



Universidad de  
Oviedo



**ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA  
INDUSTRIAL**

**ÁREA DE ELECTRÓNICA**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**Estudio sobre la sustitución de la instalación de iluminación en  
campos de fútbol profesionales por tecnología LED**

**D. RIVAS DÍAZ, Enrique  
TUTOR: D. ARIAS PEREZ DE AZPEITIA, Manuel**

**FECHA: Julio 2019**

# Índice de contenido

<b>1.- OBJETIVO Y ESTRUCTURACIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>6</b>
1.1.- OBJETIVO.....	6
1.2.- ESTRUCTURACIÓN DEL PROYECTO .....	6
<b>2.- INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
<b>3.- LA TECNOLOGÍA LED .....</b>	<b>11</b>
3.1.- EL CHIP LED: PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO Y PRINCIPALES TIPOLOGÍAS .....	11
3.1.1.- <i>Definición y principio de funcionamiento.....</i>	<i>11</i>
3.1.2.- <i>Tipologías de LEDs comunes en el mercado.....</i>	<i>12</i>
3.2.- MÓDULOS LED.....	15
3.3.- ALIMENTACIÓN DE LOS LEDs: <i>DRIVERS</i> .....	17
3.3.1.- <i>Necesidad de los drivers.....</i>	<i>17</i>
3.3.2.- <i>Tipos de fuentes de alimentación .....</i>	<i>18</i>
3.3.3.- <i>Sistemas de comunicación: Control de los LEDs.....</i>	<i>20</i>
<b>4.- DEFINICIÓN DE PROPIEDADES EN LUMINARIAS .....</b>	<b>21</b>
4.1.- PROPIEDADES FOTOMÉTRICAS .....	21
4.2.- PROPIEDADES COLORIMÉTRICAS .....	27
4.3.- PROPIEDADES DEL <i>DRIVER</i> .....	29
<b>5.- COMPROBACIÓN DE NORMATIVA EN LA SITUACIÓN INICIAL .....</b>	<b>31</b>
5.1.- NORMATIVA APLICABLE .....	31
5.2.- SITUACIÓN ACTUAL DEL CAMPO DE FÚTBOL DE ESTUDIO: ESTADIO CARLOS TARTIERE .....	34
<b>6.- TECNOLOGÍA LED COMO ILUMINACIÓN DEL CAMPO.....</b>	<b>39</b>
<b>7.- FABRICACIÓN DE LUMINARIAS LED .....</b>	<b>43</b>
7.1.- DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LA PLACA PCB .....	43
7.1.1.- <i>Diseño de la placa PCB.....</i>	<i>43</i>
7.1.1.1.- Selección de material de la placa PCB .....	44
7.1.1.2.- Selección de tipo y modelo de chip LED utilizado .....	44
7.1.1.3.- Definición de tipo de driver y configuración del módulo LED .....	46
7.1.2.- <i>Fabricación de la placa PCB .....</i>	<i>48</i>
7.2.- FABRICACIÓN DE LA LUMINARIA.....	48
7.2.1.- <i>Montaje del módulo LED.....</i>	<i>49</i>
7.2.2.- <i>Ensamblaje del proyector.....</i>	<i>50</i>

7.2.2.1.-	Ensamblaje de placa PCB con disipador y carcasa.....	50
7.2.2.2.-	Ensamblaje del driver utilizado .....	52
7.3.-	COMPROBACIÓN DE RESULTADOS LUMÍNICOS DE LA LUMINARIA.....	54
7.3.1.-	<i>Ensayos luminotécnicos de los proyectores</i> .....	54
7.3.1.1.-	Ensayo fotométrico: Fotogoniómetro .....	54
7.3.1.2.-	Ensayo colorimétrico: Esfera Integradora .....	57
7.3.2.-	<i>Otros ensayos realizados al proyector</i> .....	60
7.4.-	CARACTERÍSTICAS FINALES DEL PROYECTOR TAPIA .....	61
7.4.1.-	<i>Propiedades generales</i> .....	61
7.4.2.-	<i>Propiedades fotométricas y colorimétricas</i> .....	62
7.4.3.-	<i>Seguridad del proyector</i> .....	62
<b>8.-</b>	<b>ESTUDIO LUMINOTÉCNICO</b> .....	<b>63</b>
8.1.-	POSICIÓN Y TRAMAS DE CÁLCULO UTILIZADAS.....	63
8.2.-	PROPUESTAS DE ESTUDIO .....	66
8.2.1.-	<i>Resistencia estructural del estadio</i> .....	66
8.2.2.-	<i>Curvas a utilizar: Apertura del haz de luz</i> .....	67
8.2.3.-	<i>Primeras propuestas y alternativas de instalación</i> .....	69
8.3.-	PROPUESTA DEFINITIVA .....	73
<b>9.-</b>	<b>COMPROBACIÓN CUMPLIMIENTO DE NORMATIVA</b> .....	<b>79</b>
9.1.-	COMPROBACIÓN DE PROPIEDADES REQUERIDAS DEL PROYECTOR.....	79
9.2.-	COMPROBACIÓN DE RESULTADOS LUMINOTÉCNICOS.....	79
<b>10.-</b>	<b>PRESUPUESTO</b> .....	<b>82</b>
10.1.-	CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS .....	82
10.2.-	PRESUPUESTO Y MEDICIONES .....	83
10.3.-	PRESUPUESTO TOTAL .....	85
<b>11.-</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>86</b>
<b>12.-</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>88</b>

## Índice anexos

<b>A.- LA TECNOLOGÍA LED Y EQUIPOS ASOCIADOS.....</b>	<b>93</b>
A.1.- PRODUCCIÓN DE LUZ.....	93
A.2.- FABRICACIÓN DEL DIODO LED.....	95
A.3.- MONTAJE DEL CHIP LED.....	97
A.4.- NUEVAS TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN LED.....	98
A.5.- TOPOLOGÍAS DE LOS DRIVERS.....	100
A.5.1.- <i>Tipos de fuentes de alimentación</i> .....	100
A.5.1.1.- <i>Fuentes de alimentación lineales</i> .....	100
A.5.1.2.- <i>Fuentes de alimentación conmutadas</i> .....	102
A.5.2.- <i>Clasificación de drivers según la tensión de suministro</i> .....	105
A.6.- TIPOLOGÍAS DE DRIVER SEGÚN SU MODO DE ALIMENTACIÓN.....	107
A.6.1.- <i>Alimentación a corriente constante</i> .....	107
A.6.2.- <i>Alimentación a tensión constante</i> .....	108
A.7.- SISTEMAS DE COMUNICACIÓN DE LOS DRIVERS.....	109
<b>B.- AMPLIACIÓN DE CONCEPTOS RELACIONADOS CON LA ILUMINACIÓN.....</b>	<b>111</b>
B.1.- CÁLCULO EMPÍRICO DEL GRADO DE DESLUMBRAMIENTO GR.....	111
B.2.- CUANTIFICACIÓN DEL FLICKER.....	112
B.3.- FACTOR DE POTENCIA.....	113
<b>C.- NORMATIVA DE APLICACIÓN.....</b>	<b>116</b>
C.1.- REQUERIMIENTOS PARA PRODUCCIÓN DE TELEVISIÓN EN 4K.....	116
C.2.- TABLAS COMPARATIVAS DE CUMPLIMIENTO DE NORMATIVA DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	116
<b>D.- LÁMPARAS DE DESCARGA: LA DIFICULTAD DEL REENCENDIDO EN CALIENTE.....</b>	<b>119</b>
<b>E.- DISEÑO, FABRICACIÓN Y COMPROBACIÓN DE RESULTADOS DE LOS PROYECTORES LED.....</b>	<b>122</b>
E.1.- PROCESO DE MONTAJE DEL MÓDULO LED.....	122
E.2.- DESCOMPOSICIÓN Y PLANOS DEL PROYECTOR TAPIA.....	125
E.3.- EFICACIA EN LAS LUMINARIAS LED.....	126
E.4.- ENSAYO FOTOMÉTRICO: FOTOGONIÓMETRO.....	133
E.5.- PROPIEDADES COLORIMÉTRICAS: ESFERA INTEGRADORA O ESFERA DE ULBRICHT.....	138
E.6.- NORMATIVA APLICABLE A LOS PROYECTORES LED.....	142
<b>F.- PROPUESTAS DESCARTADAS DE LA INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN.....</b>	<b>144</b>
<b>G.- ENSAYOS COMPLETOS DEL PROYECTOR TAPIA.....</b>	<b>146</b>
G.1.- ENSAYOS FOTOMÉTRICOS.....	146



G.1.1.-	<i>Lentes tipo III</i> .....	147
G.1.2.-	<i>Lentes tipo IV</i> .....	157
G.2.-	ENSAYO COLORIMÉTRICO .....	167
<b>H.-</b>	<b>ESTUDIO LUMINOTÉCNICO COMPLETO</b> .....	<b>168</b>

# 1.- Objetivo y estructuración del proyecto

## 1.1.- Objetivo

En este proyecto se realizará un estudio completo de sustitución de la instalación de iluminación artificial del estadio de fútbol profesional Carlos Tartiere, perteneciente al ayuntamiento de Oviedo. En concreto, se busca la sustitución de las luminarias actuales, basadas en lámparas de halogenuros metálicos, por luminarias basadas en tecnología LED. Este estudio se ha llevado a cabo mediante la realización y seguimiento del proceso de diseño, fabricación y ejecución de ensayos de las luminarias LED que se pretenden utilizar, obteniendo los parámetros característicos de las mismas en términos de fotometría y colorimetría. Se realizará también, y como es lógico, el estudio luminotécnico de la instalación desarrollada y se comprobará el cumplimiento de los requisitos exigidos por la normativa aplicable a los campos de fútbol profesionales.

El presente proyecto ha sido realizado en la empresa Luminalia Ingeniería y Fabricación S.A., compañía asturiana dedicada al diseño y fabricación de luminarias LED con distribución nacional e internacional.

## 1.2.- Estructuración del proyecto

A continuación, se describe brevemente el contenido de los diferentes capítulos que estructuran el proyecto:

**CAPÍTULO 1.** Define el objeto y estructura del proyecto, reconociendo el objetivo que posee la realización del trabajo y describe el contenido de cada uno sus capítulos.

**CAPÍTULO 2.** Es la introducción del proyecto, describe la situación actual de la tecnología LED, sus aplicaciones más habituales y dirección de evolución.

**CAPÍTULO 3.** Este capítulo define las características fundamentales del LED, como son su composición y principio de funcionamiento. También se describen los tipos de LED que ofrece el mercado, así como equipos auxiliares fundamentales en toda luminaria. Todo esto permitirá poder escoger adecuadamente el tipo de LED y los equipos auxiliares idóneos en las luminarias a emplear en el proyecto del Carlos Tartiere.

**CAPÍTULO 4.** Se definen los conceptos mínimos a conocer acerca de la caracterización del flujo luminoso y de sus efectos en las superficies de incidencia y en los observadores. Esto permitirá entender los resultados obtenidos en las medidas y ensayos realizados sobre las luminarias.

**CAPÍTULO 5.** Se recoge la normativa aplicable al caso de aplicación, iluminación en campos de fútbol profesionales, así como un estudio de la situación actual del Carlos Tartiere.

**CAPÍTULO 6.** Se comparan las diferentes tecnologías de iluminación para la implantación del sistema de iluminación en los campos de fútbol, de tal forma que pueden evidenciarse las mejoras que ofrece la iluminación LED respecto a las demás alternativas disponibles.

**CAPÍTULO 7.** Se define el proceso completo de fabricación de las luminarias LED que se utilizarán para la propuesta de alumbrado, abarcando desde su diseño hasta la realización de los ensayos necesarios para hallar sus características finales (explicadas en el capítulo 4).

**CAPÍTULO 8.** Se realiza el proyecto luminotécnico completo con los proyectores fabricados, pasando por las primeras propuestas y los problemas encontrados hasta llegar a la propuesta definitiva del proyecto de instalación. En definitiva, se detallará el proceso de diseño completo de la instalación, remarcando y justificando los aspectos mejorados entre las distintas iteraciones de diseño con el objetivo de respetar la normativa descrita en el capítulo 5.

**CAPÍTULO 9.** A modo de resumen y para una mejor visualización de los resultados, se comprueba el cumplimiento de toda la normativa de aplicación (capítulo 5), demostrando como la propuesta de iluminación realizada es capaz de alcanzar todos los requerimientos técnicos.

**CAPÍTULO 10.** Se detalla el presupuesto completo de la propuesta.

**CAPÍTULO 11.** Se enumeran una serie de conclusiones obtenidas del estudio completo del proyecto.

**CAPÍTULO 12.** Bibliografía consultada para la realización del proyecto.

## 2.- Introducción

Actualmente, las instalaciones de iluminación se encuentran ampliamente extendidas en todos los ámbitos y sectores. Debido a que la iluminación es un factor que afecta al confort y seguridad de forma directa, las normativas en vigor respecto a requerimientos lumínicos y técnicos adoptan valores cada vez más exigentes en aplicaciones de alumbrado exterior e interior [1], de forma que garanticen unos mayores niveles de calidad e intensidad lumínica para todos los organismos públicos y privados.

Las tecnologías de iluminación convencionales son muy extensas. A lo largo de las décadas se han desarrollado diferentes tipologías como son las lámparas incandescentes, las lámparas de descarga y, en menor medida, las lámparas de inducción. Todas ellas conforman un porcentaje elevado de las fuentes de luz utilizadas en la actualidad y definen en gran medida la iluminación a la que uno se encuentra habituado. Sin embargo, debido a los avances tecnológicos y las medidas medioambientales y técnicas que se están instaurando, este tipo de iluminación convencional no posee las cualidades para cumplir todos estos factores y está siendo superada en las últimas décadas por otros tipos de iluminación más relacionados con la dirección de desarrollo técnico, económico y social del presente siglo. Los LEDs (cuyas siglas provienen del término en inglés "*Light Emitting Diodes*", diodos emisores de luz), son la última revolución tecnológica en el ámbito de la iluminación. Este efecto es debido a las importantes y evidentes ventajas que ofrece respecto a la iluminación convencional en términos de mayor vida útil, menor mantenimiento y mayor eficacia, entre otras características, lo que está suponiendo un cambio en la iluminación [2].



*Figura 2.1.- Luminarias LED viales, fabricadas por la empresa Luminalia.*

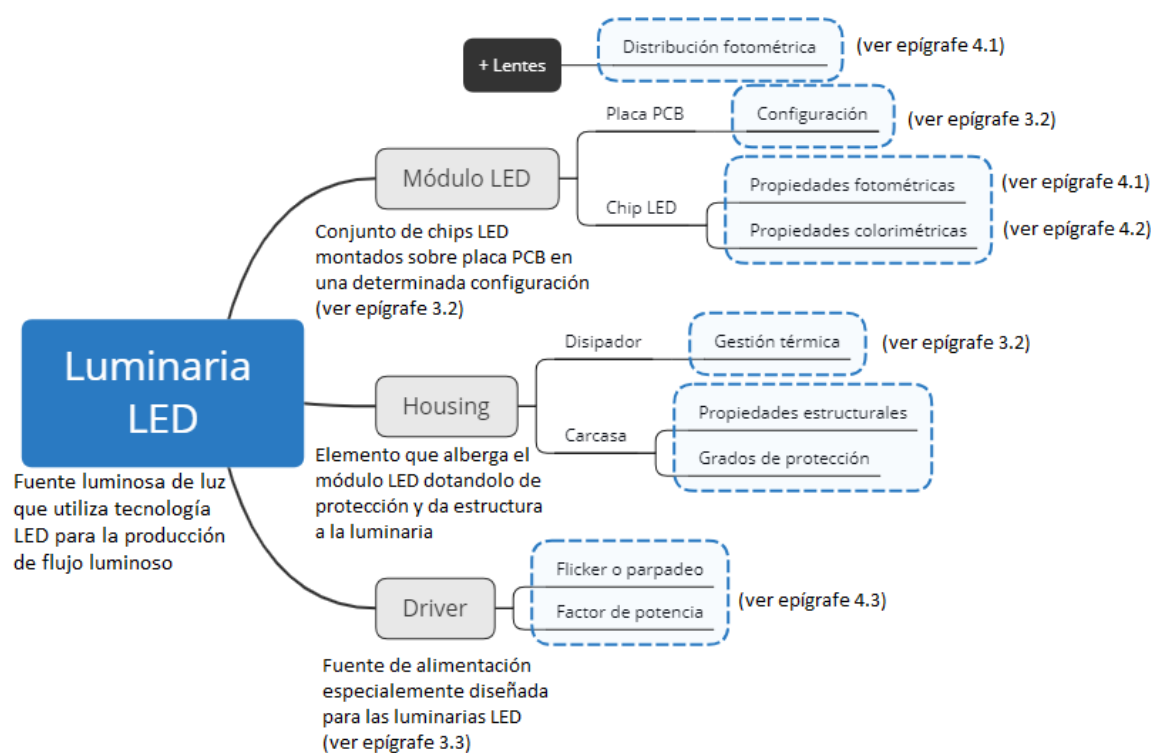
La evolución de la iluminación LED es exponencial en la actualidad, con mejoras continuadas en el sector en los últimos años, tanto en el propio chip LED como en el diseño de las luminarias y en sus equipos auxiliares. Siguiendo la dinámica actual, se puede prever una implantación general, ya que su uso en nuevas obras y la sustitución en alumbrado urbano, iluminación en edificios y en términos generales en todo tipo de iluminación en organismos públicos y privados es una realidad que se está efectuando de forma progresiva [3].



*Figura 2.2.- Imagen de la iluminación artificial LED del estadio de fútbol Wanda metropolitano.*

## 3.- La tecnología LED

En primera instancia, se muestra un esquema general que representa una luminaria de tecnología LED en la *Figura 3.1*. A partir de esta, se pueden reconocer los distintos componentes que la conforman, así como las principales propiedades y funciones que poseen y aportan a las características finales a la luminaria en cuestión (remarcadas con un contorno azul).



