Llegando a la madurez 50.000h.

Albert Reixach Icart - Norfeus

Desde el 2002 cuando se empezó a comercializar los primeros led blancos de alta potencia InGaN (1W) para ser utilizados más allá de la señalización, se ha especulado mucho sobre sus prestaciones, principalmente por las supuestas horas de funcionamiento utilizables respecto a L70. Se cumplen diez años de la disponibilidad de esta tecnología para fabricantes y diseñadores de iluminación, y ocho de la aparición de aplicaciones comerciales con esta tecnología de iluminación que ahora ya no es nueva.

Antaño no se podía hablar de eficiencia energética, aquellos primeros led sólo eran útiles para experimentar y realizar aplicaciones a medio camino entre la señalización e iluminación, siendo la aplicación más común la de bolardos iluminados para jardín, iluminación decorativa, de bajo voltaje para piscinas y alumbrado de emergencia. En 2006 la eficiencia de estos primeros led alcanzó los 60lm/W

a 350mA, 4500K y con una Tj de 25°C, ciertamente insuficiente para muchas aplicaciones de iluminación pública, y más teniendo en cuenta su elevado coste. No obstante sí fue suficiente para realizar alguna obra singular y/o experimental como la que se presenta aquí.

Acceso al Barrio de Sant Pere de Ripoll, premio Infanta cristina 2008 a las soluciones técnicas y de I+D

En 2004 el Ayuntamiento de Ripoll instaló 115 pilonas led de 3W para marcar el camino de 1km de carril bicicleta (aún están en servicio), viendo su buen resultado se tuvo en cuenta para futuras obras. Un año más tarde se inició un proyecto en que esta tecnología podía encajar para iluminación pública, un tanto especial, dado que tenía de funcionar a muy bajo voltaje por requerimiento del arquitecto y de los técnicos del Ayuntamiento. Se trataba de una obra enfocada a usuarios con discapacidad física, que debía enlazar un barrio de la ciudad de difícil acceso con un fuerte desnivel.

Una curiosidad de la instalación es que lleva consigo una mini central fotovoltaica de 5KW de pico. La energía generada es inyectada a la red de distribución, se genera más energía que la consumida en la iluminación nocturna (unos 4,27KW en consumo máximo y 2,71KW cuando se acciona la reducción de flujo a partir de las 23h al cerrarse el acceso al público de los ascensores que enlazan dos calles de diferente nivel).

Premisas adicionales para el diseño de las luminarias

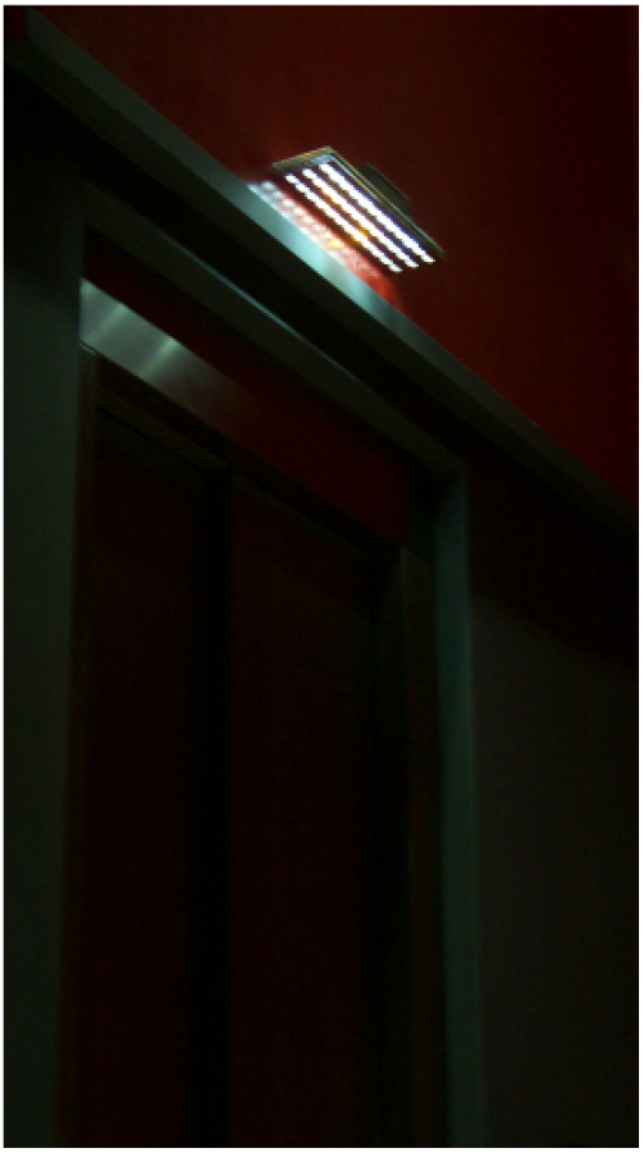
Desde los servicios técnicos del Ayuntamiento de Ripoll no se quería instalar ningún sistema de iluminación que no fuese de muy bajo voltaje, regulable en potencia y sin mercurio en su interior. La situación de las luminarias en zonas de baja altura y en barandillas, serían (y son) susceptibles de padecer actuaciones vandálicas y golpes no voluntarios por usuarios con sillas de ruedas, se buscaba una fuente de luz de bajo voltaje, muy robusta a golpes y duradera en el tiempo para disminuir al máximo las intervenciones de mantenimiento, principalmente por el tipo de construcción (pasarelas, calle cubierta, etc) al haber luminarias que funcionarían las 24h del día. Se decidió por la tecnología led.

