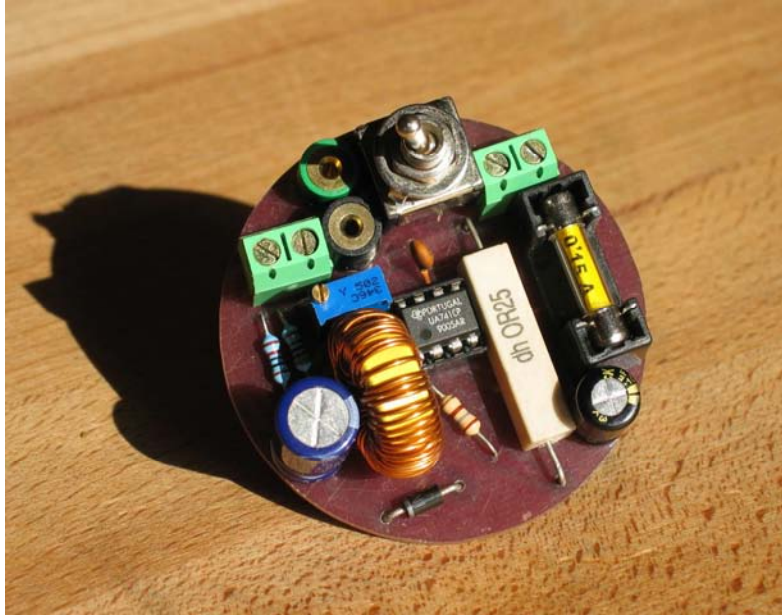
Un cop obtingut el fotolit es procedeix a fer la insolació d'una placa de PCB positiva a una cara. En la insolació, la part de la placa on toca la llum és on el corrosiu es menja el coure i en la part on no toca la llum és on queda el coure. Un cop insolada durant el temps just es passa a fer el revelat. Es banya la placa dintre d'un líquid revelador (Sosa càustica fortament diluïda) . I per últim es fa l'atac al coure. La part de coure que no està protegida pel revelat desapareix.



Acabat el procés es fan els forats on es col·loquen tots els components i es talla la placa en forma rodona.



Per finalitzar la construcció del convertidor es solden tots els components amb un soldador d'estany i es poleixen les soldadures.



Per comprovar el correcte funcionament del convertidor continua/continua aquest s'endolla a una bateria de corrent continu i mitjançant un voltímetre es mesura la tensió de sortida.

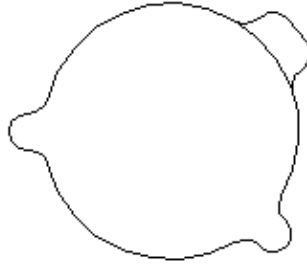
S'actua sobre la resistència variable i es va comprovant que la tensió és la correcte i es troba dintre del rang desitjat (20 a 24 Volts).

Seguidament es segueix el mateix procés tot connectant a la sortida la càrrega de 21 LEDS.

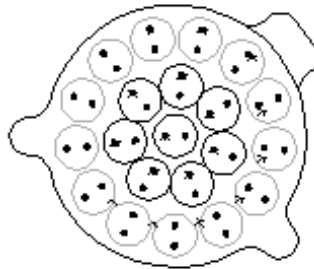
5.3 Disseny i construcció de la placa de LEDS

Es comença dibuixant la base mitjançant l'Autocad.

La base ha de ser circular amb un radi de 17 mm. Ha de tenir tres pestanyes ja que així s'acoblarà perfectament al lloc on s'ha de col·locar.



Un cop dibuixada la base es passa a dibuixar els 21 LEDS, s'han de posar de tal manera que quedin ordenats i ofereixen un aspecte atractiu.



Per últim es dibuixa el circuit per on passa l'electricitat. Els LEDS estan connectats de tal manera que hi ha tres fileres connectades en paral·lel i en cada una hi ha set LEDS en sèrie. En total hi ha 21 LEDS.