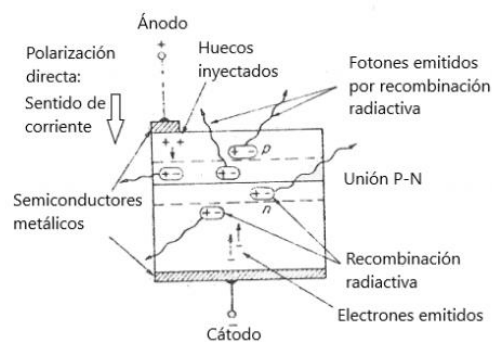
*Figura 3.1.- Esquema resumen de la descomposición de las luminarias LED.*

### 3.1.- El Chip LED: Principio de funcionamiento y principales tipologías

#### 3.1.1.-Definición y principio de funcionamiento

Los LEDs son chips formados por pares de semiconductores dopados con impurezas, de tal forma que constituyen una unión P-N. Emiten energía en forma de fotones luminosos al aplicarles una tensión eléctrica suficiente (conocida como tensión de codo) capaz de hacer circular corriente eléctrica a través de ellos y es característica propia de los materiales

semiconductores que los conformen. Cuando circula corriente a través de los semiconductores, los electrones ubicados en la región N o cátodo cruzan la barrera potencial y se recombinan con los huecos de la región P o ánodo. Ya que la energía de los huecos es menor que la energía de los electrones, cuando se recombinan, la energía sobrante es emitida en forma de calor y luz tal y como puede observarse en la *Figura 3.2*, cumpliendo de tal forma el principio de conservación de energía. Este fenómeno de emisión de luz por un sólido excitado en un campo electrostático es conocido como electroluminiscencia.



*Figura 3.2.- Corte transversal de LED ilustrando fenómeno de electroluminiscencia [4].*

La producción de los diferentes colores de luz emitidos por el diodo y en particular la obtención de luz blanca, el cual es el tipo de luz utilizado habitualmente para aplicaciones de alumbrado, depende los materiales semiconductores con los que se fabrica el chip LED. Para una ampliación de información acerca de la producción de luz, así como su fabricación y modos de montaje, puede consultarse en *Anexos A.1, A.2 y A.3*.

### 3.1.2.-Tipologías de LEDs comunes en el mercado

Dependiendo de sus montajes y características, puede hacerse una clasificación general de los LEDs más utilizados actualmente en tres grandes tipologías, con aplicaciones totalmente diferenciadas [11]:

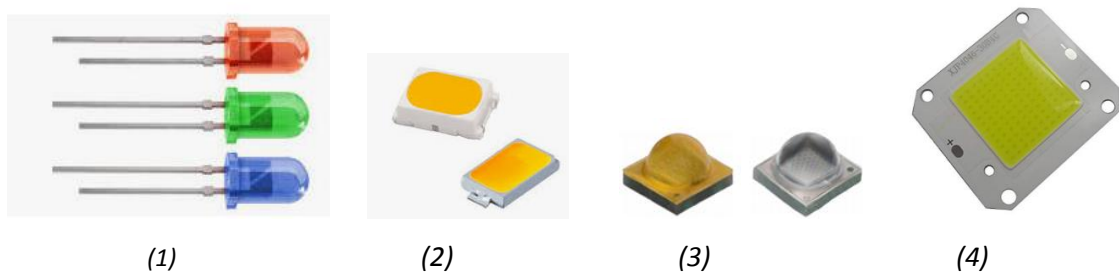
- Los denominados **LEDs de baja potencia o "DIP"** son utilizados como indicadores, ya que no producen suficiente flujo luminosos como para iluminar una zona. Son ampliamente utilizados en aplicaciones como sistemas de control o automóviles gracias



a características propias de los LEDs como son larga vida útil sin degradación ante ciclos de encendido y apagado o bajo consumo. Este tipo de LED se encuentra ilustrado en la *Figura 3.2 (1)*.

- **Los LEDs SMD** son un tipo de diodo emisor de luz de montaje en superficie, se encuentran encapsulados en una resina semirrígida para procurarles resistencia al polvo y golpes. Este tipo de LEDs permite la inclusión de hasta tres diodos o núcleos en el mismo chip, lo que permite el uso del sistema RGB para la producción de distintos colores si se precisa (detallado en *Anexos A.1*). De este tipo de montaje de LEDs puede realizarse una subdivisión claramente existente, ya que según la potencia que son capaces de alcanzar pueden variar de aspecto y propiedades:
  - **Los LEDs SMD de baja potencia** poseen una potencia inferior a 1 Vatio por unidad y son ampliamente utilizados en iluminación interior, habitualmente dispuestos en tiras y bombillas. Entre los chips LED SMD de baja potencia puede encontrarse una gran variedad en el mercado, siendo los más comunes los 3528 y 5050. No obstante, se puede destacar también el diodo 3030, el cual es el que mejores prestaciones ofrece en mercado para este tipo de LEDs en la actualidad. Con una potencia capaz de superar el Vatio por chip, estos LEDs SMD 3030 son la última evolución para este tipo de montaje, suponiendo nuevas aplicaciones de uso para estos orientadas a luminarias de elevada potencia en alumbrado interior y exterior.
  - **Los LEDs SMD de alta potencia** son el tipo de LED más potente en la actualidad, que suele encontrarse comprendida entre 1 y 3 W. Su uso se encuentra muy extendido en iluminación exterior. Poseen habitualmente una mayor eficacia que los LEDs SMD de baja potencia generales y una mejor disipación de calor. No obstante, estas observaciones generales son cuestionadas por las mejores prestaciones de las últimas innovaciones en chips SMD de baja - media potencia, los SMD 3030. La *Figura 3.2 (3)* muestra este tipo de LEDs SMD de alta potencia.

- **Los LEDs COB**, cuyas siglas en inglés significan chip en placa, se encuentran formados por un conjunto más elevado de diodos LEDs adheridos directamente a un sustrato por el fabricante para crear un único módulo, de mayores dimensiones. Posee una elevada amplitud de ángulo (de hasta 160 grados) alcanzado una alta intensidad lumínica, además de disipar mejor el calor que los SMD de baja potencia en términos generales, ya que son menos compactos. En la actualidad, su uso se encuentra muy extendido en iluminación a baja y media potencia en pequeños dispositivos como teléfonos móviles. Habitualmente, en fabricación de luminarias se limita en proyectores de hasta 50 W. La *Figura 3.2 (4)* ilustra este tipo de LEDs.



*Figura 3.2.- Tipos de chips LED: (1) LEDs tipo DIP, (2) chip tipo SMD de baja potencia, (3) chip de alta potencia y (4) chip tipo COB (DE 50W).*

El motivo por el cual los diodos SMD de alta potencia y los SMD 3030 se están utilizando en la actualidad en luminarias LED de elevada potencia, sustituyendo a los chips LED COB que se utilizaban tradicionalmente para este tipo de luminarias, es debido a la ineficiente gestión térmica y, por tanto, al sobrecalentamiento que se produce en estos últimos a elevados niveles de potencia, lo que afecta significativamente a su vida útil (produciéndose reducciones del flujo luminoso de hasta el 50% en 100000 horas, periodo de tiempo habitual de vida útil) y rendimiento. Este hecho puede visualizarse en la *Figura 3.3*, donde se observa mediante escala de colores la disipación de calor que se produce en un chip COB y en un módulo de chips SMD (conjunto de chips que conforman una fuente luminosa, concepto comentado en el *subcapítulo 3.2*). Es observable que ante la mayor concentración que existe en la fuente luminosa del chip COB se produce una disipación térmica menos eficiente que en un módulo LED de chips SMD donde la producción de calor se encuentra más uniformemente repartida [12]. Por este motivo, los LEDs SMD de alta potencia y los

LEDs SMD 3030 de baja - media potencia poseen en la actualidad un uso muy extendido en proyectores y campanas de alta potencia, ofreciendo unas propiedades muy competitivas en términos de rendimiento, costes económicos y vida útil.

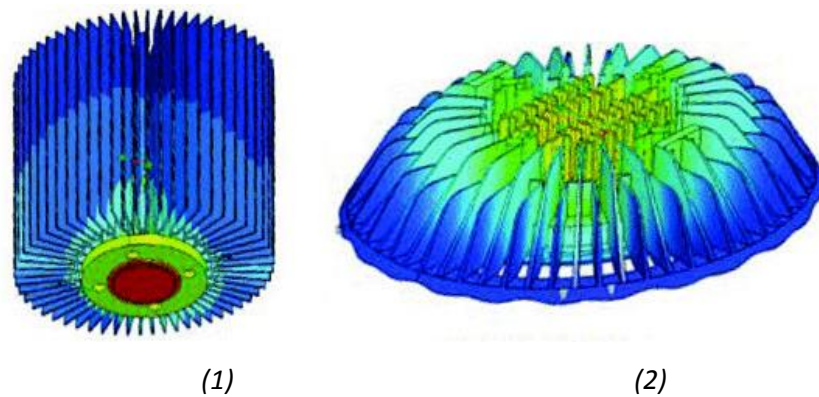


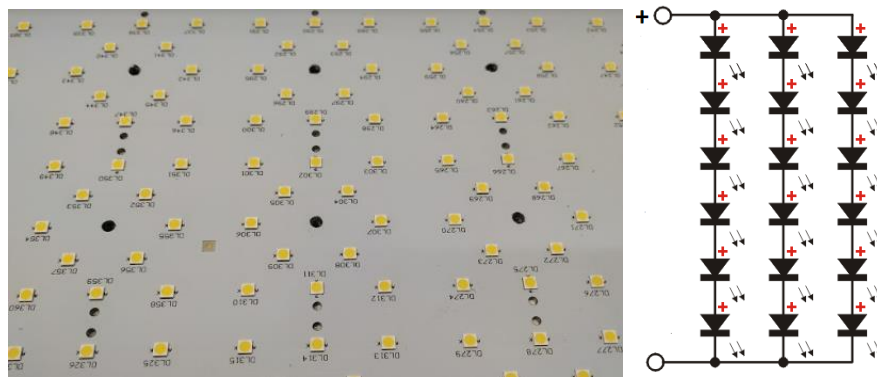
Figura 3.3.- Disipación térmica en campanas industriales con la misma potencia: (1) Chip COB con disipador y (2) módulo de chips SMD con disipador.

Como puede observarse por lo comentado en el párrafo anterior, la disipación térmica juega un papel crucial en las luminarias LEDs, ya que afecta a factores fundamentales como es la vida útil de la luminaria y eficacia (factor descrito en el *subapartado 4.1*). Es necesario tener en cuenta en todo lo posible un diseño adecuado de todos los elementos que conforman la luminaria para mejorar las condiciones de disipación térmica. Uno de los elementos principales para la gestión térmica es el uso de disipadores, elementos aleteados fabricados con metales de alta conductividad térmica como es el aluminio para realizar un eficiente intercambio de calor con el aire ambiente. Estos elementos son acoplados a la luminaria LED y son representados en la *Figura 3.3* anterior.

### 3.2.- Módulos LED

Todas las tipologías mencionadas en el *subcapítulo 3.2* excepto los LED DIP han sido diseñadas para la fabricación de luminarias LED. Su aplicación ha sido posible gracias a la conexión en serie y paralelo de estos montados en placas de circuito impreso (PCBs), de tal forma que cada LED produce y consume la misma luminosidad y potencia respectivamente para alcanzar la potencia global requerida en la luminaria en cuestión (explicado más

detalladamente en el *subapartado 3.3.2*). Al garantizar con esto unas condiciones de trabajo similares para todos los LEDs, los diodos ofrecerán las mismas prestaciones y trabajarán en conjunto como una fuente emisora de luz única. A este tipo de disposición se le denomina módulos LED o matrices de LEDs, representada en la *Figura 3.4*.



*Figura 3.4.- Módulo LED: Placa PCB con matriz de LEDs SMD 3030 montados para un proyector de alta potencia y esquema de matriz de LEDs.*

Las luminarias de módulos LED son las más modernas y avanzadas tecnológicamente en el mundo de la iluminación en la actualidad, se encuentran en proceso de sustitución de un gran número de luminarias convencionales y suele ser el tipo de instalación de iluminación utilizado para nuevas obras. La *Figura 3.5* muestra cómo, para cada una de las tipologías de chips LED utilizadas para alumbrado comentados en el *subcapítulo 3.2*, son conectados para la obtención de una luminaria con las características deseadas.



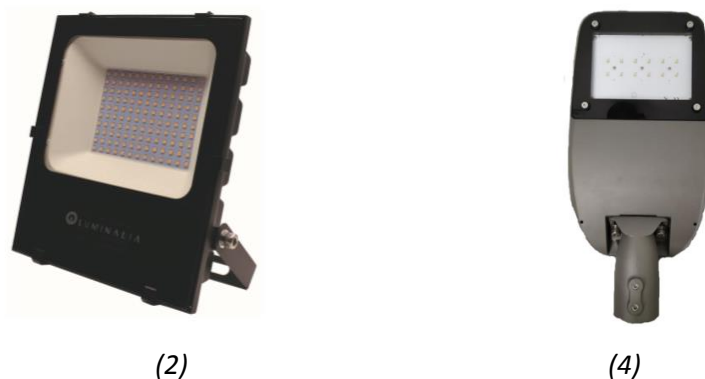


Figura 3.5.- Aplicaciones de diferentes de tipos de LEDs en luminarias: (1) Tira LED de 14,4W/m con LEDs SMD 5050, (2) proyector de 150W fabricado con LEDs 3030, (3) bombilla de 10W con LEDs COB y (4) luminaria vial de 40W con LED SMD de alta potencia.

Los proyectores LED de alta potencia, los cuales, gracias a las matrices de LEDs pueden utilizar cualquier tipo de chip LED con capacidad para alumbrado, son el tipo de luminarias que se utilizarán en el presente proyecto para la instalación de la iluminación artificial de los campos de fútbol profesionales de estudio.

Existen en la actualidad un gran número de nuevas tecnologías LED en proceso de desarrollo. Se encuentran orientadas a la mejora de prestaciones y sus nuevas características amplían su uso a diferentes aplicaciones hasta ahora inauditas para los LEDs, como puede ser en el uso de pantallas de televisión flexibles. En *Anexos A.4* puede encontrarse la descripción de algunas de estas nuevas tecnologías LED.

### 3.3.- Alimentación de los LEDs: *Drivers*

#### 3.3.1.- Necesidad de los *drivers*

Para que el funcionamiento de los LEDs se lleve a cabo de forma correcta es necesario la utilización de fuentes de alimentación que conviertan el formato de la energía eléctrica proveniente de cualquier tipo de suministro a uno idóneo para la alimentación de los LEDs. Ya sea este proveniente de la red eléctrica general (corriente alterna (CA) cuyas tensiones y frecuencias varían según la localización geográfica como muestra la *Figura 3.6*) o de cualquier otro tipo de suministro eléctrico, el cual puede ser de corriente constante (CC).

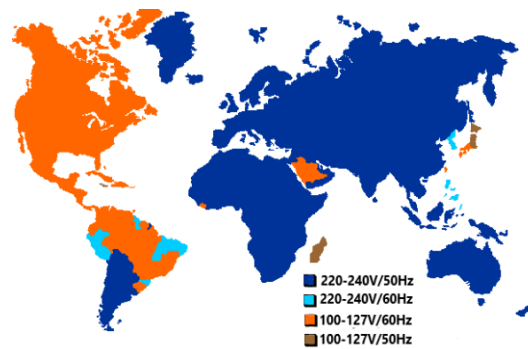


Figura 3.6.- Diferentes tipologías de redes de distribución eléctrica en el mundo.

El formato de la energía suministrada a los LEDs debe implicar que bien la tensión o la corriente deben estar reguladas y ser de CC. Regular la tensión o la corriente dependerá del número de cadenas de LEDs en paralelo. Además, dicha regulación debe asegurar valores estables y bien definidos de tensión o corriente, dada la sensibilidad del flujo de luz emitido por los LEDs a las variaciones de las variables eléctricas aplicadas.

La fuente de alimentación diseñada específicamente para alimentar los LEDs son los llamados controladores o “drivers”, equipo fundamental para el correcto funcionamiento de los LEDs. La Figura 3.7 muestra un driver común y los formatos de energía de entrada y salida.



Figura 3.7.- Tensión de suministro eléctrico de entrada (red de distribución europea), driver y tensión típica de salida del driver.

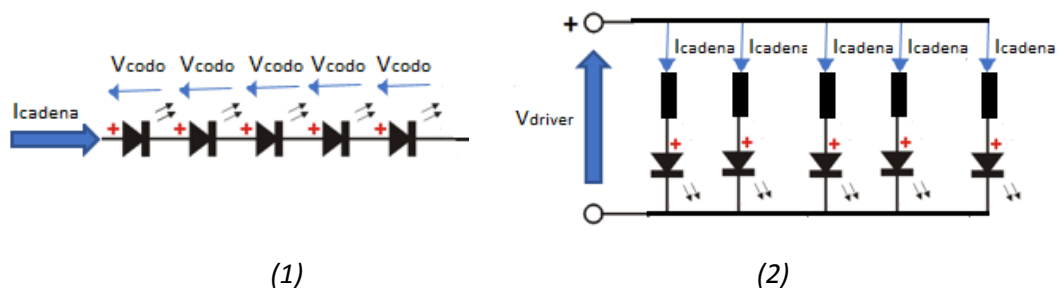
### 3.3.2.-Tipos de fuentes de alimentación

Un análisis de las principales topologías existentes en el mercado puede ser consultado en Anexos A.5. No obstante, esta no suele ser una variable de decisión para los fabricantes de

luminarias LED en la elección del *driver* más adecuado. Factores determinantes para la elección del *driver* a utilizar son su coste y sus prestaciones en términos de rendimiento, potencia máxima admisible, tensiones de entrada y salida, *flicker* o parpadeo (definido en el *subcapítulo 4.3*), etcétera.