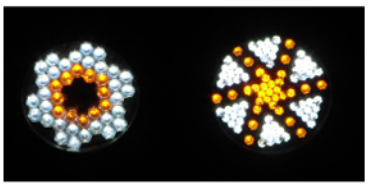
Premisas adicionales para la iluminación led:

- Voltaje de funcionamiento máximo de 24V para las luminarias principales incluidas las farolas del acceso superior norte.
- Voltaje de funcionamiento de 12V y aislamiento de seguridad (CLASE III) para los tubos led de las pasarelas.
- (Excepción) Funcionamiento a 230V CLASE II para las luminarias sereno de los ascensores públicos exteriores.
- Optimización fotométrica de las luminarias, para sortear los voladizos inferiores, la luminaria más elevada está a 10m y la más baja a 2,6m.
- UGR menor de 20 en las luminarias situadas en voladizos de menos de 4m de altura (para no deslumbrar en exceso los usuarios en sillas de ruedas).
- Temperatura de color preferentemente cálida para las luminarias principales incluidas las farolas del acceso superior norte a excepción de los tubos led de las pasarelas.
- Doble nivel para las luminarias principales y farolas.
- Luminarias con conectores rápidos (sin herramientas).
- Drivers led centralizados en cuadro eléctrico y de fácil sustitución sin herramienta alguna a excepción de los de 230V clase II de las puertas de los ascensores que tienen que estar integrados en la luminaria.
- Minimizar la utilización de condensadores electrolíticos y alejados de fuentes de calor.
- La corriente suministrada a cada luminaria no ha de ser mayor de 0,5A para proteger y garantizar a muy largo plazo los correspondientes conectores rápidos (manipulación en caliente) de la instalación, esto y la baja tensión implica hacer las luminarias en bloques de 7 led independientes como máximo.
- Protección extra para sobretensiones transitorias a la entrada del cuadro de Drivers led.
- Filtro EMC extra en la entrada del cuadro de Driver led, la instalación está adosada en la central Telefónica de Ripoll y es un gran nudo de enlaces por radiofrecuencia.

Dado que la ubicación de la mayor parte de las luminarias es en unos voladizos de Corten a diferentes alturas (cubiertas para proteger de la lluvia a los usuarios), se diseñó unos ojos de buey, hoy más conocidos como Downlights, de 50W y 100W de consumo real aproximadamente y que se aprovechó para hacer las farolas de acceso con fuste de corten. De todo el conglomerado de luminarias, dos de 50W junto con las ocho luminarias de 15W, que funcionan a 230V, están encendidas las 24h del día 365 días al año y forman parte del interés por ver qué pasa con ellas al acercarse a las prometedoras 50.000h de funcionamiento.