Dibuixada tota la placa s'imprimeix en un fotolit el circuit per on passa l'electricitat i el contorn de la placa. Tot seguit se segueix el mateix procés per crear la placa que en el convertidor continua/continua, primer es fa la insolació, després el revelatge i per últim la corrosió.



A la placa es fan els forats per poder soldar els LEDS i es talla seguint la línia del contorn.



Per últim es solden amb estany els 21 Màster LEDs i es poleixen les soldadures.



5.4. Elecció de la bateria.

- Es necessita una bateria que tingui les següents característiques:
 - Autonomia mínima de 18 hores fent funcionar els 21 Màster LEDs.
 - Tensió nominal al voltant de 15 Volts.
 - Alta capacitat.
 - Absència efecte memòria.
 - Pes moderat.
 - Volum moderat.
 - Bon comportament, dins del possible, en baixes temperatures.

S'ha fet una recerca molt exhaustiva, s'han mirat molts fabricants els quals subministren diferents tipus de bateries, de diferents pesos, volums, capacitats... Al final s'ha decidit utilitzar dues bateries de Li Íó en sèrie de la casa "Hama" de 7,4 Volts, 2400 mAh.(mil-liamperes hora)



- S'han elegit bateries del tipus Li Íó per les seves característiques:
 - Pes inferior a altres bateries.
 - Comportament relativament bo davant baixes temperatures.
 - Bon comportament davant descàrregues profundes.

5.4.1.Càlcul de l'autonomia de les bateries.

Dades necessàries per poder calcular la durada de les bateries:

- La tensió total de les bateries és de 14, 8 Volts, ja que la de cada bateria és de 7, 4 V.
- La capacitat total és de 2400 mAh. (Mil·liAmperes Hora)
- L'energia teòrica del bloc de bateries és de 127.872 Joules.

➤ $Energia (Joules) = Volts \times Intensitat \times Temps$

➤ $E = 14,8 \times 2,4 \times 3600 = 127.872 \text{ Joules}$

- Potència que utilitzen 21 LEDS en funció de la tensió de treball:

Tensió (Volts)	Intensitat (Amperes)	Potència (Watts)
20	6,70E-03	0,134
20,5	1,38E-02	0,283
21	2,02E-02	0,424
21,5	2,84E-02	0,611
22	3,62E-02	0,796
22,5	4,60E-02	1,035
23	5,84E-02	1,343
23,5	7,15E-02	1,680
24	8,80E-02	2,112

- Com que el convertidor té un rendiment del 85% llavors la potència que consumeixen els 21 LEDS de la pila serà:

➤ $Potència consumida de la pila = Potència 21 LEDS \times 1,15$

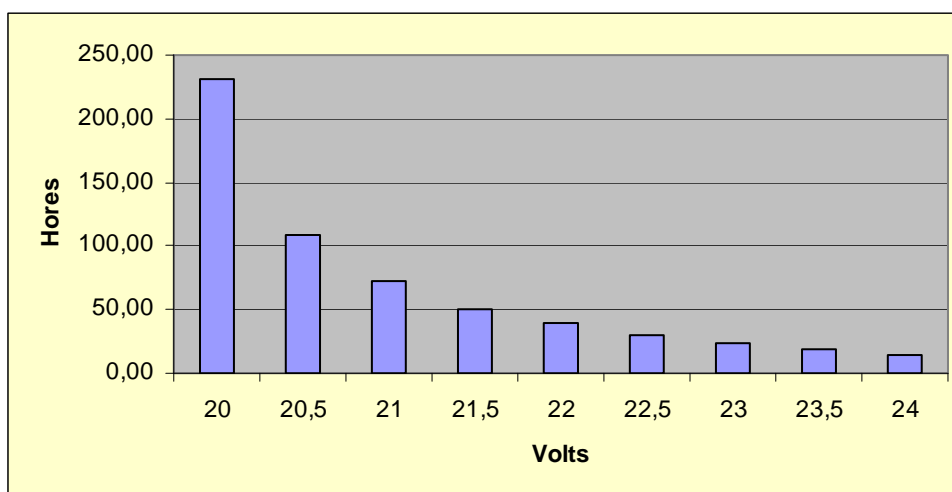
Potència 21 LEDS (Watts)	Potència consumida de la pila (Watts)
0,134	0,154
0,283	0,325
0,424	0,488
0,611	0,702
0,796	0,916
1,035	1,190
1,343	1,545
1,680	1,932
2,112	2,429