Además de utilizar un *driver* que cumpla con los requisitos establecidos por el fabricante, y según como sea la configuración dada del módulo, debe de tomarse la decisión respecto a la variable de control a la salida:

- Mantener constante la corriente, permitiendo una variación de la tensión suministrada para adaptarse al módulo (utilizado para alimentar LEDs individuales y cadenas únicas de LEDs tal y como se muestra en la *Figura 3.9 (1)*, donde la corriente suministrada por el *driver* es la que atraviesa cada LED ( $I_{cadena}$ ) y la tensión suministrada por este se adapta a la suma de *todas las  $V_{codo}$  de la cadena*).
- Regulación a tensión constante, dejando la variable de corriente adaptable al módulo en cuestión (cuya aplicación viene justificada para configuraciones de LEDs en paralelo y como muestra la *Figura 3.9 (2)*, donde la tensión suministrada por el *driver* es constante y la corriente suministrada es la suma de cada una de las cadenas que componen el módulo LED).



*Figura 3.9.- Alimentación del módulo LED: (1) Mediante corriente constante y (2) Mediante tensión constante.*

El primer modo de alimentación ofrece ventajas frente al segundo. Por una parte, no sufre posibles variaciones aleatorias de corriente (ya que es la variable fijada) y por tanto el flujo luminoso, muy sensible a los cambios de corriente, no sufrirá variaciones. Por otra parte,

el uso de tensión constante con la existencia de cadenas en paralelo es debido a su facilidad de implantación. Las cadenas en paralelo conllevan el uso de ecualizadores, tal y como muestra la Figura 3.9 (2), ya que minimizan el efecto de las pequeñas diferencias aleatorias entre resistencias internas de los chips y las pérdidas de tensión producidas en la longitud del conductor. Una explicación más detallada sobre las ventajas y consecuencias de la fijación de corriente o tensión puede ser consultada en *Anexos A.6*.

### 3.3.3.-Sistemas de comunicación: Control de los LEDs

Debido a la versatilidad que ofrecen los LEDs utilizados en iluminación en función de la corriente que los atraviesa, el control de los niveles de referencia para la regulación mediante diferentes sistemas de comunicación con el circuito de mando del *driver* ofrece un amplio rango de posibilidades para diferentes aplicaciones. Algunos de los sistemas de comunicación más utilizados son el 1-10V, DALI o el DMX (descritos en *Anexos A.7*), en ocasiones vinculados con dispositivos auxiliares que aportan información útil del entorno como son las células fotosensibles o relojes crepusculares (mostrados en la *Figura 3.10*). Todo el conjunto de la instalación se encuentra orientado a la creación de sistemas de tele gestión más cómodos, automatizados y eficientes, siguiendo la misma línea de evolución tecnológica de otros sectores [22].



*Figura 3.10.- Ejemplos de equipos auxiliares dirigidos al control del driver: (1) Interruptor crepuscular y (2) reloj astronómico.*



## 4.- Definición de propiedades en luminarias

Es necesario reconocer una serie de conceptos que definen características propias de la luz emitida por cualquier tipo de fuente emisora de luz, así como factores para tener en cuenta debido a sus posibles efectos adversos sobre los seres vivos. El organismo que define en primera instancia los conceptos relacionados con la fotometría y colorimetría es la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE). Por otro lado, para la fuente de alimentación LED posee una serie de efectos cuantificables y limitados por normas tanto mundiales (Comisión electrotécnica internacional (IEC)) como por normas nacionales y europeas equivalentes (normas UNE-EN).

### 4.1.- Propiedades fotométricas

**1. El flujo luminoso** es la potencia de luz percibida por el ser humano y su unidad de medida en el Sistema Internacional es el lumen (lm). Para la obtención del flujo luminoso, es necesario ponderar y sumar la potencia para cada longitud de onda con la función de luminosidad que representa la sensibilidad del ojo humano mostrado en la fórmula (4.1).

$$\phi_{luminoso} (lm) = K \int_{\lambda_{visible}} \phi_{radiante}(\lambda) * V(\lambda) * d\lambda \quad (4.1)$$

Donde  $\phi_{radiante}(\lambda)$  es el flujo radiante espectral emitido por la fuente luminosa y  $V(\lambda)$  representa la función de sensibilidad luminosa para cada longitud de onda del ojo humano.

Partiendo de este concepto base, se deriva la magnitud de **iluminancia (E)**, el cual es el flujo luminoso que incide sobre una superficie por unidad de la misma. Es expresada en el Sistema Internacional como lux.

$$Iluminancia (lux) = \frac{\phi_{\acute{u}til}(lm)}{S(m^2)} \quad (4.2)$$

Donde  $\phi_{\acute{u}til}$  es el flujo luminoso emitido por la fuente luminosa y  $S$  es la unidad de superficie en la que incide el flujo.

Este es un parámetro muy utilizado para caracterizar las condiciones de iluminación de un determinado entorno donde, según la orientación de la superficie de incidencia del flujo respecto al observador acarrearán diferentes consecuencias para la visión humana o cámara (vertical, normal y horizontal). No obstante, su discusión detallada se realizará en el *subcapítulo 5.1* junto con los criterios de normativa que hallan de superar al respecto.

**2. La eficacia luminosa** utiliza el concepto del flujo luminoso visible producido dividiéndolo respecto a la potencia eléctrica consumida. Utilizando las unidades del Sistema Internacional de ambas magnitudes la eficacia luminosa viene determinada en lúmenes/Vatio y es representada por la fórmula (4.3).

$$Eficacia \left( \frac{lm}{W} \right) = \frac{\phi_{\acute{u}til}(lm)}{P(W)} \quad (4.3)$$

Donde  $\phi_{\acute{u}til}$  es el flujo luminoso emitido por la fuente de luz y  $P$  es la potencia eléctrica consumida.

Esta característica es uno de los parámetros principales para las luminarias, ya que define el rendimiento de la luminaria. Cabe mencionar que la eficacia de las lámparas es mayor que la eficacia final de la luminaria debido a una serie de pérdidas producidas por los distintos componentes de la luminaria. Un análisis detallado de las pérdidas se puede consultar en *Anexos E.3*. Debido a estas pérdidas de flujo luminoso, nace el concepto de  $\eta_{luminaria}$  como la relación de flujo luminoso útil respecto al total emitido por la fuente luminosa dado por la fórmula (4.4).

$$\eta_{luminaria} = \frac{\phi_{\acute{u}til}(lm)}{\phi(lm)} \quad (4.4)$$

**3. La intensidad luminosa** se define como la cantidad de flujo luminoso emitido por una fuente de luz por unidad de ángulo sólido. Este parámetro es expresado mediante la unidad candela (cd) en el Sistema Internacional.

$$I_{luminosa}(cd) = \frac{d\phi(lm)}{d\Omega(^{\circ})} \quad (4.5)$$

De esta propiedad se deriva el concepto de **luminancia (L)**, el cual se define como la cantidad de flujo luminoso que incide o emerge de una determinada superficie en dirección normal a una posición concreta (denominada superficie aparente), habitualmente considerada el punto de vista del observador. Esta puede observarse en la *Figura 4.1 (2)*, donde puede verse claramente la diferencia con la iluminancia (*Figura 4.1 (1)*). El parámetro es representado por la fórmula (4.6).

$$\text{Luminancia} \left( \frac{cd}{m^2} \right) = \frac{I_{luminosa}(cd)}{S * \cos \alpha (m^2)} \quad (4.6)$$

Donde  $\alpha$  es el ángulo de la dirección concreta respecto al plano de superficie (representado en la *Figura 4.1 (2)*).

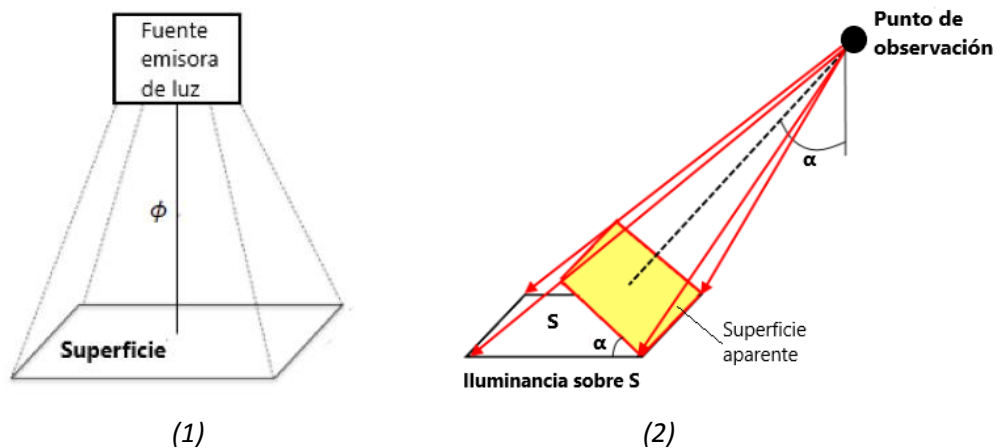
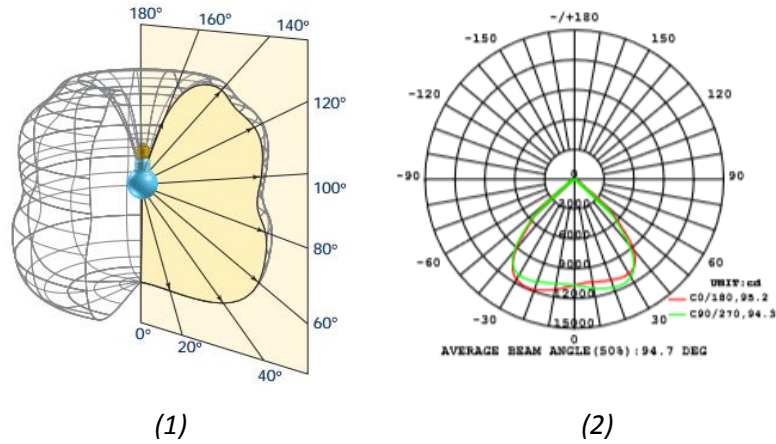


Figura 4.1.- (1) Representación de la iluminancia y (2) representación de la superficie aparente para el cálculo de la luminancia.

**4. La curva fotométrica** es otro parámetro consecuencia de la intensidad luminosa, muy utilizado para caracterizar la luz emitida por luminarias, que consiste en la representación gráfica en función de sus coordenadas polares y en dos dimensiones la distribución de la intensidad luminosa producida por una fuente emisora de luz.

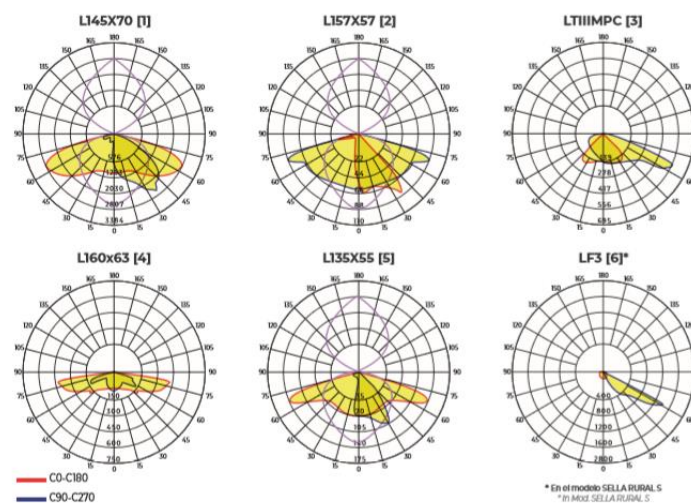
En realidad, la representación producida por las coordenadas de intensidad luminosa, dadas por planos verticales e inclinación respecto a la vertical forman el volumen del sólido fotométrico que se observa en la *Figura 4.2 (1)*. Sin embargo, ante la dificultad de la representación en tres dimensiones, la curva polar es representada en el plano transversal

(0° de inclinación respecto a la vertical) y longitudinal (90° de inclinación respecto a la vertical) como muestra la *Figura 4.2 (2)*.



*Figura 4.2.- (1) Representación del sólido polar en tres dimensiones de intensidad lumínica. (2) Curva fotométrica representada por curvas polares en dos dimensiones.*

Para esta propiedad, el factor más relevante que actúa sobre el resultado de curva fotométrica es el uso de diferentes lentes. Debido a su geometría (formada por zonas cóncavas y convexas) y mediante fenómenos de refracción, modifican la distribución del flujo luminoso emitido. La *Figura 4.4* muestra algunos ejemplos de curvas fotométricas con el uso de diferentes lentes para una misma luminaria LED.

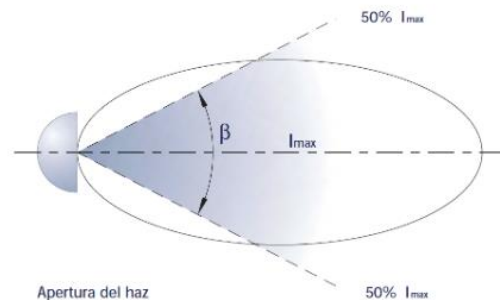


*Figura 4.3.- Ejemplos de diferentes curvas fotométricas disponibles según el tipo de lente utilizada para aplicación vial.*

**5. La apertura del haz de luz** es una caracterización de la distribución fotométrica. A partir de estas curvas y el tipo de luminaria, como pueden ser viales o proyectores, se pueden definir parámetros representativos útiles para identificar sus características. Para el caso que atañe a la instalación de iluminación campos de fútbol, los proyectores tienen como parámetro representativo esta apertura del haz de luz.

Según la CIE, una forma de clasificar los proyectores se basa en categorizar el haz de luz como muestra la *Tabla 4.1* en un solo plano para distribuciones de luz simétricas, mientras que es necesario categorizar dos planos (horizontal y vertical) para distribuciones de luz asimétricas. El haz de apertura del proyector se define como la suma de los ángulos de apertura desde el eje central (el cual es el que define la intensidad luminosa máxima) a ambos lados donde se alcanza el 50% de la intensidad luminosa máxima tal y como muestra la figura asociada a la *Tabla 4.1*.

Tipo	Categoría	Apertura
Haz estrecho	NN	< 5°
	N	5° - 10°
	1	11° - 18°
Haz medio	2	19° - 29°
	3	30° - 46°
Haz ancho	4	47° - 70°
	5	71° - 100°
	6	101° - 130°
	7	> 130°

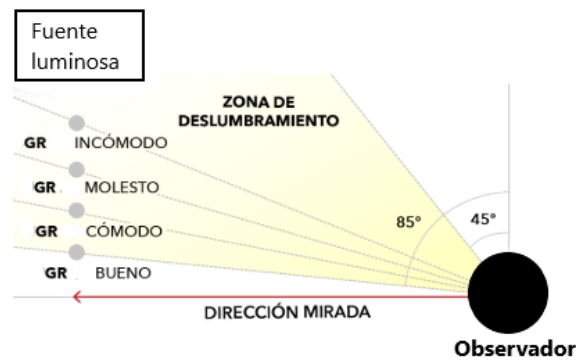


*Tabla 4.1.- Tabla de categorías de la distribución de luz en proyectores según CIE.*

**6. El flujo luminoso emitido al hemisferio superior ( $FHS_{INST}$ )** es un parámetro debido a la dispersión del flujo luminoso emitido. Ha de ser tenido en cuenta especialmente en iluminación exterior, reduciéndolo en todo lo posible, ya que afecta directamente a la contaminación lumínica del cielo nocturno (según la normativa del IDAE, este flujo no debe exceder un 3% para la mayoría de las tipologías de vías públicas (de ME1 a ME6) y no superar el 1% donde la contaminación lumínica constituya una preocupación).

**7. El deslumbramiento** es un fenómeno por el cual pueden producirse molestias y disminuir la capacidad de visualización para los seres vivos. Este es producido por la emisión

de flujo luminoso directamente hacia el campo visual como muestra la *Figura 4.4*, de forma indirecta por la posición de las luminarias y factor de reflexión sobre la superficie donde incide la luz o debido a la existencia de grandes contrastes de luz.



*Figura 4.4.- Deslumbramiento directo según la posición del observador.*

La cuantificación del grado de deslumbramiento que produce una determinada fuente luminosa difiere según el ámbito de aplicación. Estos son el Índice de Deslumbramiento Unificado (UGR) para interiores, el Incremento de Umbral (TI) para las calzadas o el Índice de Deslumbramiento (GR) para iluminación de escenarios exteriores en general. Para el caso que atañe en el presente proyecto, es de aplicación este último factor de **Índice de Deslumbramiento (GR, "Glare Rating")**.

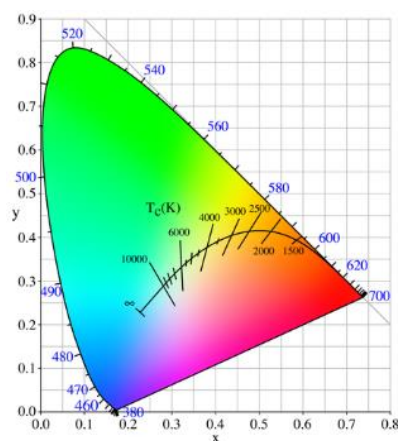
El procedimiento de cálculo empírico es definido por las normas CIE112:1994 y EN 12464-2 es detallado en *Anexos B.1*. No obstante, el valor GR se encuentra comprendido entre 10 y 90, siendo considerado un GR de 10 inapreciable de forma cualitativa y entre 80 y 90 muy elevado e insoportable. La normativa vigente limita el valor de GR según cada caso particular de aplicación, siendo menor de 45 para los casos más restrictivos.

Tanto el flujo luminoso total, la eficacia, la intensidad lumínica, la curva fotométrica y el  $FHS_{INST}$  se obtienen de forma experimental realizando un ensayo, ya que la geometría de la carcasa y demás propiedades de todos los componentes de la luminaria pueden influir en los parámetros. Además, con el uso de estos parámetros y mediante el software de cálculo luminotécnico descrito en el *capítulo 8*, se hallarán los parámetros de iluminancia, luminancia y GR para la escena del campo de fútbol particular.