Previamente al diseño definitivo de las luminarias, en 2005 se realizaron varios prototipos para definir y probar la solución idónea, dando lugar a una solución peculiar para la reducción del pico de potencia espectral de 450nm, premisa adicional de utilizar luz cálida. La reducción de luz azulada era(es) importante debido a que la instalación está en el barrio más elevado de la población y muy cerca de parajes naturales, también para dar un aspecto más saludable a los usuarios de esta instalación pública. En 2005 salieron los primeros led cálidos, cabe destacar los Luxeon III con 25lm/W (Tj 25°C) de 3000K, pero se descartó su utilización por una pésima eficiencia y por el color amarillento de "enfermo hepático" que generaba. Se encontró una solución mejor, con unos resultados excelentes para aquella "época", aportando una





reproducción de la piel de aspecto muy saludable y cumpliendo la premisa de reducción de la emisión de 450nm, mediante la utilización de tecnología InGaN y AlIGaP en la misma luminaria. Se pasó de un IRC(CRI) con Ra73 a Ra86 proyectada, con un aspecto ligeramente anaranjado, pasando de 4573K a unos 2896K, para las luminarias de 100W y 3242K para las de 50W, la reducción del pico de 450nm para la luminarias fue del 56,7% y 44,3% respectivamente. En el proyecto definitivo se pudo utilizar la última tecnología disponible en el 2006, los led Luxeon K2 de la empresa LUMILEDS adquirida posteriormente en su totalidad por Philips.

Resultado a 46.176h de funcionamiento.

Viernes 29 de setiembre de 2006 a las 19h y 22 minutos, puesta en marcha de la instalación a excepción del acceso superior norte donde hay las farolas con mástil.

Lunes 9 de enero de 2012 última revisión general de la instalación de la iluminación, a parte de los datos fotométricos se mide el rizado de la salida de algunos led Drivers para controlar el estado de los condensadores, así como todos los parámetros eléctricos de la instalación.

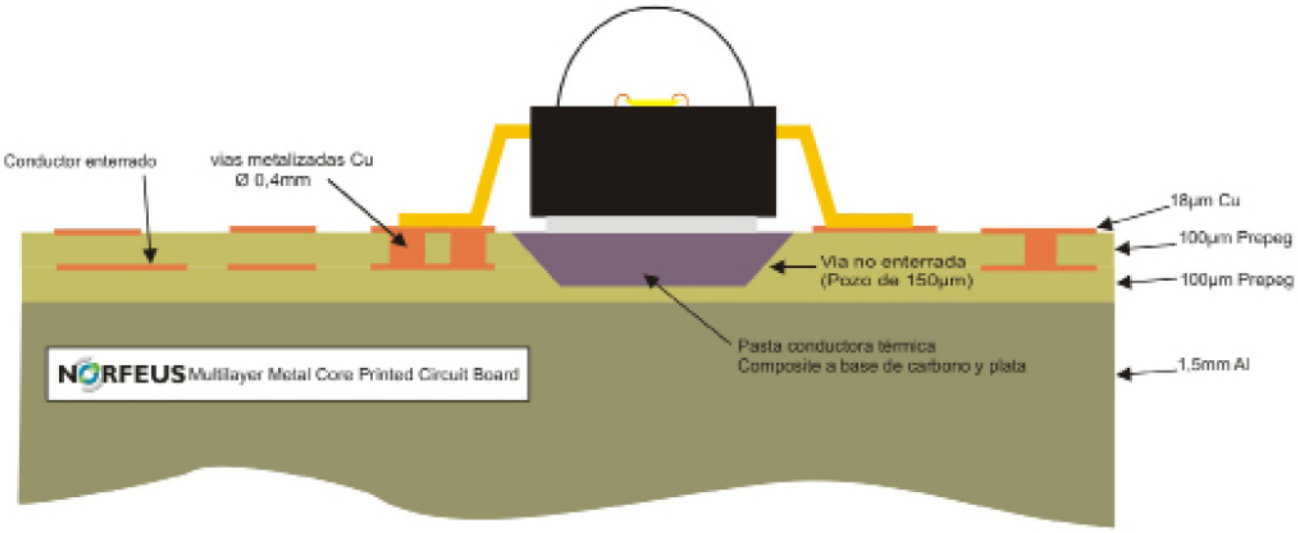
En total 10 luminarias funcionando las 24h:

2 unidades de 50W
8 unidades de 15W

Luminarias analizadas: 9 de 10 (una de 15W fue robada en el verano de 2011 por la que se volvió a instalar una de nueva).