- Durada teòrica de les bateries:

➤ $Energia = Potència \times Temps$

Potència consumida de la pila (Watts)	Durada de les bateries (segons)	Durada de les bateries (Hores)
0,154	829798,83	230,50
0,325	393047,17	109,18
0,488	262124,10	72,812
0,702	182104,56	50,585
0,916	139619,59	38,783
1,190	107432,89	29,842
1,545	82782,194	22,995
1,932	66176,488	18,382
2,429	52648,221	14,625

Gràfic de la duració de la bateria respecte la Tensió



- Durada real de les bateries:

Donat que és poc probable que les bateries puguin efectuar un buidatge complet i a més a més és poc recomanable fer-ho, es pot comptar amb unes durades reals entre un 10 i un 15% inferior a les teòriques.

Durada bateries teòrica (hores)	Durada bateries real (hores)
230,50	207,45
109,18	98,262
72,812	65,531
50,585	45,526
38,783	34,905
29,842	26,858
22,995	20,696
18,382	16,544
14,625	13,162

6. Muntatge de la llanterna

6.1. El casc

La llanterna es munta en un casc d'espeleologia que ja porta instal·lat un equip d'il·luminació elèctrica. Aquest casc té inicialment una bombeta de llarg abast. En aquesta bombeta se li pot regular l'enfocament mitjançant un dispositiu mecànic que varia la posició de la bombeta, però l'autonomia d'aquesta bombeta és de pocs minuts. A l'altre costat hi ha una altra bombeta però aquesta té poca intensitat de llum i l'autonomia és de 2,5 hores. Aquestes dues bombetes s'alimenten amb 4 piles del tipus AA, allotjades a la part posterior del casc. Un commutador de tres posicions ens permet encendre una, l'altre o cap.



Les dues bombetes originals, la de la dreta és la de llarg abast i la de l'esquerra la de poca intensitat.



En aquest recipient s'allotgen les piles amb les quals s'alimenten les dues bombetes

La bombeta petita es pot substituir per un mòdul de 8 o 14 LEDS alimentat per impulsos.



Els 8 LEDS pels quals es va substituir la bombeta de baixa intensitat de llum

Primerament es substitueix la bombeta de llarg abast per la base dels 21 LEDS, i es transforma la palanca d'enfocament en un interruptor per poder parar i encendre els LEDS. Es deixa l'altra llanterna de 8 LEDS per poder utilitzar-la com a llum d'emergència, la qual s'alimenta de tensió provinent de les piles col·locades darrera el casc.