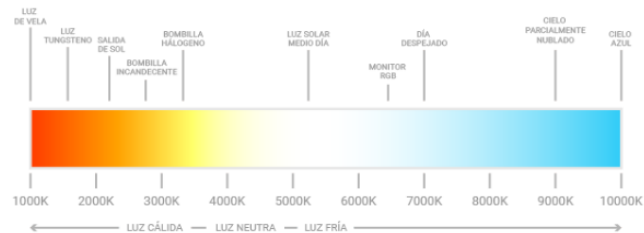
## 4.2.- Propiedades colorimétricas

**8. Las coordenadas cromáticas** de una determinada luz están definidas por el espacio de color de CIE 1931. Este expresa numérica y gráficamente mediante coordenadas “x” e “y” todos los colores perceptibles por el ojo humano a partir de la combinación de los 3 colores primarios rojo, verde y azul para un determinado valor de brillo fijado. En el caso de luz de color blanca, como se puede observar en el diagrama de cromaticidad de la *Figura 4.5 (1)*, se halla entremezclando los 3 colores (el cual es el modo de producción de luz blanca mediante el sistema RGB). La tonalidad de esta luz blanca es definida por su CCT (temperatura de color correlacionada) y se encuentra definida en una cierta región del espacio de color, representado en la propia figura.

**9. La temperatura de color correlacionada (CCT)** de una luz blanca es el color equivalente de una fuente de luz comparada con el que emitiría un cuerpo negro cuando se calienta a una determinada temperatura, expresada en Kelvin. En una clasificación establecida por la norma UNE-EN 12464-1, una luz es considerada cálida cuando posee un CCT menor de 3300 K, fría cuando posee un CCT superior a los 5300 K y en un rango intermedio entre ambos valores se categoriza como una temperatura de color neutra. En la *Figura 4.5 (2)* puede observarse la escala de luz blanca según su CCT.



(1)



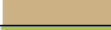













(2)

*Figura 4.5.- (1) Espacio de color de CIE 1931. (2) Escala de temperatura de color correlacionada CCT.*

**10. El índice de reproducción cromática (IRC)** mide la capacidad de una determinada luz para reproducir los colores de una superficie respecto de los obtenidos a partir de una luz ideal (luz del Sol). Definiendo la calidad y fidelidad de reproducción de la luz emitida en un rango de 0 a 100, siendo este último el nivel máximo alcanzable.

Para hallar el valor de la calidad de la luz, se compara el resultado colorimétrico obtenido del uso de la luz a estudiar frente a la información colorimétrica obtenida respecto de una fuente de luz ideal para ocho muestras cromáticas correspondientes a diferentes colores de baja saturación establecidos por el reglamento CIE 13.3 (1995). Con ellos se calcula el índice de reproducción general de color Ra (IRC8). No obstante, para la obtención de un valor más preciso, en la publicación de CIE 2004 [24] se define la utilización de un muestreo más ampliado (IRC14) que, además de los recogidos en el Ra de 8 muestras, incluyen 6 muestras cromáticas más. La *Tabla 4.2* recoge los muestreos cromáticos utilizados para la obtención del IRC8 y IRC14.

Muestra cromática	Descripción cromática bajo foco de luz ideal	Color	Muestra cromática	Descripción cromática bajo foco de luz ideal	Color
TCS01 - R1	Rojo verdoso claro		TCS09 - R9	Rojo intenso	
TCS02 - R2	Amarillo grisáceo oscuro		TCS10 - R10	Amarillo intenso	
TCS03 - R3	Verde amarillo intenso		TCS11 - R11	Verde intenso	
TCS04 - R4	Verde claro amarillento		TCS12 - R12	Azul intenso	
TCS05 - R5	Verde claro azulado		TCS13 - R13	Rosa amarillento claro	
TCS06 - R6	Azul claro		TCS14 - R14	Verde oliva suave (plantas)	
TCS07 - R7	Violeta claro				
TCS08 - R8	Lila rojizo claro				

*Tabla 4.2.- Muestreo cromático para cálculo del índice de reproducción cromática.*

**10. La curva de distribución de energía espectral** es aquella que muestra la relación existente entre la energía emitida respecto a la longitud de onda de la radiación. Este tipo de curvas da información gracias a la forma de distribución que posea, como es la variación de eficacia según situaciones diurnas o nocturnas y la temperatura de color correlacionada a grandes rasgos. Un ejemplo de ello es la *Figura 4.6*, donde el alto contenido de energía en onda corta (color azul) permite deducir que se trata de una luz de CCT fría.



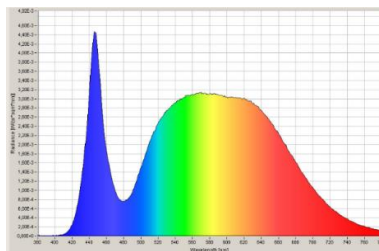


Figura 4.6.- Curva de distribución de energía espectral de un LED de 6000 K.

Para hallar las propiedades colorimétricas de una determinada luminaria se realiza un ensayo espectroscópico para verificarlas, además de que, al igual que para las propiedades fotométricas, sus propiedades pueden variar respecto a las de fabricación debido a componentes de la luminaria y a sus condiciones de funcionamiento.

### 4.3.- Propiedades del *driver*

Los aspectos comentados anteriormente son generales para la luz emitida por cualquier tipo de luminaria. Sin embargo, si se concreta para las luminarias LED, cuyo uso conlleva la utilización de los *drivers*, existen una serie de factores en términos eléctricos para tener en cuenta.

**11. El parámetro *flicker* (FF)** se define como un parpadeo (cambios de intensidad luminosa en cortos periodos de tiempo) que se produce a causa del rizado de la tensión/corriente de salida en el *driver* que alimenta a los LEDs. Cuando esta señal de salida no es perfecta, que sucede en los casos en los que se ha realizado una conversión de CA de suministro a la necesaria CC, puede producirse un cierto rizado de tensión a baja frecuencia (menor de 200 Hercios) que provocará una variación en la corriente proporcionada por el *driver* traducido en el parpadeo a causa de la variación del flujo luminoso emitido por los diodos LEDs debido a su elevada sensibilidad. El nivel máximo de *flicker* producido se encuentra limitado por la norma de compatibilidad electromagnética UNE-EN 61000-3-3 para situaciones de alumbrado, así como el procedimiento para la realización del ensayo.

Existen principalmente dos modos de cuantificar el *flicker*, mediante los indicadores de corta (Pst) y larga duración (Plt) definidos por la norma UNE-EN 61000-3-3 o mediante

porcentaje de variación del máximo y mínimo de luz emitida. Ambos métodos de cuantificación de *flicker* son descritos detalladamente en *Anexos B.2*.

Los efectos que posee el *flicker* para la salud pueden dividirse en dos grandes grupos [27]: En primer lugar, se encuentran los efectos inmediatos de la exposición al parpadeo en frecuencias perceptibles por el ojo humano (entre 3 y 70 Hz), como son los ataques epilépticos. En un segundo grupo se incluyen los efectos debidos a una exposición continuada a mayores frecuencias (entre 70 y 200 Hz), como son dolor de cabeza, mareos y malestar. Ante estos preocupantes efectos producidos por los parpadeos, pronunciados en el tipo de iluminación LED frente al convencional, existe una continua investigación en la búsqueda de sistemas “*flicker-free*” para tecnología LED más eficientes.

**12. El factor de potencia (FP)** es una de las características más relevantes del equipo *driver* ya que define su rendimiento. Este factor es la relación de potencia activa (P), la cual es la energía eléctrica útil que se necesita para el funcionamiento de los LEDs, y potencia aparente (S), la cual es la energía total consumida por la luminaria de matriz de LEDs.

La potencia aparente está constituida por la propia corriente activa, por la corriente reactiva, consecuencia del ángulo entre la corriente y la tensión en CA, y las corrientes armónicas creadas por cargas no lineales tal y como puede observarse en la fórmula (4.7). Para una explicación más detallada es posible consultar *Anexos B.4*.

$$f.d.p = \frac{P}{|S|} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} \quad (4.7)$$

La optimización del factor de potencia es otro de los factores para tener en cuenta, ya que la normativa de compatibilidad electromagnética ENERGYSTAR exige que el factor de potencia alcance 0,7 en luminarias de uso residencial y 0,9 en luminarias de uso comercial. Debido a esto, los circuitos de corrección de factor de potencia (CFP) son imprescindibles en la topología de los *drivers*. Actualmente se sigue investigando en busca de nuevas topologías que ofrezcan mayores prestaciones y ventajas que los existentes [28] [29].

## 5.- Comprobación de normativa en la situación inicial

### 5.1.- Normativa aplicable

La norma europea UNE-EN 12193 trata las exigencias de iluminación para instalaciones deportivas de todas las tipologías existentes, garantizando una iluminación suficiente que permita una correcta visualización para desarrollar la actividad deportiva que se trate. La *Tabla 5.1* muestra los niveles de iluminancia exigidos y recomendados por la normativa cuando existe retransmisión televisiva para cualquier tipo de instalación deportiva.

#### RECOMENDACIONES DE ILUMINACIÓN PARA EVENTOS TELEVISADOS

VALORES DE ILUMINACIÓN EN EL PLANO HORIZONTAL SEGÚN NORMAS UEFA			
NÚMERO DE ESPECTADORES	< 10.000	< 20.000	>20.000
DISTANCIA DEL CENTRO DEL CAMPO AL ESPECTADOR MÁS LEJANO	130M	150M	180M
ILUMINANCIA MEDIA			
NIVEL MÍNIMO ACEPTABLE	150LX	250LX	400LX
NIVEL MÍNIMO RECOMENDADO	250LX	400LX	800LX
ILUMINANCIA VERTICAL MEDIA MANTENIDA PRESCRITA POR UNI 9316/89 PARA RETRANSMISIONES TV EN COLOR			
CLASE	IMPORTANCIA	EN DIRECCIÓN A LA CÁMARA PRINCIPAL	EN OTRAS DIRECCIONES
1	DE IMPORTANCIA INTERNACIONAL	2.500LX	1.700LX
2	DE IMPORTANCIA NACIONAL	1.500LX	1.000LX
3	DE IMPORTANCIA LOCAL	800LX	500LX

*Tabla 5.1.- Requerimientos en iluminación según las normas UEFA [30].*

Sin embargo, las exigencias lumínicas de la norma anterior se antojan insuficientes para la propuesta de calidad digital de retransmisión televisiva para el fútbol profesional que se pretende. Con esta motivación, el 26 de julio de 2018 la Comisión Directiva del Consejo Superior de Deportes aprobó el Reglamento para la Retransmisión Televisiva de la Liga Nacional de Fútbol Profesional [31], dentro del cual se describen las condiciones a cumplir en las infraestructuras e instalaciones de los estadios profesionales. Estas normas son de más restrictivo que las anteriores y de carácter obligatorio, conllevando sanciones económicas en caso de incumplimiento.

Ya que la iluminación artificial del estadio implica un impacto directo sobre la calidad de la imagen de televisión, se establecen los objetivos mínimos a cumplir para garantizar un alto estándar de calidad digital. Las *Tablas 5.2* recogen los requerimientos pertinentes para Primera División (requerimientos de televisión en HD) y para Segunda División, cuyo contenido e implicaciones son comentados a continuación.

1ª División, Requerimientos HD			2ª División, Requerimientos.		
ILUMINANCIA VERTICAL EN DIRECCIÓN A LAS DISTINTAS CAMARAS FIJAS (12)	Iluminancia Vertical a 1,5 Mts	Ev Med 1,500 Lux	ILUMINANCIA VERTICAL EN DIRECCIÓN A LAS 12 CAMARAS FIJAS	Iluminancia Vertical a 1,5 Mts	Ev Med 1,100 Lux
	Uniformidades a Camara	Min/Med 0,65		Uniformidades a Cámara	Min/Med 0,6
		Min/Max 0,4			Min/Max 0,4
ILUMINANCIA HORIZONTAL, MEDIDA A LA ALTURA DEL TERRENO DE JUEGO	Iluminancia Horizontal	Ev Med 2,000 Lux	ILUMINANCIA HORIZONTAL, MEDIDA A LA ALTURA DEL TERRENO DE JUEGO	Iluminancia Horizontal	Ev Med 1,500 Lux
	Uniformidades	Min/Med 0,7		Uniformidades	Min/Med 0,7
		Min/Max 0,6			Min/Max 0,5
TEMPERATURA DE COLOR		De 5,000 a 6200° K	TEMPERATURA DE COLOR		De 5,000 a 6200° K
REPRODUCCIÓN CROMATICA (RA/IRC)		CRI ≥80 Norma IEC/TR 62732, CRI ≥90 normativa anterior	REPRODUCCIÓN CROMATICA (RA/IRC)		CRI ≥80 Norma IEC/TR 62732, CRI ≥90 normativa anterior
DESLUMBRAMIENTO (GR)		≤50	DESLUMBRAMIENTO (GR)		≤50
FACTOR DE MANTENIMIENTO	Descarga	0,8	FACTOR DE MANTENIMIENTO	Descarga	0,8
	Led	0,9		Led	0,9
FLICKER (FF)		<20% Med <30% Max	FLICKER (FF)		<20% Med <30% Max

(1)

(2)

*Tabla 5.2.- Tablas extraídas del Reglamento de Retransmisión televisiva sobre los requerimientos a cumplir en (1) Primera y (2) Segunda División.*

El Reglamento también incluye recomendaciones de iluminación para la retransmisión de partidos en 4k, ya que es el estándar de televisión que se está imponiendo en la máxima categoría y cuyos requerimientos son más exigentes. Estas recomendaciones pueden consultarse en *Anexos C.1*.

Focalizándose en las exigencias obligatorias para 1º y 2º División, se destaca la existencia de una limitación de parámetros lumínicos completa. Respecto a las propiedades colorimétricas, se encuentran acotadas en un relativamente amplio rango de temperatura de color, categorizada como luz blanca fría, de entre 5000 y 6200 K. Por otra parte, existe una elevada exigencia de calidad de reproducción cromática, cuantificada con un  $Ra \geq 90$  y  $IRC \geq 80$ , este importante requerimiento es justificado para garantizar una reproducción de los colores de alta precisión y ha de tenerse muy en cuenta en la selección del LED para el

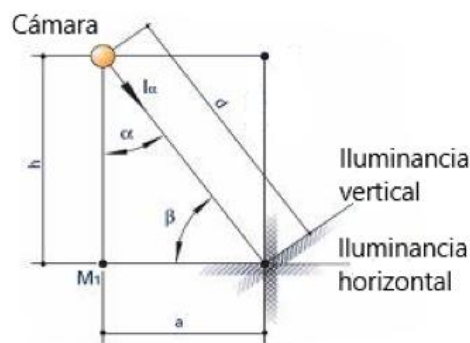
proyector. Por otro lado, se exige un índice de deslumbramiento GR admisible de  $GR \leq 50$ , semejante a la normativa aplicable a escenas deportivas similares. Por último, se limita el parpadeo a una variación menor al 20% de forma media y menor a un 30% de forma máxima, la cual es una exigencia notable y procura limitar en gran medida este efecto, por lo que el *driver* seleccionado debe ser capaz de garantizar un *flicker* mínimo. Además, se requiere que exista una uniformidad de temperatura de color del 100%, es decir, se exige que la temperatura de color de todos los proyectores sea idéntica.

Respecto a los parámetros fotométricos en términos de iluminancia exigen unos valores de iluminancia media determinada para el terreno de juego, expresados en lux ( $lux = \frac{\text{lúmenes}}{m^2}$ ), así como la exigencia de unas uniformidades de iluminancia mínimas. Cabe mencionar que los requerimientos se antojan exigentes, mayores para Primera que para Segunda División, y para una altura de colocación de los proyectores elevada (especificada en el *subapartado 5.2*), será necesaria una elevada potencia en la instalación total. Según se indica en la normativa, el cálculo de los valores de iluminancia debe realizarse a la altura del terreno de juego para la dirección horizontal y a una altura de 1,5 metros para los valores de iluminancia en dirección a las cámaras fijas que posee el estadio. Será necesario la realización de un estudio luminotécnico para justificar el cumplimiento de los niveles y uniformidades lumínicas, haciendo uso del factor de degradación o factor de mantenimiento que garantiza el alcance de los valores calculados en el estudio durante un determinado periodo de tiempo. Este factor es establecido por la propia normativa, siendo 0,9 para las luminarias LED y 0,8 para luminarias con lámparas de descarga (justificado por una menor degradación en las luminarias LED).

Para campos de fútbol no profesionales en los que no existe retransmisión televisiva, solamente es exigido por normativa el cumplimiento de parámetros relacionados con iluminancia horizontal, los cuales se consideran suficientes para la visualización tanto de los deportistas como de los espectadores. La necesidad del cálculo de iluminancia en dirección a las cámaras fijas del estadio (también conocida como iluminancia vertical), es debido a que, como ya se ha comentado en el *subcapítulo 4.1*, la iluminancia depende de

la superficie de incidencia que se está analizando, teniendo diferentes consecuencias o efectos según la orientación de este respecto al observador. La norma UNE EN 12193 establece que las instalaciones deportivas deben tener una relación entre iluminancia horizontal y vertical de entre el 50% y 200%. Ambas iluminancias son representadas en la *Figura 5.1*, donde se puede observar que la iluminancia horizontal no depende del observador (cámara), mientras que la posición de esta sí afecta a la iluminancia vertical.

Es conveniente mencionar que, además de los niveles medios de iluminancia exigidos en un determinado nivel por los motivos citados anteriormente, la uniformidad de iluminancia en el terreno debe es también exigida para reducir la necesidad de adaptación constante del observador, tanto para deportistas y espectadores como para cámara.



*Figura 5.1.- Representación de la iluminancia horizontal y vertical respecto a cámaras fijas.*

En la cuestión de iluminación de emergencia para la retransmisión televisiva, el Reglamento exige que los proyectores utilizados en la iluminación del campo sean de reencendido en caliente para garantizar, al menos, el nivel de iluminancia a cámara principal de 800 luxes en caso de un posible apagón. Además, el tiempo de entrada en funcionamiento del sistema de iluminación de emergencia no debe exceder los 2 segundos.

## 5.2.- Situación actual del campo de fútbol de estudio: Estadio Carlos Tartiere

El campo de fútbol de estudio para la realización de la renovación de la instalación de iluminación es el Carlos Tartiere, estadio perteneciente al ayuntamiento de Oviedo y donde

actualmente disputa sus partidos el Club de la capital del Principado de Asturias Real Oviedo.