Horas totales en funcionamiento registradas en la última revisión anual: 46.176h

- Reducción de flujo máximo detectada en las luminarias de 50W: 11,6%
- Reducción de flujo máximo en las luminarias de 15W: 8,2%
- Mortalidad de led detectada: 0 (no siendo así en los tubos led de las pasarelas)*.



- Variación de CCT e IRC: No verificada, sin cambio a simple vista. (Sí en los tubos led)*.
- Incidencias a corregir: 0
- Incidencias anteriores corregidas: sustitución de una luminaria de 15W por causa ajenas a su funcionamiento, acto vandálico (robo).
- Incidencias totales desde 2006: 1, reposición de una luminaria.

**Los tubos led llevan los mismos tipos de led que el resto de luminarias, se ha detectado en algunos tubos por causas químicas el degradado prematuro del fósforo y del DIE, al utilizar una silicona con excipientes no compatibles para resellar algunos conectores maltrechos por golpes e intentos de robo.*

Para diseñar las luminarias led de bajo voltaje y baja corriente (se fijó a 350mA) y debido a su tamaño compacto era sumamente difícil diseñar un PCB estándar por no tener un espacio holgado para el trazado de los conductores. Era necesario un PCB multicapa de base metálica de aluminio 1050, PCB utilizado para aplicaciones militares y aereoespaciales, diseñado y fabricado íntegramente en la misma población por la empresa local de iluminación Norfeus, se puede apreciar su estructura en el gráfico.

En la realización de los cálculos de disipación de los led de las luminarias se fijó una temperatura ambiente de 25°C:

- El incremento de temperatura ΔT para las luminarias diseñadas de 50W(42 LEDS) con ventilación forzada (ventilador con cojinetes de bolas marca Sanyo) = 28,6°C

- ΔT para las luminarias de 15W(12 LEDs) con ventilación no forzada = 31,2°C

La potencia de trabajo de los led es de 1,147W, la resistencia térmica de la luminaria (conjunto PCB+dispador) respecto al ambiente $R_{Th\text{-}llum\text{-}aire}$(50W)= 24,93°C/W y $R_{Th\text{-}llum\text{-}aire}$(15W)= 27.20°C/W.

Teniendo en cuenta que la resistencia térmica del encapsulado del led a su DIE (juntion), es de 15°C/W según datos del fabricante, tenemos la resistencia de junta (juntion) del chip de led a la ambiente es de R_{Th}(50W) = 39,93°C/W y R_{Th}(15W)=42,2°C/W.

Variación de flujo

Potencia	Variación real a las 46.176h	Variación calculada a las 45.000h(Ta=25°C)
50W	11,6%	20,1%
15W	8,2%	20,8%

La variación de flujo esperado aproximadamente era ligeramente superior al 20% a las 45.000h para la luminaria de 50W y del 21% en las de 15W, pero la realidad es otra. Hay una diferencia de casi el doble en las luminarias de 50W y más del doble en las de 15W que además son las que registran un menor grado de disipación.

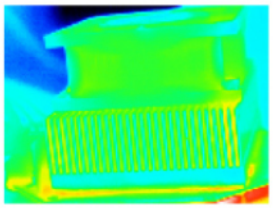
La principal razón de esta diferencia en el resultado (ver tabla de variación del flujo), es debido a que se calculó con una temperatura ambiente de 25°C y la temperatura media anual de la población es prácticamente de la mitad, en el 2011 fue de 12,6°C. Se puede ver en la tabla de temperaturas como referencia la media anual de varias ciudades de España. A parte de la diferencia de la temperatura ambiente de referencia respecto a la real, tenemos los flujos de aire en la instalación, sobre todo para las que no están instaladas en las cavidades de los voladizos de corten que son las de 15W, las que hay más diferencia. Pero esto no es todo, las luminarias de 15W están instaladas tocando el panel sándwich de aluminio, esto les dan una disipación extra.