Les dues llanternes de 21 i 8 LEDS col·locades en el frontal del casc

Interruptor per engregar els 21 LEDS

Interruptor per engregar els 8 LEDS d'emergència

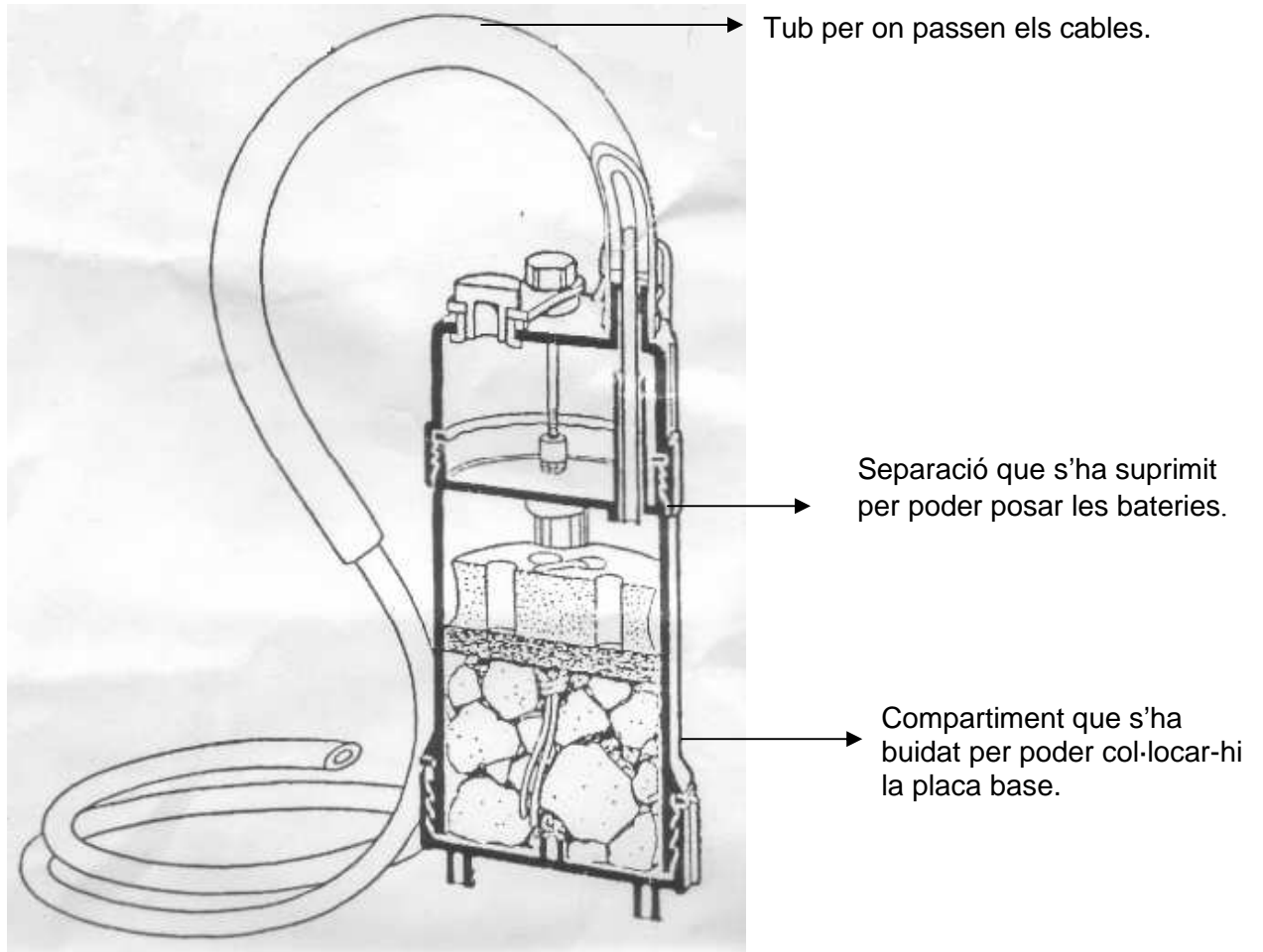
6.2. Recipient de les bateries

S'ha reutilitzat un vell carburer per posar-hi les bateries i el convertidor. El convertidor encaixa perfectament gràcies al seu disseny. El recipient hermètic suporta una pressió de 10 m.c.a (metres de columna d'aigua)



Carburer

S'ha buidat el carburer i s'ha unit els dos compartiments superiors de que disposava, per poder posar les bateries cobertes per una escuma tèrmica. A l'altre compartiment s'ha col·locat la placa base en la que hi ha el convertidor continua/continua juntament amb el circuit de càrrega.