En una revisión de las instalaciones a renovar, se contabilizan 192 focos de la marca Osram, modelo POWERSTAR HQI-TS (el cual es ilustrado en la *Figura 5.2*), con una potencia de 2000 W, constituyendo de tal forma una instalación de 384000 W. Este tipo de focos son lámparas de descarga de cuarzo de halogenuros metálicos cuya temperatura de color es de 6100 K. Los proyectores se encuentran ubicados en la cubierta del estadio, a una altura de entre 34 y 37 metros, ya que la cubierta es curva alrededor del terreno de juego, de tal forma que varía su altitud. Los proyectores se encuentran dispuestos tal y como muestra la *Figura 5.3* con la siguiente distribución:

- Gradas laterales Oeste y Este (Presidencial y Tribuna): 80 proyectores (x2).
- Proyectores en los fondos (Norte y Sur):
  - Esquina Oeste: 8 unidades (x2).
  - Esquina Este: 8 unidades (x2).

Actualmente, 17 proyectores se encuentran fundidos y ninguno de ellos posee un sistema de reencendido en caliente.



*Figura 5.2.- Lámpara Osram POWERSTAR HQI-TS utilizada para la iluminación artificial del campo y reflector.*

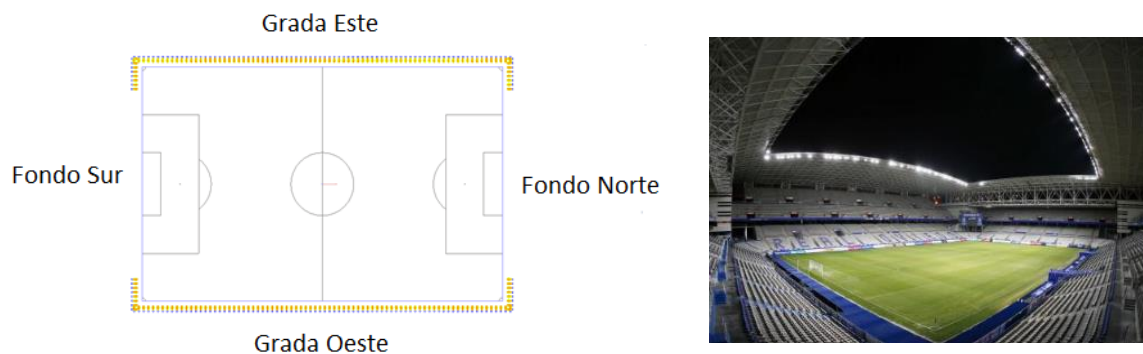


Figura 5.3.- Distribución de los focos para iluminación artificial en el estadio Carlos Tartiere.

La Liga de Fútbol Profesional (LFP) realiza mediciones anuales para comprobar si las exigencias establecidas son cumplidas en los estadios de los equipos pertenecientes a Primera y Segunda División. Las pruebas de iluminancia se realizan mediante un sistema de muestreo de 35 puntos distribuidos por el terreno de juego con un luxómetro manual. Las Tablas 5.3 reflejan los resultados obtenidos de la medición realizada en términos de iluminancia media, mínima y máxima expresada en luxes, tanto en dirección horizontal como vertical a cámaras fijas, además de las distintas uniformidades, las cuales son el factor de uniformidad medio y extremo. Se utilizará la nomenclatura  $U_1$  y  $U_2$  para expresar estas uniformidades y son calculadas con las fórmulas (5.1) y (5.2). La ubicación concreta de todas las cámaras se especifica en el subapartado 8.1, no obstante, de forma resumida, las cámaras fijas se encuentran ubicadas bajo la segunda grada, a una altura aproximada de 11,5 metros, y a una distancia del borde del terreno de juego de aproximadamente 23 metros para todas las cámaras en las distintas posiciones (véase la Figura 5.4).

$$U_{\text{media}} = U_1 = \frac{E_{\text{mínima}}}{E_{\text{media}}} \quad (5.1)$$

$$U_{\text{extrema}} = U_2 = \frac{E_{\text{mínima}}}{E_{\text{máxima}}} \quad (5.2)$$

Iluminancia Horizontal		Iluminancia Vertical a Cámara Principal	
Eh media (lux)	1385	Ev media (lux)	952
Eh mínima (lux)	630	Ev mínima (lux)	290
Eh máxima (lux)	2150	Ev máxima (lux)	1700
Uh 1	0,45	Uv 1	0,3
Uh 2	0,29	Uv 2	0,17



Iluminancia Vertical a Cámara Opuesta		Iluminancia Vertical a Cámaras de Fondos	
Ev media (lux)	963	Ev media (lux)	623
Ev mínima (lux)	320	Ev mínima (lux)	340
Ev máxima (lux)	1730	Ev máxima (lux)	1030
Uv 1	0,33	Uv 1	0,55
Uv 2	0,18	Uv 2	0,33

Tabla 5.2.- Tablas de las propiedades de luminancia horizontal y vertical a cámaras fijas del campo de fútbol de Carlos Tartiere.



Figura 5.4.- Ubicación de las cámaras fijas de televisión del estadio Carlos Tartiere.

Como alternativa al reencendido en caliente y como sistema de emergencia, el estadio está dotado de un sistema de alimentación ininterrumpida (SAI), el cual es un dispositivo que, ante un posible apagón, es capaz de alimentar a cierto número de proyectores gracias al uso de baterías u otros elementos almacenadores de energía. No obstante, el sistema se encuentra conectado a 12 proyectores, los cuales no proporcionan la iluminación de emergencia necesaria (un mínimo de 800 luxes en iluminancia a cámara principal). En todo caso, el dispositivo SAI instalado en el estadio posee una capacidad de alimentación de 60 KVA (lo que equivale a 60000 W, 30 proyectores de los actualmente instalados), la cual es una potencia insuficiente como para alimentar el número necesario de proyectores que permitirían alcanzar los valores mínimos de iluminancia de emergencia.

Con ánimo de incluir el cumplimiento de las exigencias de Segunda División, categoría en la que milita actualmente el Club, y ante una previsión de futuras temporadas en Primera División, cuya normativa posee mayor exigencia en términos de iluminación como se pudo comprobar en el *subcapítulo 5.1* anterior, se comprueba que el cumplimiento de exigencias de Primera División, los cuales son los requerimientos objetivos para cumplir.

- Ninguno de los requerimientos en términos de iluminancia horizontal y vertical en dirección a cámaras es cumplido, quedando aproximadamente un 40% por debajo de los valores exigidos respecto a nivel de iluminancia media y unas uniformidades con valores de un 50% inferiores a las requeridas.
- A cerca de las propiedades colorimétricas, el índice de reproducción cromática es inferior al exigido. Solamente la temperatura de color se encuentra en el rango válido (6100K) y el hecho de que todos los focos sean idénticos aseguran la uniformidad de temperatura al 100%.
- Finalmente, y como ya se ha comentado, el dispositivo SAI que posee instalado el estadio no es capaz de alcanzar el nivel de iluminancia de emergencia exigido y, al no tener equipos de reencendido en caliente, no es capaz de cumplir los requerimientos de emergencia.

Se llega a la conclusión por tanto que la necesidad de la reforma de la instalación de iluminación es necesaria, ya que los requerimientos no son cumplidos en ninguno de sus aspectos. Las tablas comparativas de cada uno de los parámetros hallados y requeridos pueden ser consultadas en *Anexos C.2*.

## 6.- Tecnología LED como iluminación del campo

Con vistas al cumplimiento de las exigencias expresadas en la normativa citada anteriormente, se estudiará objetivamente la utilización de proyectores LED en la iluminación de los campos de fútbol frente a las diferentes opciones que ofrece el mercado.

Las alternativas convencionales que existen en el mercado son las lámparas de descarga. Ya que sus características permiten alcanzar altas potencias, hacen que este tipo de tecnología haya sido ampliamente utilizada para la iluminación exterior y de instalaciones deportivas. Dentro de las propias lámparas de descarga, según el gas contenido y la presión a la que está sometido en estas, se pueden clasificar en diferentes tipologías con diferentes características. Las lámparas de descarga comparadas serán los halogenuros metálicos (los más ampliamente utilizados), lámparas de vapor de sodio de alta presión y lámparas de vapor de mercurio de alta presión.

**Ventajas de la iluminación LED en campos de fútbol:** Para realizar la comparativa, se mencionan las principales ventajas en términos generales que posee la tecnología LED frente a las mencionadas lámparas de descarga alternativas [32] [33].

- **Mayor eficacia luminosa:** Como ya se ha mencionado en el *subcapítulo 4.1*, el rendimiento luminoso de una fuente es determinada por la luz visible producida respecto a la potencia eléctrica consumida. En una luminaria convencional, las pérdidas son principalmente debidas a la producción de calor y de flujo fuera del espectro visible por el ojo humano, lo que se traducen en pérdidas por radiaciones invisibles de luz infrarroja y ultravioleta [34] tal y como puede observarse en la *Figura 6.1 (1)*. Los motivos por los que el rendimiento luminoso de las luminarias LED es mayor que de las lámparas de descarga convencionales son debidos a unas pérdidas por producción de calor muy inferiores y que no existen pérdidas por radiaciones invisibles, ya que puede producirse un control muy preciso de la longitud de onda emitida por el LED [35]. No obstante, existen ciertas pérdidas producidas por el necesario uso de la fuente de alimentación. Todas estas pérdidas son representadas en la *Figura 6.1 (2)*.

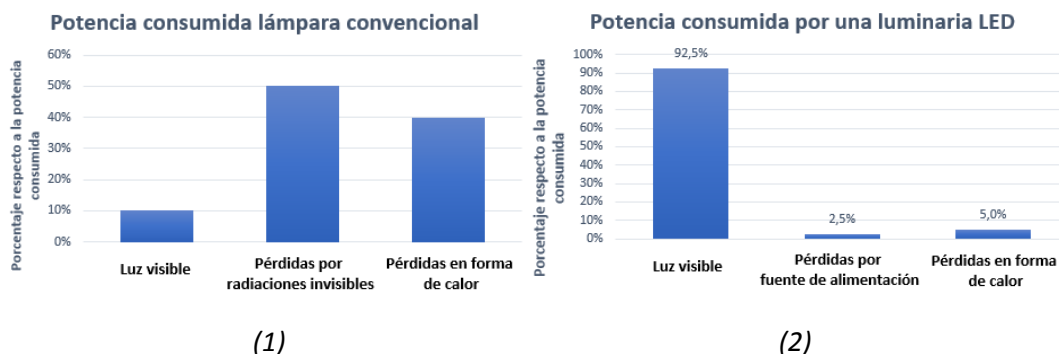


Figura 6.1.- Diagramas de factores de consumo de potencia eléctrica: (1) en una luminaria convencional y (2) en una luminaria LED.

De tal forma, la *Tabla 6.1* recoge las eficacias de los diferentes tipos de lámparas de descarga [36] y la tecnología de estudio LED. Se puede observar como la eficacia proporcionada por los proyectores de tecnología LED puede llegar a ser, según en qué caso, mucho más elevada que los demás proyectores disponibles en el mercado, suponiendo mejores rendimientos.

Comparativa de eficacia	
Lámpara	Eficacia (lm/W)
Vapor de mercurio de alta presión	40 - 65
Halogenuros metálicos	70 - 90
Vapor de sodio de alta presión	80 - 140
LED	70 - 180

Tabla 6.1.- Tabla comparativa de eficacia de distintos tipos de lámparas de descarga y lámpara LED.

Para el caso que atañe al proyecto, donde la potencia de instalación es del orden de 400 kW, unas eficacias más elevadas como es en la tecnología LED pueden suponer importantes ahorros económicos debido al número de proyectores y es una alternativa más concienciada con la eficiencia y ahorro energético.

- **Larga vida útil:** En comparación con las lámparas de descarga, la vida útil de los módulos LED puede alcanzar unos valores muy superiores como muestra la *Tabla 6.2*, lo que conlleva un menor gasto en mantenimiento. Ha de tenerse en cuenta, no obstante, un

diseño óptimo de disipación de calor del interior de la luminaria LED y el uso de *drivers* que aseguren un control preciso de la tensión de alimentación para obtener unas condiciones de funcionamiento idóneas en los LEDs y así garantizar su larga vida útil.

Comparativa de vida útil	
Lámpara	Vida útil (h)
Vapor de mercurio de alta presión	12000
Halogenuros metálicos	10000
Vapor de sodio de alta presión	15000
LED	100000

Tabla 6.2.- Tabla comparativa de la vida útil de distintos tipos de lámparas de descarga y lámparas LED.

- **Encendido prácticamente instantáneo y reencendido en caliente:** Mientras que las lámparas de descarga requieren de entre 5 y 20 minutos para alcanzar su flujo luminoso máximo, el tiempo necesario del LED para alcanzar su nivel máximo luminoso es menor de medio segundo (teniendo en cuenta los equipos que componen la luminaria).

Además, la capacidad de reencendido en caliente de los LEDs frente a la necesidad de equipos auxiliares para poder realizarlo en lámparas de descarga hace que las condiciones de emergencia se encuentren totalmente cubiertas con esta característica propia de los LEDs. Una explicación más detallada sobre este aspecto y en general de la problemática de las lámparas de descarga puede ser consultada en *Anexos D*.

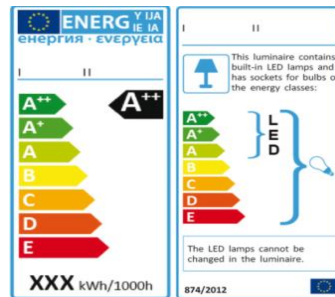
- **Gran variedad en las propiedades colorimétricas:** Particularizando para los LED blancos, se puede encontrar un rango de temperaturas de color mucho más extenso que en las lámparas de descarga. Visualizando la *Tabla 6.3*, se pueden descartar las lámparas de vapor de mercurio y sodio de alta presión ya que emiten un flujo luminoso con una temperatura de color cálida, fuera del rango validado por normativa (5000 - 6200K). Solamente las lámparas LED y de descarga de halogenuros metálicos poseen la capacidad producir la temperatura de color requerida.

Por otra parte, el índice de reproducción cromática (IRC) también mostrado en la *Tabla 6.3* impide el uso de lámparas de vapor de mercurio y sodio de alta presión, ya que no son capaces de reproducir los colores con la suficiente precisión según normativa (IRC  $\geq 80$ ). Nuevamente, las lámparas de descarga de halogenuros metálicos y LED son las únicas alternativas que tienen la capacidad de cumplir la nueva normativa.

Comparativa de CCT e IRC		
Lámpara	CCT (K)	IRC
Vapor de mercurio de alta presión	3200 – 4000	40
Halogenuros metálicos	3000 – 6000	60 – 90
Vapor de sodio de alta presión	2500	25
LED	2700 – 6500	Hasta 99

*Tabla 6.3.- Tabla comparativa de distintos tipos de lámparas de descarga y lámparas LED.*

- **Mejora ecológica:** El buen rendimiento energético del LED sumado a considerarse una tecnología luminosa limpia ofrece otra ventaja competitiva en este tipo de tecnología frente a las lámparas de descarga. Además, la venta de lámparas de vapor de mercurio de alta presión ha sido prohibida en 2015 [38], ya que el mercurio es un contaminante extremadamente tóxico que afecta al medioambiente y a la salud pública.



*Figura 6.4.- Etiqueta común de una luminaria LED que certifica su elevada eficiencia.*

Ante la comparativa realizada, solamente las lámparas de descarga de halogenuros metálicos y los LEDs son capaces de cumplir con la normativa aplicable a los campos de fútbol. Actualmente, el uso de los halogenuros metálicos se encuentra más extendidos como iluminación en campos de fútbol que la iluminación LED ya que su comercialización ha sido anterior a estos últimos. No obstante, las mejores prestaciones que ofrece la tecnología LED la convierten como la mejor alternativa en la implementación del alumbrado para una renovación integral o nuevas obras de sistemas de iluminación.

## 7.- Fabricación de luminarias LED

Una vez conocida la situación inicial que posee el campo, alejado significativamente del cumplimiento de la normativa objetivo y ya argumentadas las importantes ventajas que ofrece la iluminación LED para el caso que atañe, se realizará el diseño y la fabricación del proyector LED modelo Tapia que será utilizado para el sistema de iluminación.

En el proceso de construcción de las luminarias LED pueden distinguirse tres bien diferenciadas etapas a realizar: Diseño de la luminaria (centrada básicamente en el diseño del módulo LED), fabricación de la luminaria en cuestión y comprobación de resultados técnicos mediante ensayos.

### 7.1.- Diseño y fabricación de la placa PCB

El modelo Tapia posee una carcasa y una serie de características propias del modelo que son inmutables. Sin embargo, según el entorno de uso y la normativa de aplicación, en especial para casos de elevada particularidad como es el presente en campos de fútbol profesionales, el diseño del modelo debe ser particular, seleccionando el modelo del chip y demás características con el objetivo de garantizar unas propiedades finales adecuadas del proyector LED.

#### 7.1.1.-Diseño de la placa PCB

La placa de circuito impreso (de cuyas iniciales en inglés se conoce como PCB), es una superficie cuya finalidad es conectar eléctricamente a través de pistas conductoras los diferentes componentes electrónicos, además de ejercer como soporte y base para ellos. A la hora diseñar la placa es necesario tomar una serie de decisiones como son seleccionar el tipo de LED que irá dispuesto en la placa, así como su configuración, el tipo de material con el que se fabrica el PCB y el modo de alimentación del *driver* a seleccionar. Estas son características del diseño son esenciales para cualquier luminaria LED, ya que factores como son la corriente eléctrica que reciben cada diodo LED de la placa o el rendimiento de

disipación térmica pueden variar considerablemente, encareciendo u optimizando las características finales del proyector en términos de especificaciones técnicas como la uniformidad de la iluminación, la eficacia de cada LED, su vida útil o el flujo emitido.

#### 7.1.1.1.- Selección de material de la placa PCB

En la actualidad, existen un gran número de posibles sustratos utilizados para la fabricación de la placa PCB, conformados por mono capas o multicapas con diferentes espesores, materiales y acabados cuyo objetivo es obtener una mejor disipación de calor y alta conductividad eléctrica de manera que aumenten las prestaciones finales de la luminaria.