Tabla de temperaturas ambientales medias anuales 2011

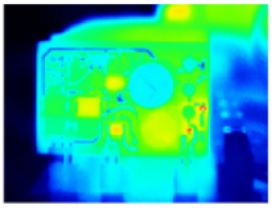
Localidad	Ta media anual total	Ta media anual de 22h a 7h
Sevilla	18,6°C	14,2°C
Barcelona	15,5°C	11,7°C
Madrid	14,6°C	8,3°C
Ripoll	12,4°C	7,1°C

NOTA: Ripoll 37,2°C Ta Max. -12,3°C Ta Min.

Para finalizar tenemos las luminarias que sólo funcionan de noche y con reducción de flujo al 50% (led funcionando a 172mA), con el resultado de un alargamiento de la vida mucho más allá de lo previsto por tener una temperatura ambiental media anual de poco más de siete grados centígrados.



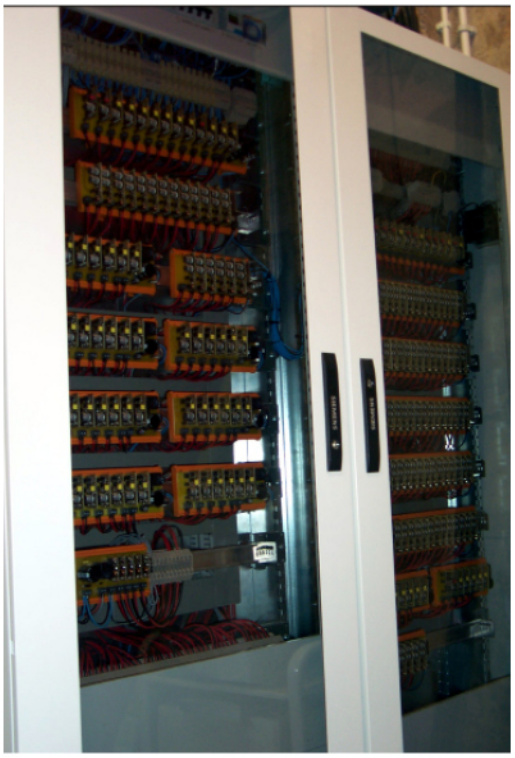
50W LED



LED Driver

Con sólo esta instalación de iluminación led no es suficiente para sacar conclusiones globales para todas las luminarias led, principalmente debido a que son pocas las unidades analizadas y además la mayoría tiene los led Driver centralizados en un armario (ver foto) lejos de fuentes de calor. Pero hay una conclusión clara, para el análisis de durabilidad de luminarias led para exterior, los 25°C de temperatura ambiente de referencia distorsiona mucho los resultados, otra cosa es para luminarias de interior.

De momento el Ayuntamiento no va a proceder a la actualización tecnológica de la fuente de luz led de esta instalación (en su día sólo se va a sustituir el PCB de led), actualmente se podría sustituir por los nuevos led cálidos CREE XLamp XM-L a 2700K o sus homólogos "low cost" XLamp XB-D de 3000K con un mínimo de eficiencia a 350mA en ambos de 100lm/W con Tj 85°C según anuncia el fabricante (sí verificado en los XM-L).■



Créditos:

Obra: Mejora de los accesos entre el barrio de Sant Pere y el centro histórico de Ripoll

Premio I+D+i en Nuevas Tecnologías y Ayudas Técnicas Infanta Cristina.

Promotor: Excmo. Ayuntamiento de Ripoll, Girona, España,

Fundación ONCE, IMSERSO Ministerio de Sanidad Política Social e Igualdad y Diputación de Girona.

Arquitectura: Manel Colomo Escribano, servicios técnicos del Ayuntamiento de Ripoll.

Ingeniería: Joan Pericàs Rius, servicios técnicos del Ayuntamiento de Ripoll.

Asesoramiento técnico: Albert Reixach Icart, Norfeus.

Diseño iluminación: Norfeus.

Autor del trabajo: Albert Reixach Icart.

Fotografía: Jordi Torrente

Fecha: Puesta en marcha en 2006, inaugurado a principios de 2007, Premio Infanta Cristina 2008.