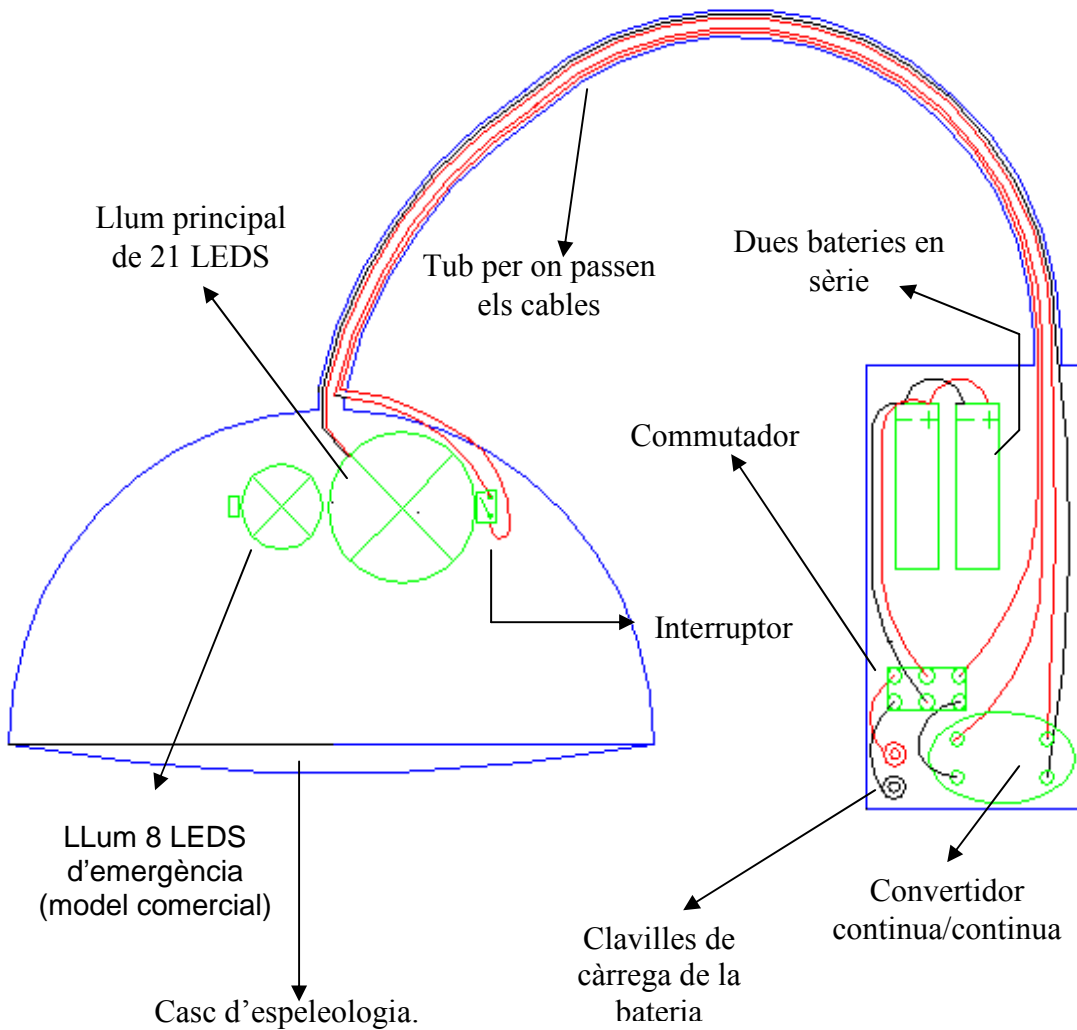


Secció del carburer

6.3 Muntatge

Un cop preparats el carburer i el casc, s'ha dibuixat l'esquema de muntatge del convertidor continua/continua amb els 21 LEDs i les bateries corresponents.