Con el objetivo de fabricar un módulo LED de alta potencia (del orden de 400W), la producción de calor será notable. Por tanto, la selección de un material de sustrato de elevada conductividad térmica favorecerá la disipación de calor y será beneficioso para las propiedades finales del proyector. Se selecciona por tanto una placa MCPCB (conocida como IMC, placa de circuito impreso con núcleo metálico como se muestra en la *Figura 7.1*), cuyo uso para luminarias de alta potencia se ha ido incrementado [41], superando otros materiales convencionales como FR4 (fibras de vidrio embebidas en resina epoxi).



*Figura 7.1.- Material seleccionado para la fabricación del PCB (placa MCPCB de Aluminio).*

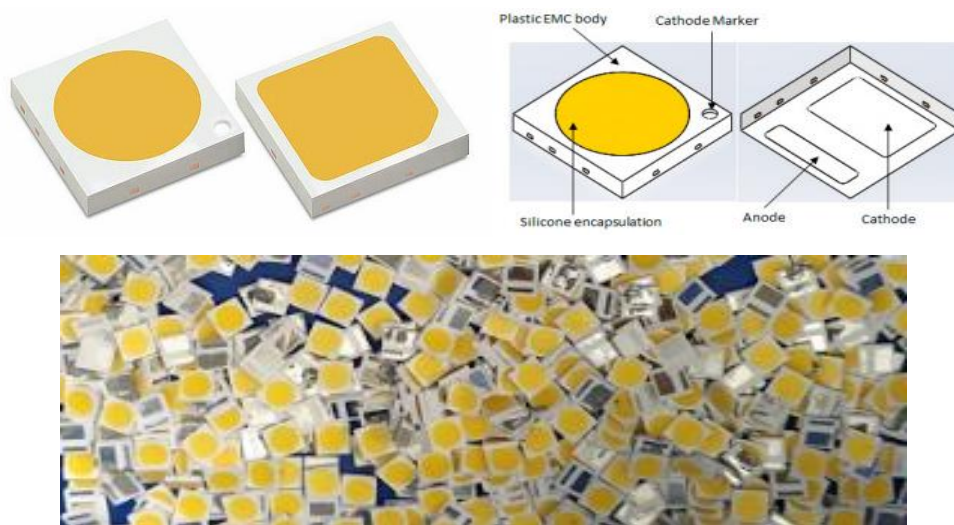
#### 7.1.1.2.- Selección de tipo y modelo de chip LED utilizado

Existen diferentes de tipologías de chips LEDs en el mercado que pueden ser utilizados para la fabricación de luminarias de tecnología LED como ya han sido descritas en el *subcapítulo*



3.1. En primera instancia, es necesario que los chips sean capaces de cumplir los requerimientos colorimétricos exigidos por normativa y, en segunda instancia, ofrecer un buen equilibrio entre prestaciones (en términos de eficacia y vida útil) y precio.

Entre los diferentes tipos y marcas que ofrece el mercado, se seleccionan los **LEDs SMD de media potencia modelo Luxeon 3030 2D de la marca Lumileds** mostrados en la *Figura 7.2*.



*Figura 7.2.- Chips LED Luxeon 3030 2D de Lumileds seleccionados para fabricación de proyectores Tapia.*

Este tipo de LEDs SMD 3030 son muy utilizados en la actualidad tanto para aplicaciones interiores como exteriores. Es especialmente relevante seleccionar el LED con la capacidad de proporcionar una temperatura de color e índice de reproducción cromática acorde con las necesidades establecidas, tal y como puede observarse en la *Tabla 7.1 (1)* de características generales del modelo. Además, es un modelo más económico que otras alternativas como serían LEDs de alta potencia con prestaciones similares. De tal modo, se considera una selección idónea entre las diferentes opciones que ofrece el mercado para el caso particular que atañe.

Principales características del LED Lumiled Luxeon 3030 2D	
Eficacia	120 - 180 lm/W
Alimentación máxima	300 mA
Tensión inversa máxima	5 V
Resistencia térmica	12 °C/W
Ángulo de apertura	140°
Coefficiente voltaje - temperatura (a 120 mA)	-2 mV/°C hasta -4 mV/°C
Voltaje (a 120 mA)	5,8 V - 6,6 V
Rango de temperatura de trabajo	- 40°C hasta 105°C
Temperatura de color (CCT)	2200 K - 6500 K
CRI	70, 80 y 90

(1)

Características específicas del modelo Luxeon 3030 2D seleccionado	
Modelo	Redondo
Número de serie	L130-5080003000W21
CCT Nominal	5000 K
Nuevo IRC	≥80
Flujo luminoso (65 mA)	67 lm
Eficacia luminosa (65 mA)	182 lm/W
Flujo luminoso (120 mA)	90 lm
Eficacia luminosa (120 mA)	157 lm/W

(2)

Tabla 7.1.- Principales características del modelo de LEDs utilizados para la fabricación de los proyectores, Luxeon 3030 2D.[42]

De entre la gama de LEDs pertenecientes al modelo Luxeon 3030 2D se selecciona un modelo que cumple las condiciones colorimétricas con un IRC mínimo de ≥80 (de 14 muestras, comentado en el *subcapítulo 4.2*) y un CCT de 5000 K. La *Tabla 7.1 (2)* muestra las características particulares del chip seleccionado, donde se observa la capacidad de este modelo de alcanzar una eficacia de hasta 182 lm/W, valor equivalente a los máximos rendimientos alcanzables en la actualidad, garantizando por tanto sus buenas prestaciones. En *Anexos E* es posible consultar una información más ampliada acerca del LED Luxeon 3030 2D facilitada por el fabricante.

### 7.1.1.3.- Definición de tipo de driver y configuración del módulo LED

Como ya se ha comentado en el *subcapítulo 3.3*, la configuración en la que vendrán dispuestos los LEDs define el modo de alimentarlos, mediante la fijación de la corriente que suministra el *driver* o mediante la fijación de la tensión.

Para el diseño de una placa con las características deseadas de aproximadamente 400 W con el tipo de LED seleccionado, una única cadena de LEDs sería excesivamente larga por el hecho de que se sobredimensionaría el *driver*, ya que la acumulación de todas las tensiones de cada uno haría necesario que este fuera capaz de suministrar aproximadamente  $2200 \text{ V} \left( 400 \text{ W} \times \frac{1 \text{ LED}}{1 \text{ W}} \times \frac{5,5 \text{ V}}{1 \text{ LED}} = 2200 \text{ V} \right)$ . Tal y como muestra la *Figura 7.3*, se opta por

una disposición de cadenas de LEDs en paralelo, de tal forma que la demanda de corriente y tensión sea equilibrada y capaz de ser suministrada por *drivers* comunes del mercado. La fuente de alimentación utilizada fijará la corriente para favorecerse de las ventajas que ofrece respecto a la fijación de la tensión de salida como se describió en el *subcapítulo 3.3*.

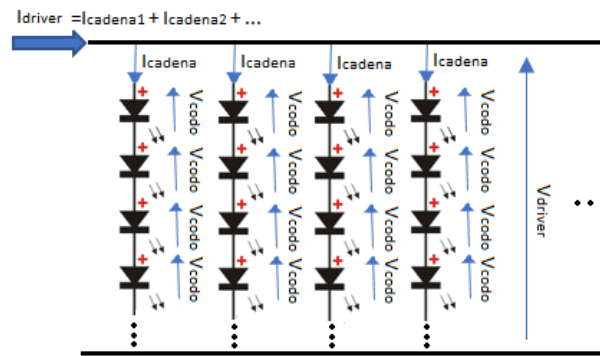


Figura 7.3.- Configuración de los LEDs en el proyector Tapia.

El diseño final de la placa, por tanto, está compuesto de 432 LED además de dos terminales para conectar el *driver*. La matriz de LEDs está conformada por 9 cadenas en paralelo constituidas por 48 chips cada una. Esta configuración ha sido optimizada con ensayos experimentales realizados a prototipos y ofrece los mejores resultados para módulos de un número tan elevado y de las características del LED seleccionado. Además, es necesario que los LEDs sean colocados de forma que se adapten a las lentes existentes en el mercado tal y como muestra la *Figura 7.4*, optimizando el espacio para minimizar en todo lo posible la geometría y peso del proyector.

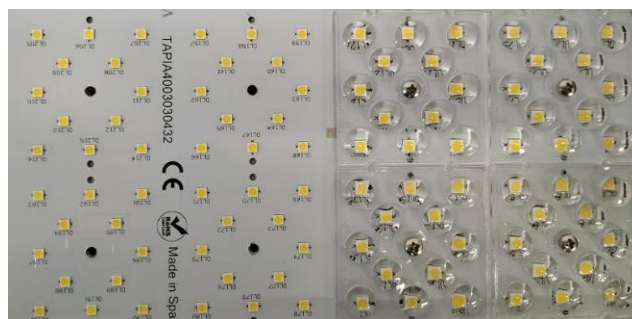


Figura 7.4.- Módulo PCB del modelo Tapia con lentes estandarizadas.

### 7.1.2.-Fabricación de la placa PCB

Una vez diseñada la placa PCB, se encarga a la empresa externa especializada 2CISA para la fabricación de la misma, con el material, espesores y disposición del diseño facilitado. En la Tabla 7.3 y sus figuras asociadas se muestran las principales características de la placa PCB utilizada para los módulos en cuestión.

Características PCB	
Configuración	Mono cara
Material del sustrato	COBRITHERM HTC 2W
Espesor del aluminio	1500 $\mu\text{m}$
Espesor del dieléctrico	130 $\pm$ 10 $\mu\text{m}$
Espesor del cobre	35 $\mu\text{m}$
Acabado	Níquel - oro electrolítico

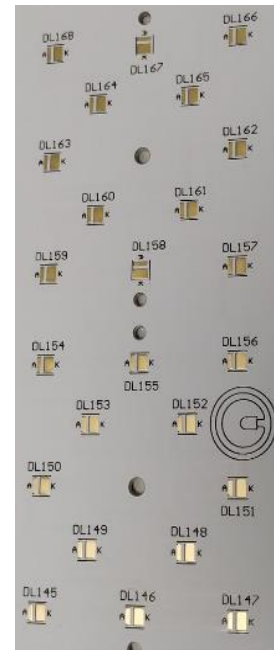
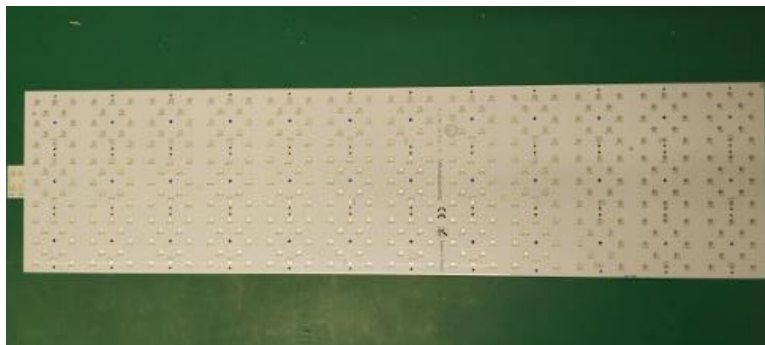


Tabla 7.3.- Características de la placa PCB utilizada en el proyector e imagen de la placa PCB completa y detalle.

### 7.2.- Fabricación de la luminaria

Sobre las placas PCB se montarán los chips mediante un proceso de fabricación para la producción de los módulos LED y, seguidamente, se realizará el ensamblado final de la luminaria con la carcasa y demás elementos del proyector final. A continuación, se detallan estos procesos y la maquinaria utilizada para la obtención final de la luminaria.

### 7.2.1.-Montaje del módulo LED

El proceso de producción del módulo LED se lleva a cabo en la propia fábrica de la empresa, que consiste en el montaje de los componentes electrónicos en el PCB. El tipo de proceso de producción utilizado se denomina *Surface-mount technology* (SMT). Este sistema SMT acelera el proceso de producción de circuitos electrónicos, ya que consiste en la colocación directa de los componentes electrónicos sobre las placas de circuito impreso, sustituyendo, en este caso de forma total, al tradicional método de fabricación de circuitos con componentes de agujero pasante que atravesaban la placa. En el modo de fabricación SMT, los dispositivos de montaje en superficie (SMD, "*Surface-mount device*"), poseen un tamaño más pequeño y las conexiones se realizan mediante contactos planos de terminales metálicos. La *Figura 7.5* muestran la maquinaria utilizada para el proceso de montaje.



*Figura 7.5.- Maquinaria del sistema SMT con el que se realiza el montaje del módulo.*

El procedimiento de montaje comienza con la aplicación de la pasta de soldadura, compuesta por flux y partículas de estaño. El uso de plantillas metálicas permite una precisa aplicación de la pasta sobre los terminales del circuito en la máquina de serigrafía (*Figura 7.6 (1)*). Seguidamente, tal y como muestra la *Figura 7.6 (2)*, una máquina de control numérico coloca mediante succión todos los componentes sobre la placa PCB en la posición y orientación requerida. Finalmente, el módulo es introducido en un horno de convención multi-zona (*Figura 7.6 (3)*), donde seguirá un ciclo de calentamiento y enfriamiento concreto capaz de soldar los componentes a la placa sin comprometer las características de estos. Para una descripción más detallada del proceso de montaje, así como los modelos de maquinaria utilizados particularmente, pueden ser consultados en *Anexos E.1*.



(1)

(2)

(3)

*Figura 7.6.- Proceso de montaje del módulo LED: (1) aplicación de pasta de soldadura, (2) colocación componentes sobre placa y (3) horno de convección.*

Ante el pequeño tamaño de los LEDs y demás componentes electrónicos que han de montarse sobre cada terminal de la placa PCB, el uso de las líneas automatizadas reduce tiempos y costos en fabricación además de lograrse montajes más precisos (del orden de décimas de milímetro).

## 7.2.2.-Ensamblaje del proyector

Una vez montado el módulo LED, la siguiente fase de fabricación se basa en el ensamblaje del módulo con las diferentes piezas y equipos que conformarán el proyector final.

### 7.2.2.1.- Ensamblaje de placa PCB con disipador y carcasa

En primer lugar, debe ensamblarse el módulo LED al disipador de calor y a la estructura externa del proyector tal y como muestra la *Figura 7.7*. Ante la importante necesidad de realizar una correcta disipación de calor para obtener las máximas prestaciones posibles, el uso de una pasta térmica conductora de silicona ayuda a la transferencia de calor desde la fuente emisora hasta el disipador de calor gracias a un elevado coeficiente de transferencia térmica  $\left(5 \frac{W}{mk}\right)$ .

Para este caso particular, el “housing” o carcasa posterior del proyector está diseñada como disipador térmico, fabricado de aluminio con fundición a alta presión inyectado. El hecho de que el propio “housing” actúe como disipador evita la necesidad de dos piezas independientes, disminuyendo el tamaño y peso total del proyector en cuestión.





(1)

(2)

Figura 7.7.- Imagen de la carcasa/disipador del proyector Tapia.

Para la obtención de proyectores con mayor potencia, con el uso de diferentes acoples es posible fabricar 3 modelos de proyector Tapia, conformados por 1, 2 y hasta 3 módulos idénticos y orientables independientemente tal y como se han fabricado hasta el momento. En *Anexos E.2* es posible visualizar si se desea una descomposición completa de todas las piezas que conforman el proyector además de sus planos. El *housing* y así como el resto de los componentes estructurales del proyector son adquiridos al proveedor externo Everlite.

Otro de los aspectos del ensamblaje a comentar es la colocación de las lentes ópticas (ensambladas en la *Figura 7.8*). Diferentes tipos de lentes fabricadas con metacrilato importadas del proveedor externo Ledil serán utilizadas para modificar la distribución fotométrica según sea requerido en la posición en la que se ubiquen en el campo de fútbol.



Figura 7.8.- PCB del proyector Tapia de un módulo ensamblado en la carcasa con lentes.

Además, por motivos de seguridad, todos los proyectores del modelo Tapia incorporan instalados en serie un protector contra sobretensiones de 10kV de la marca CPT cirprotec, con el fin de minimizar cualquier tipo de efecto ante descargas.

#### 7.2.2.2.- Ensamblaje del driver utilizado

Como se puede observar en la *Figura 7.9*, otro factor de diseño de la estructura para evitar el sobrecalentamiento de los LEDs de la luminaria es la separación del *driver* del módulo LED mediante un compartimento independiente para evitar la acumulación de calor generado tanto por los LEDs como por el *driver* en el módulo. Este diseño aislado es beneficioso también para el propio *driver*, ya que al no recibir el calor producido por el módulo LED de forma directa tendrá una menor temperatura ambiente y aumentará su vida útil.



*Figura 7.9.- Carcasa del proyector Tapia y compartimento independiente del driver.*

Respecto al *driver* a utilizar, debe ser capaz de suministrar una tensión y corriente suficiente para el módulo LED, así como ser capaz de cumplir los exigentes requerimientos en términos de *flicker*. Se selecciona un *driver* de la marca Invertronic, modelo EBC-430S140DV(SV) programable tal y como se muestra en la *Figura 7.10*.





Figura 7.10.- Modelo del driver EBC-430S140DV(SV) de la marca Inventronics utilizado en los módulos de los proyectores Tapia ensamblado.

Como ya se ha comentado en el diseño del módulo LED, este *driver* se basa en una alimentación mediante corriente constante (a 1400 miliamperios). Al estar formado por 9 cadenas de LEDs idénticas en paralelo, la corriente total suministrada por el *driver* se divide entre las cadenas, suministrando por tanto aproximadamente 155,56 mA a cada uno de los LEDs que, consultando el dato de 6 V entre extremos para este tipo de diodo LED en la *Tabla 7.1*, puede calcularse mediante la aplicación de la fórmula  $P = V * I$  (7.2) una potencia consumida por cada LED de más de 0,9W. Ya que el *driver* seleccionado es capaz de proporcionar una potencia de hasta 430W aproximadamente como muestra la *Tabla 7.4* de características del *driver*, será necesario introducir un driver por módulo en cada caso, utilizando 1, 2 y 3 *drivers* en proyectores Tapia de 1, 2 o 3 módulos respectivamente.