Els cables que uneixen tots els components que estan dins el carburer passen per el tub de plàstic que incorpora el carburer i els uneix amb l'interruptor del casc i amb la llanterna de 21 LEDs.



Per finalitzar el muntatge es fan totes les connexions seguint l'esquema anterior. La instal·lació del llum de 8 LEDS es deixa tal i com estava al principi, funcionant amb les piles que van instal·lades al darrere del casc.

Un cop realitzades les connexions necessàries es comprova el correcte funcionament de les dues llanternes.



Frontal del casc amb els 21 LEDS i els 8 LEDS d'emergència



Vista general del casc amb el contenidor de les piles



Vista del casc amb la llanterna de 21 LEDS en funcionament

7. Comparació amb altres llanternes de LEDS

En la següent taula hi ha una selecció de diferents tipus de llanternes de LEDS dels dos principals fabricants (Black Diamond i Peltz) amb les seves dades.

Model de llanterna	Tipus de bateria	Nombre de LEDS	Temps en funció de la Regulació		Distància en funció del temps de funcionament		
			Regulació	Temps (hores)	0 h	30 min	10 hores
Ion	Bateria 6 V	2	Estàndard	3 h	9 m	7m	No funciona
Zenix IQ	2 Piles AA	2	Màxim	37 h	13 m	12 m	12 m
			Òptim	120 h	10 m	9 m	4 m
Polar Star	3 Piles AA	4	Econòmic	150 h	7 m	6 m	5 m
			Estàndard	120 h	19 m	19 m	10 m
Vectra IQ	4 Piles AA	3	Màxim	100 h	19 m	19 m	10 m
			Òptim	120 h	14 m	14 m	7 m
			Econòmic	140 h	10 m	10 m	7 m
Helion	3 Piles AA	3	Estàndard	120 h	16 m	16 m	13 m
Sport	3 Piles AAA	3	Màxim	100 h	19 m	14 m	10 m
			Òptim	120 h	14 m	14 m	7 m
			Econòmic	145 h	10 m	10 m	7 m
Cosmo	3 Piles AAA	3	Màxim	80 h	21 m	18 m	8 m
			Òptim	110 h	15 m	14 m	8 m
			Econòmic	160 h	10 m	10 m	8 m
Moxie	3 Piles AAA	4	Màxim	80 h	21 m	18 m	8 m
			Òptim	110 h	15 m	14 m	8 m
			Econòmic	160 h	10 m	10 m	8 m
Icon	3 Piles AA	4	Màxim	90 h	23 m	20 m	15 m
			Òptim	108 h	17 m	14 m	12 m
			Baix	164 h	12 m	11 m	11 m
Gizmo	2 Piles AAA	3	Màxim	30 h	13 m	13 m	7 m
			Econòmic	36 h	7 m	7 m	7m
Wiz	2 Piles AAA	2	Estàndard	35 h	10 m	10 m	7 m
Miolyte 3	3 Piles AA	3	Estàndard	130h	25 m	22 m	19 m
Myobelt SB5	3 Piles AA o Bateria LR6	5	Màxim	6 h+64 h *	28 m	28 m	28 m
			Òptim	30 h+50 h*	17 m	17 m	17 m
			Econòmic	75 h +15 h*	14 m	14 m	14 m
Tikka Plus	4 Piles AAA o Bateria LR03	4	Màxim	100 h	32 m	25 m	15 m
			Òptim	120 h	23 m	20 m	13 m
			Econòmic	150 h	15 m	14 m	11 m
Zipka	5 Piles AAA	3	Estàndard	120 h	27 m	22 m	14 m
Duo LED	4 Piles	5	Estàndard	65 h	28 m	24 m	20 m
Duo LED 14	4 Piles AA o Bateria LR6	14	Màxim	3h 30min+180	25 m	25 m	25 m
			Òptim	10 h +138 h*	24 m	24 m	24 m
			Econòmic	63+47h*	15 m	15 m	15 m

Dades de la llanterna de 21 LEDS que s'ha muntat:

Model de llanterna	Tipus de bateria	Nombre de LEDS	Temps en funció de la Regulació		Distància en funció del temps de funcionament		
			Regulació	Temps (hores)	0 h	30 min	10 hores
Llanterna 21 LEDS	2 Bateria Li Ío de 7,4 V	21	Màxim	14,5	*	*	*
			Òptim	38,5	*	*	*
			Econòmic	230,5	*	*	*

*Pendent de determinar, encara que aquesta llanterna de 21 LEDS supera considerablement la distància d'il·luminació de qualsevol de les llanternes anteriors.

En aquestes taules es pot veure la gran diferència que hi ha entre les llanternes comercials i la que s'ha creat en aquest treball. Només la llanterna DUO LED 14 s'apropa en algunes característiques, com ara que manté la llum constant independentment de l'estat de la bateria i a més a més la intensitat de la llum és regulable a voluntat de l'usuari. Tot i això la llanterna que s'ha creat en aquest treball és molt millor que aquesta de 14 LEDS.

8. Possibles millores

Tal com s'ha explicat, la placa electrònica incorpora unes clavilles i un commutador per tal de fer la recàrrega de les bateries. Per efectuar aquesta recàrrega, actualment es requereix una font de corrent continu amb regulació precisa de la tensió de sortida i amb limitació d'intensitat per tal que la càrrega s'efectuï lentament. Aquest fet no representa un gran problema si es disposa de la font adequada però seria bo preveure un sistema que permetés efectuar aquesta recàrrega d'una forma més senzilla i amb material menys sofisticat. Cal tenir en compte que la placa reguladora és molt petita i encara queda força espai al recipient que es podria fer servir en cas que es volgués utilitzar una electrònica amb més prestacions.

Totes les següents possibilitats són viables:

- Fer que el transformador, rectificador, filtre i regulador de càrrega quedin integrats a la mateixa placa. D'aquesta forma per efectuar la recàrrega només caldria connectar el sistema a 220V 50Hz mitjançant una clavilla.
- Desenvolupar un carregador extern tipus "telèfon mòbil"
- Dotar el carregador extern de la capacitat per efectuar la recàrrega a partir de la xarxa 220V/50Hz, de la bateria d'un vehicle i fins i tot a partir d'un panell solar de 12V o una pila d'hidrogen. Aquesta última possibilitat seria molt interessant de cara a la utilització d'aquest equip en llargues exploracions en llocs inhòspits.

Potser, seria possible, fins i tot, integrar l'electrònica necessària per a implementar aquesta última opció dintre del recipient de les bateries. La determinació de la viabilitat d'aquesta opció requeriria d'un estudi detallat.

9. Conclusió.

S'han assolit plenament els objectius especificats en l'apartat 2.0

Quan es va començar aquest treball, aquesta llanterna estava destinada a ser molt superior a qualsevol model present en el mercat. Un any després, alguns fabricants han començat a treure equips semblants. Les distàncies quan a prestacions s'han retallat però fins i tot avui, aquest equip d'il·luminació és superior:

- En autonomia.
- En lluminositat.
- En respecte al medi ambient.

I sobretot:

És l'únic model present en el mercat que no obliga a portar una altra font de llum d'emergència ja que els mòduls de 8 i 21 leds funcionen per separat a partir de bateries diferents. En cas de fallada d'un dels sistemes, el funcionament del segon queda intacte. Recordem que els dos llums del model comercial de 14 leds s'alimenten de les mateixes bateries a través dels mateixos conductors.

Inconvenients:

- Pes. És més pesat que el model comercial de 14 leds però no més pesat que un llum de carbur.
- Preu. El cost dels materials per un equip està entre els 100 i 125 €. Si afegíssim el cost del treball, el preu seria molt elevat.