Características del driver EBC-430S140DV(SV)	
Alimentación de entrada	CA: 176 - 305 V / 47 - 63 Hz
Alimentación de salida	Corriente constante: 1400 mA Rango de voltaje: 195 - 300 V
Potencia máxima	430 W
Eficiencia total	0,94
Factor de potencia	0,95
Vida útil	10000 h a 25º
Grado de protección	IP67
Variación de tensión de rizado (<200Hz)	2%

Tabla 7.4.- Propiedades del driver EBC-430S140DV(SV) utilizado en los los proyectores Tapia.

## 7.3.- Comprobación de resultados lumínicos de la luminaria

Una vez finalizada la fabricación del proyector, es necesario realizar los ensayos fotométricos y colorimétricos pertinentes para obtener sus características finales, ya que las propiedades de la luz emitida deben de ser verificadas para la luminaria completa, y donde en este caso el diseño es particular para cumplir los requisitos del caso que atañe. Ejemplo de la variación de las propiedades respecto a las dadas por el fabricante son las pérdidas de eficacia en aproximadamente un 25% debido a la temperatura ambiente, corriente que atraviesa los LEDs, temperatura de color, *driver*, lentes y geometría de la carcasa y cristal de protección. Un análisis más minucioso de cada uno de los factores de pérdida de eficacia es posible ser consultado en *Anexos E.3*.

### 7.3.1.-Ensayos luminotécnicos de los proyectores

Existe un método estandarizado para la obtención de los parámetros característicos de las luminarias LED. Regulado por la norma UNE EN 13032-4, se definen los métodos de ensayo pertinentes para obtener las fichas técnicas de las lámparas LED, luminarias y módulos LED.

#### 7.3.1.1.- Ensayo fotométrico: Fotogoniómetro

El ensayo de basa en la utilización de un fotogoniómetro o gonifotómetro, el cual está formado por un goniómetro y un fotosensor. Según las distintas configuraciones normalizadas, mediante los dos ejes de giro del goniómetro donde se encuentra dispuesta la luminaria o mediante un fotosensor móvil, se realiza la esfera de coordenadas entorno a la luminaria completa, de tal forma que pueda medirse la intensidad lumínica emitida en cada ángulo de giro. La configuración con la que se realizará el ensayo se encuentra representada en la *Figura 7.11*.

Además, como según dicta la norma UNE EN 13032-4, es necesario realizar un proceso de calibrado de la luminaria frente al sensor, así como una monitorización de todas las variables ambientales y eléctricas, de tal forma que se garantice el correcto funcionamiento

durante todo el ensayo (representadas en las Figuras 7.12 (1) y (2)). Una descripción más minuciosa del procedimiento de ensayo, así como las diferentes configuraciones normalizadas del fotogoniómetro pueden ser consultadas en *Anexos E.4*.

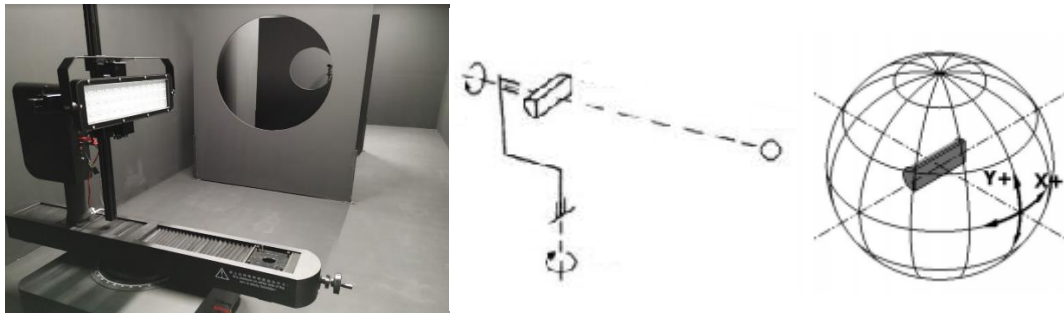


Figura 7.11.- Configuración del fotogoniómetro.

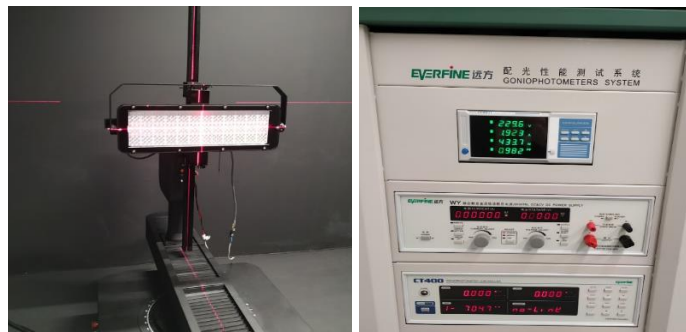


Figura 7.12.- Calibrado y monitorización de variables eléctricas.

**Resultados de los ensayos para los proyectores desarrollados:** Una vez realizado el ensayo, las características fotométricas obtenidas para cada tipología de lente se muestran en la *Tabla 7.5 (1)* bajo las características eléctricas y ambientales indicadas en la *Tabla 7.5 (2)*. Los documentos técnicos completos de los ensayos realizados con las lentes utilizadas en los campos de fútbol se encuentran en *Anexos G.1*.

Resultados fotométricos					
Tipo de lente	Sin lente	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV
Flujo total emitido (lm)	42834,1	46876	42971,3	44592	44496,1
Eficacia (lm/W)	100,72	109,37	100,33	104,12	103,89
Rendimiento luminaria (%)	28,1	21,9	28,3	25,6	26,5
FHS (%)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Intensidad luminosa máxima (cd)	15597	25299	28362	63678	127064
Apertura del haz de luz (°)	110,4	88,9	62,6	32,2	16,8
Categoría CIE	6	5	4	3	1

Características eléctricas	
Tensión de suministro	CA: 229,67 V / 50 Hz
Corriente primaria	1,9 A
Potencia consumida	428
Factor de potencia	0,9821
Características ambientales	
Temperatura	25,3 °C
Humedad relativa	65%

(1)

(2)

Tabla 7.5.- (1) Resultados fotométricos y (2) características eléctricas y ambientales.

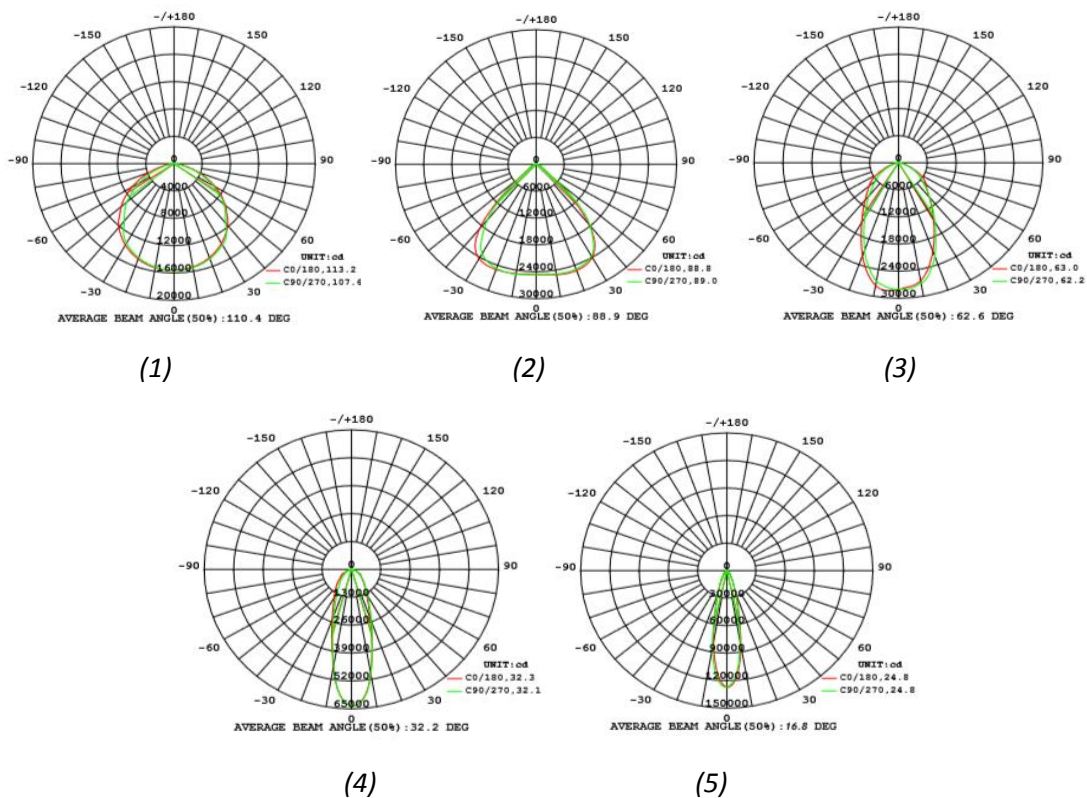


Figura 7.13.- Distribuciones de intensidad luminosa obtenidas del ensayo fotométrico: (1) Sin lente, (2) tipo I, (3) tipo II, (4) tipo III, (5) tipo IV.

En los resultados obtenidos, se puede apreciar la variación de eficacia existente en el mismo proyector con el uso de las diferentes lentes, variando con ello el rendimiento óptico de la luminaria entre un 28,3 y 21,9%. La mayor eficacia es obtenida con las lentes de apertura de 90 grados, esto es debido a que la geometría de la lente para realizar esta

reducción de ángulo de apertura produce una pérdida menor que la geometría de las lentes de 60, 30 y 15 grados a de ángulo de apertura, cuya geometría es similar.



*Figura 7.14.- Imagen de lentes utilizadas en el proyector Tapia, de izquierda a derecha: 90, 60, 30 y 15 gradas de apertura de haz.*

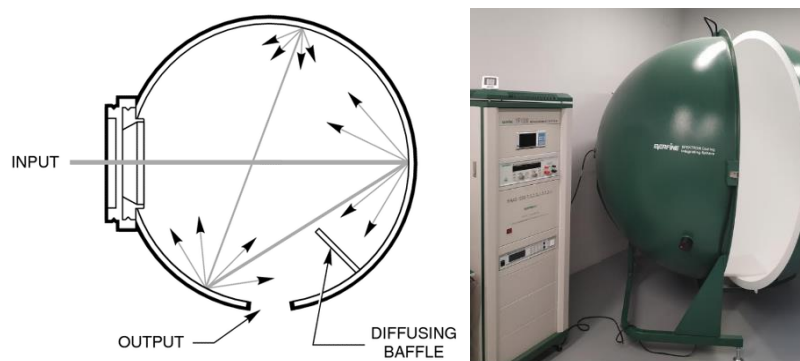
Por otra parte, la eficacia obtenida sin el uso de lentes en teoría debería proporcionar la mayor eficacia disponible al no producirse pérdidas en las lentes. No obstante, esto no sucede debido a un ángulo de apertura excesivo, que hace que la carcasa obstruya parte del flujo luminoso emitido (según los datos del fabricante, los diodos LED poseen un ángulo de apertura de  $120^\circ$ , sin embargo, el ángulo de apertura obtenido en el ensayo es de  $110,4^\circ$ , la justificación de esta reducción del ángulo es debida a la carcasa del proyector).

Respecto a la intensidad luminosa máxima, se puede observar como aumenta de forma muy significativa según se reduce el ángulo de apertura del haz de luz (del orden de un 50% en la reducción del ángulo a la mitad). Para el caso que atañe, donde el campo de fútbol se encuentra a una considerable distancia de la ubicación del proyector, es posible que sea necesario el uso de lentes de apertura muy estrecha para alcanzar las zonas más alejadas del terreno (zonas centrales) con la iluminancia requerida sin una dispersión excesiva.

### 7.3.1.2.- Ensayo colorimétrico: Esfera Integradora

Para la obtención de los parámetros colorimétricos necesarios que caracterizan la luz emitida por la luminaria, como son el CCT, las coordenadas de color y el IRC, se realiza el ensayo en una esfera integradora de Ulbricht, con el uso de un espectrómetro [48].

**Instrumentación y procedimiento de ensayo:** El método de la Esfera Integradora de Ulbricht se basa en la utilización de una esfera hueca blanca de diámetro variable (en este caso, de 2 metros) y un espectrómetro. La luminaria es introducida en su interior y, mediante el rebote de la luz en su interior como muestra la *Figura 7.14*, se dispersa homogéneamente para su correcta medición con el espectrómetro, donde reflectores impiden la entrada directa del flujo luminoso en este. Al igual que sucedía con el fotogoniómetro, la monitorización de las variables ambientales y eléctricas es completamente indispensable, regulado por la misma norma UNE EN 13032-4.



*Figura 7.15.- Esfera de Ulbricht y comportamiento del flujo luminoso en su interior.*

La esfera integradora de Ulbricht también puede ser utilizada para hallar la eficacia. No obstante, es necesario calibrarla ya que posee una constante K propia que evoluciona a lo largo del tiempo. Una descripción más detallada sobre el procedimiento de ensayo y sobre la evolución de la constante K puede ser consultada en *Anexos E.5*.

**Resultados de los ensayos para los proyectores desarrollados:** El ensayo es capaz de ser realizado en escasos segundos y de los resultados obtenidos se destacan las características colorimétricas del proyector:

En la distribución espectral obtenida en *Figura 7.15 (1)* puede observarse una mayor cantidad de energía emitida en una longitud de onda corta, característica que indica una temperatura de color fría. Además, tal y como muestra la *Figura 7.15 (2)*, las coordenadas colorimétricas obtenidas son 0,3451 en "x" y 0,3476 en "y", con una precisión de  $\pm 0,00151$ .

Estas coordenadas conllevan una temperatura de color fría, con un CCT de 5036, dentro del rango validado por la normativa.

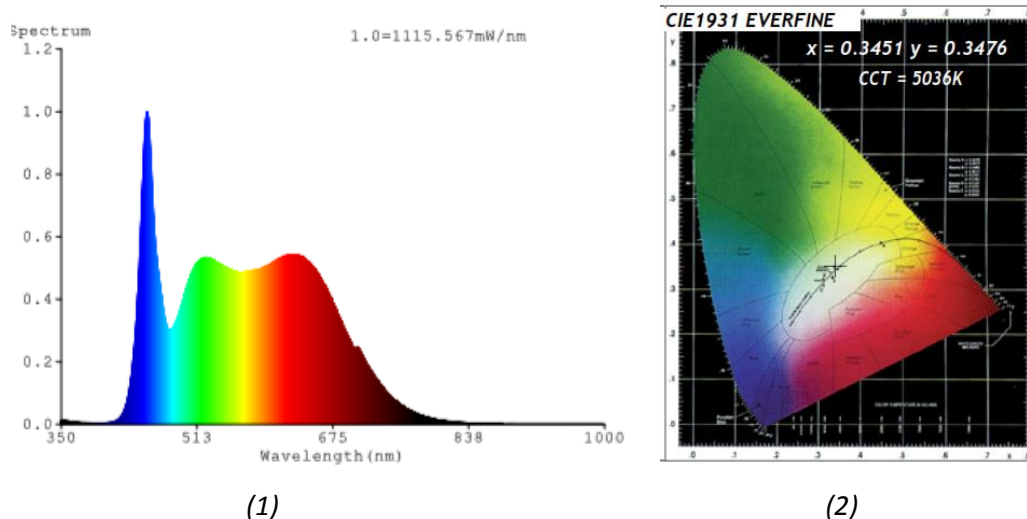


Figura 7.16.- Resultados del ensayo de la esfera integradora: (1) Distribución espectral del proyector Tapia ensayado y (2) Coordenadas colorimétricas en el espacio de color CIE 1931.

Además, el índice de color cromático es calculado para el valor general (Ra) con las 8 primeras muestras de color y el nuevo IRC con 14 muestras colorimétricas como se ha comentado en el *subcapítulo 4.2*. Este parámetro es especialmente exigente en la normativa, ya que la calidad de reproducción de la luz es fundamental para una retransmisión televisiva de alta calidad. Del ensayo puede observarse la capacidad de reproducción cromática de cada una de las muestras en la *Figura 7.16*, de tal forma que el cálculo de los parámetros se realiza mediante el cálculo de la media de las muestras consideradas. Los valores obtenidos son un Ra de 97,1 y un nuevo IRC de 94,8, los cuales son unos valores muy por encima del mínimo exigido y ofrecen una fidelidad de reproducción cromática casi perfecta. El ensayo puede consultarse en *Anexos G.2*.

```
Ratio:R=18.5% G=76.0% B=5.5%;;Peak WL:Lp=452.9nm FWHM=22.1nm
Render Index:Ra=97.1 CRI=94.8 AvgR=94.7
R1 =96 R2 =99 R3 =96 R4 =98 R5 =97 R6 =96 R7 =99
R8 =96 R9 =90 R10=99 R11=94 R12=73 R13=97 R14=98 R15=94
```

Figura 7.17.- Datos de reproducción cromática obtenidos del ensayo del proyector Tapia.



### 7.3.2.-Otros ensayos realizados al proyector

Son necesarios, además de los ensayos comentados hasta el momento, la realización de otros que añadan información acerca de otras características del proyector LED. Estos ensayos son realizados por el laboratorio externo LCOE (Laboratorio Central Oficial de Electrotecnia) y Dekra, donde se hallan las características en términos de seguridad (según las normas UNE-EN 60598-2-5 y UNE-EN 62471), normativa de compatibilidad electromagnética y el correcto funcionamiento del dispositivo de sobretensiones:

- El grado de aislamiento que posee el proyector es de **Clase I**, garantizando que todas las partes metalizadas accesibles se encuentran conectadas a tierra por un conductor.
- Se categoriza grado de hermeticidad del proyector según la norma UNE-EN 60529. El resultado obtenido es un grado de protección **IP66**, el cual garantiza una estanqueidad total respecto al polvo e impide la entrada de agua frente a chorros potentes.
- El índice de protección frente a impacto es establecido por la norma UNE-EN 62262. Se obtiene un índice de protección de **IK10**, el cual es un nivel de protección que garantiza la resistencia ante impactos de 20 Julios de energía.
- Se realiza además el ensayo de seguridad fotobiológica según UNE-EN 62471, donde se describen los riesgos para la salud debidos a la radiación óptica de fuentes de luz, lámparas y luminarias.
- Se realizan todos los ensayos respecto a la compatibilidad electromagnética de la luminaria en su conjunto, cuyas normas son UNE-EN 61000-3-2, UNE-EN 61000-3-3, UNE-EN 61547 y UNE-EN 55015. Se destaca entre los resultados la caracterización del fenómeno del parpadeo o *flicker*, ya que posee un valor limitado por la normativa del Reglamento. Obteniendo unos índices de *flicker* de **P<sub>st</sub> 0,07** y **P<sub>sl</sub> 0,07**. No obstante, el Reglamento de retransmisión televisiva limita el valor del porcentaje de *flicker*, el cual no es un valor proporcionado por los ensayos de compatibilidad electromagnética. Para



obtener el valor característico es necesario realizar un nuevo ensayo con un medidor de *flicker*. El valor de porcentaje obtenido es de **17,5%** durante todo el ensayo.