A l'hora de fer aquest treball he vist que la tecnologia dels LEDS avança molt ràpidament però encara hi ha molt camí per recórrer. Aquesta llanterna aprofita molt millor el potencial dels LEDS que la majoria de les que es troben en el mercat i encara

es podria aprofitar molt més. Això vol dir que els LEDS tenen un gran futur i fins i tot arribaran a substituir els fluorescents i les bombetes convencionals.

Aquest treball ha requerit moltes hores de feina ja que és un treball pràctic i ha calgut prendre diferents mesures, fer càlculs, gràfiques, dissenyar circuits, construir-los i finalment integrar els components, per acabar redactant la memòria. Tot i així, ha valgut la pena ja que s'han obtingut molt bons resultats. Ha estat un treball mitjançant el qual he après molt sobre el disseny i creació de circuits impressos, alguns components, la tècnica de soldar estany i moltes més coses que em serviran en un futur.

10 Bibliografia

- Black Diamond,
<http://www.blackdiamondequipment.com/>
- Conae,
http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_2182_tecnologia_led
- Datasheetcatalog,
www.datasheetcatalog.com
- Edison upc,
<http://edison.upc.edu/curs/llum/fotometria/magnitud.html>
- Electrónica 2000,
<http://www.electronica2000.com/>
- Electrónica ugr,
http://electronica.ugr.es/~amroldan/asignaturas/curso03-04/cce/practicas/resistencias/codigos_colores.htm
- Endrino,
<http://endrino.cnice.mecd.es/~jhem0027/luminotecnia/magnitudes.htm>
- Erco,
www.erco.com/guide_v2/guide_2/lighting_te_94/led_1624/es/es_led_prop_1.htm
- Geocities,
<http://www.geocities.com/acuariogratias3/electronica/placasci.html>
- Hama,
www.hama.es
- I Martínez,
http://imartinez.etsin.upm.es/ot1/Units_es.htm
- Led1.de,
www.led1.de
- Petzl,
<http://en.petzl.com>
- Xarxa telemàtica educativa de Catalunya,
<http://www.xtec.es/centres/b7007300/fmarch/lluminacio.htm>
- Wikipedia,
<http://gl.wikipedia.org/wiki/LED>

11. Annex

La següent carta la ha enviada la federació catalana d'espeleologia com a reconeixement a la feina feta en aquest treball de recerca.

federació catalana d'espeleologia  Girona, 78, pral., 1a i 2a portes - 08009 Barcelona - www.espeleo-cat.org
Telèfon: 93 265 22 41 - Fax: 93 265 32 83 - e-mail: fce@espeleo-cat.org

19 de febrer de 2007

Senyor Eloi Cortada i Vallicrosa

2n de Batxillerat A
IES Ramon Turró

Malgrat de mar.

Senyor Eloi Cortada,


En primer lloc en el meu nom i en el de la junta directiva de la Federació Catalana d'Espeleologia cal felicitar-vos pel vostre treball de recerca "Desenvolupament pràctic d'un sistema d'il·luminació d'alt rendiment".


Ens fa molt de goig tenir a les mans aquest treball, ja que des de fa molt de temps el món de l'espeleologia està cercant una font d'il·luminació adient, que coincideix plenament amb l'objectiu del vostre treball: força temps d'autonomia, submergible, resistent i quantitat de llum regulable.

Esperem i desitgem que aquest nou sistema d'il·luminació pugui ser una realitat i el pugem veure aviat comercialitzat, el desig del món espeleològic és relegar l'ús del carbur, feixuc, brut i contaminant, només per a grans cavitats.

Sabeu que teniu tot el recolzament de la Federació Catalana d'Espeleologia.

Cordials salutacions


Hilari Moreno i Castelló
President



N.I.F. G-08-858961 Paper ecològic