## 7.4.- Características finales del proyector Tapia

Una vez descrito el proceso de diseño, fabricación y obtención de características técnicas de los proyectores Tapia, se recogen a modo de resumen las características técnicas del modelo de proyector. Además, una recopilación de toda la normativa aplicable se encuentra recogida en *Anexos E.6*.

### 7.4.1.-Propiedades generales

Como ya se ha comentado anteriormente, el proyector modelo Tapia puede montarse en 1, 2 o 3 módulos LED de aproximadamente 400 W de potencia, variando de tal modo sus características generales en potencia, peso y dimensiones. Además, algunas otras de sus características principales son proporcionadas por el *driver* y demás equipos auxiliares del proyector, mostradas en la *Tabla 7.6*.


Características generales modelo Tapia		
<b>1 Módulo</b>	Potencia	428 W
	Peso	9 Kg
	Dimensiones (Largo x ancho x alto)	768 x 136 x 220 mm
<b>2 Módulos</b>	Potencia	856 W
	Peso	20 Kg
	Dimensiones (Largo x ancho x alto)	820 x 136 x 455 mm
<b>3 Módulos</b>	Potencia	1284 W
	Peso	30 Kg
	Dimensiones (Largo x ancho x alto)	816 x 136 x 690 mm
	Características eléctricas de suministro de entrada	175 -305 V / 47 - 63 Hz
	Corriente de alimentación (por módulo)	1400 mA
	Modos de control	1-10V ó DALI
	Rango temperaturas de trabajo	de -30°C hasta 45°C
	Vida útil	100000 horas a 25°C

Tabla 7.6.- Algunas características generales del proyector LED modelo Tapia.

#### 7.4.2.-Propiedades fotométricas y colorimétricas

Las propiedades fotométricas y colorimétricas del proyector obtenidas en los ensayos realizados se recogen en la *Tabla 7.7*.

<b>Características fotométricas y colorimétricas</b>	
<b>Flujo luminoso</b>	Desde 42500 lm
<b>Eficacia</b>	Desde 100 lm/W
<b>% Flujo al hemisferio superior (%FHS)</b>	< 1%
<b>Distribuciones fotométricas disponibles</b>	Apertura del haz: 120º, 90º, 60º, 30º y 15º
<b>Temperatura de color (CCT)</b>	5036 K
<b>Índice de reproducción general (Ra)</b>	97,1
<b>Nuevo índice de reproducción cromático (IRC)</b>	94,8

*Tabla 7.7.- Características fotométricas y colorimétricas del proyector modelo Tapia.*

#### 7.4.3.-Seguridad del proyector

Las calificaciones de seguridad son definidos por la norma UNE-EN 60598-1 y más concretamente UNE-EN 60598-2-5 para proyectores. También sirve de aplicación la norma de seguridad UNE-EN 62471 en términos de seguridad fotobiológica de lámparas y aparatos que utilizan lámparas y la norma UNE-EN 62031 para los componentes y equipos auxiliares del proyector. La *Tabla 7.8* recoge las principales características de seguridad:

<b>Seguridad del proyector</b>	
<b>Aislamiento eléctrico</b>	Clase I
<b>Grado de protección IP</b>	IP66
<b>Índice de protección frente a impacto IK</b>	IK10
<b>Protección frente a sobretensiones</b>	10 kV
<b>Índices de flicker (Pst y Plt)</b>	0,07 y 0,07
<b>Porcentaje de flicker</b>	17,5%

*Tabla 7.8.- Tabla de seguridad del proyector modelo Tapia.*

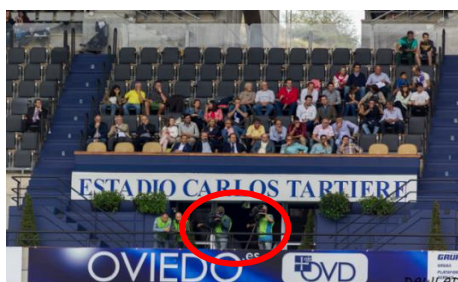
## 8.- Estudio Luminotécnico

Una vez fabricados los proyectores apropiados, es necesario realizar el estudio luminotécnico para definir el número y tipo de proyectores, su disposición, orientación y tipo de lente a utilizar para cada uno de ellos con el objetivo de cumplir los requerimientos exigidos en el Reglamento de transmisión televisiva comentado en el *subcapítulo 5.1*. Para realizar el estudio, se utilizará el programa DIALux, el cual es un software libre de uso internacional que permite realizar un proyecto integral de alumbrado [50]. Su uso se encuentra ampliamente extendido, contando con estándares nacionales e internacionales para la comprobación de cumplimiento de normativas vigentes.

El factor de mantenimiento utilizado, como se ha comentado en *subcapítulo 5.1*, es de 0,9 definido por el Reglamento para tecnología LED. No obstante, se procurará aumentar en cierto grado todos los valores de iluminancia media de tal forma que aumente el factor de seguridad y puede garantizarse una mayor vida útil de los proyectores en el estadio.

### 8.1.- Posición y tramas de cálculo utilizadas

Como se ha comentado en el *subapartado 5.1*, es necesario calcular los niveles de iluminancia y uniformidad vertical en dirección de todas las cámaras fijas que posee instaladas el estadio. Este posee 7 cámaras fijas para la retransmisión televisiva, además de la cámara principal y de apoyo, que como se puede observar en la *Figura 8.1 (1)*, son colocadas en la zona central bajo a la tribuna presidencial, a una altura de 14 metros.



(1)



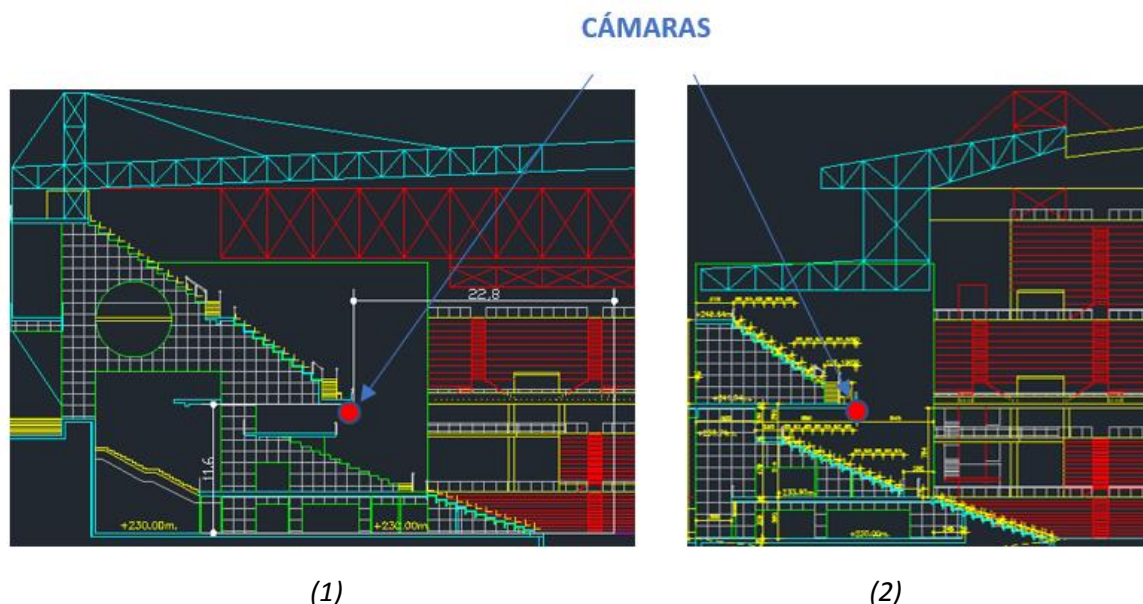
(2)

*Figura 8.1.- Imágenes de cámaras instaladas en el graderío lateral Este del estadio Carlos Tartiere: (1) cámara principal, (2) cámaras secundarias.*

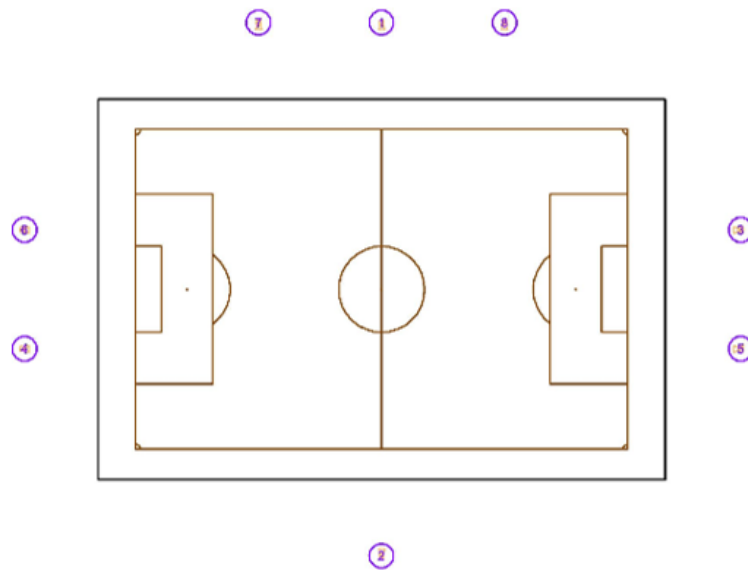
Las demás cámaras, dispuestas bajo la segunda grada como se puede observar en la *Figura 8.1 (2)*, se encuentran situadas a una altura de 11,5 metros y a una distancia de 22,8 metros de la línea del terreno de juego, tanto en los fondos como en los laterales. La distribución de las cámaras es la siguiente:

- La cámara opuesta se encuentra enfrentada a la cámara principal en la grada Oeste, centrada longitudinalmente al terreno de juego.
- Existen instaladas dos cámaras para cada uno de los fondos Norte y Sur separadas entre sí y de los bordes del terreno de juego de 12,66 metros (un tercio del ancho del campo).
- Las cámaras laterales 1 y lateral 2 se encuentran ubicadas en la grada Este, a ambos lados de la cámara principal. Estas se encuentran separadas de los bordes del terreno de juego y de la cámara principal 26,25 metros (un cuarto de la longitud del campo):

Las *Figuras 8.2 y 8.3* presenta la ubicación de las cámaras en los planos de AutoCad y el programa Dialux respectivamente.



*Figura 8.2.- Perfiles del graderío del estadio Carlos Tartiere: (1) Gradas laterales, (2) gradas de fondos.*



Lista de cámaras de televisión

Nº	Designación	Posición [m]		
		X	Y	Z
1	Cámara de televisión 1 Principal	0.000	56.800	14.000
2	Cámara de televisión 2 Opuesta	0.000	-56.800	11.500
3	Cámara de televisión 3 Fondo Norte 1	76.650	12.666	11.500
4	Cámara de televisión 4 Fondo Sur 1	-76.650	-12.666	11.500
5	Cámara de televisión 5 Fondo Norte 2	76.650	-12.666	11.500
6	Cámara de televisión 6 Fondo Sur 2	-76.650	12.666	11.500
7	Cámara de televisión 7 Lateral 1	-26.250	56.800	11.500
8	Cámara de televisión 8 Lateral 2	26.250	56.800	11.500

Figura 8.3.- Posicionamiento cartesiano de las cámaras de televisión en el programa Dialux.

A parte de la iluminancia horizontal, que es necesario calcularla para todo el terreno de juego, un aspecto para tener en cuenta es que las tramas de cálculo para la obtención de la iluminancia vertical a cámara, como sucede en la obtención de resultados en el *subcapítulo 5.2* para las cámaras de fondo, variarán según su posicionamiento, ya que el objetivo de ciertas cámaras no es cubrir todo el terreno de juego sino solamente un área del campo determinada. Las cámaras principales y opuestas estudiarán la iluminancia vertical para todo el terreno de juego. No obstante, las cámaras del fondo cubrirán un tercio del terreno de juego, mientras que las cámaras laterales cubrirán los 2 tercios cercanos de este, de tal forma que el conjunto de las cámaras de televisión cubre el terreno de juego de forma completa y equitativa. La *Figura 8.4* muestra las diferentes tramas de cálculo utilizadas por cada conjunto de cámaras.

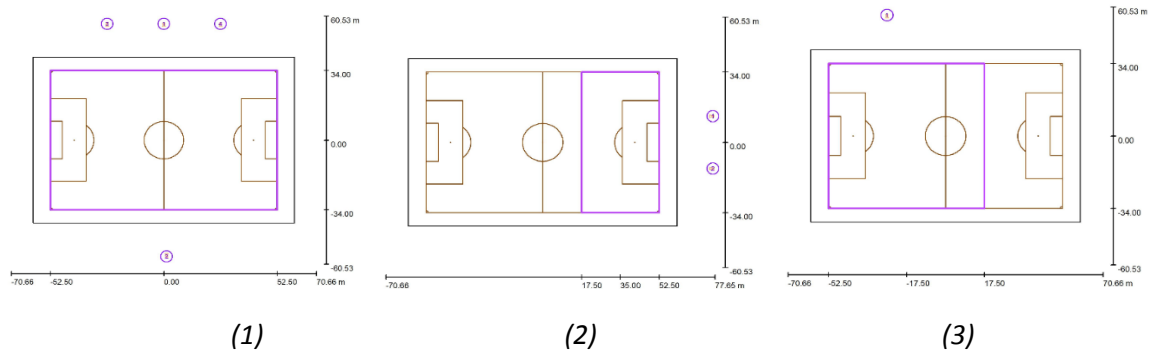


Figura 8.4.- Diferentes tramas de cálculo para las cámaras: (1) principal y opuesta, (2) de fondo (representada trama fondo Norte) y (3) laterales (representada Lateral 1).

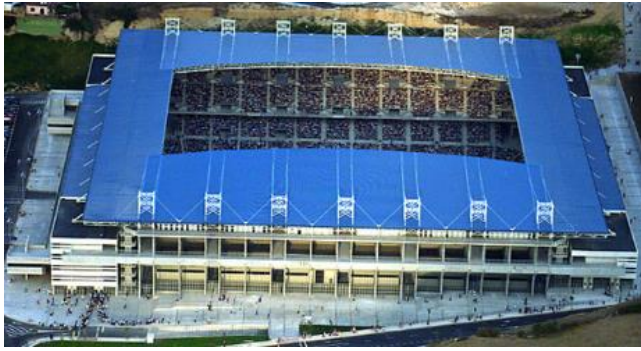
## 8.2.- Propuestas de estudio

Una vez definidas las tramas de cálculo y la posición de las cámaras que se utilizarán para realizar los cálculos, se proponen diferentes alternativas para la instalación. Es necesario para la realización de las propuestas tener en cuenta una serie de factores como son la resistencia estructural del estadio o la apertura del haz de luz.

### 8.2.1.-Resistencia estructural del estadio

Ya que se estima la necesidad de un número elevado de proyectores (del orden de varios cientos de módulos LED) es necesario considerar la resistencia estructural de la cubierta donde irán colocados, ya que debe resistir el importante peso total de la instalación (como se ha mostrado en el *subapartado 7.4*, el peso del proyector Tapia varía entre 9, 20 y 30 Kg según se trate del modelo del proyector compuesto por 1, 2 o 3 módulos).

El estadio posee 4 torres de hormigón como soportes estructurales principales ubicados en las esquinas del estadio, conformando las dimensiones de este con un rectángulo de 177,4 x 164,6 m. Las fachadas de hormigón armado visto y paredes prefabricadas de hormigón comunican las 4 torres envolviendo el estadio. Sobre las fachadas y las torres se encuentra la cubierta del estadio, la cual es metálica y está formada por perfiles de acero laminado. Los laterales del estadio poseen 7 torres con tirantes de sustentación sujetos al borde de la cubierta fortaleciendo la estructura y dando una mayor estabilidad.



(1)



(2)

Figura 8.6.- (1) Estadio Carlos Tartiere desde un plano picado y (2) torres tirantes de las cubiertas laterales.

La distribución actual, como ya se ha estudiado en el *subcapítulo 5.2*, posee los proyectores ubicados en los laterales de la cubierta Este y Oeste uniformemente distribuidos, además de 9 proyectores en cada esquina de los fondos. Esta distribución es justificada por la búsqueda de la ubicación más cercana posible al campo y a las características estructurales descritas en el párrafo anterior, donde el borde de las cubiertas de los fondos en la parte central es más susceptible a la colocación de objetos pesados.

### 8.2.2.-Curvas a utilizar: Apertura del haz de luz

Sopesar cuales son las distribuciones fotométricas más adecuadas para el entorno que se está estudiando es otro factor a tener en cuenta. En primera instancia, con el conocimiento de que los proyectores se ubicarán a una considerable altura del terreno de juego, un ángulo de apertura elevado conlleva a una dispersión excesiva del haz luminoso, inundando zonas que pueden exceder las dimensiones del terreno de juego y por tanto perder capacidad de iluminancia en la zona requerida. Para ilustrar esto, la *Figura 8.8* muestra el haz de luz que producen las diferentes lentes disponibles para las zonas centrales del césped, que se encuentran más alejadas de los proyectores (existiendo distancias mayores de 50 metros desde el proyector hasta la superficie de incidencia). Esta figura muestra como ángulos de 90 y 60 grados de apertura son excesivos, ya que el haz de luz es emitido a zonas exteriores del terreno de juego e incluso, en caso de la lente de ángulo de apertura



de 90 grados, al hemisferio superior. Es necesario por tanto utilizar lentes con haces de luz más estrechos, de forma que el haz luminoso incida sobre la superficie de estudio.

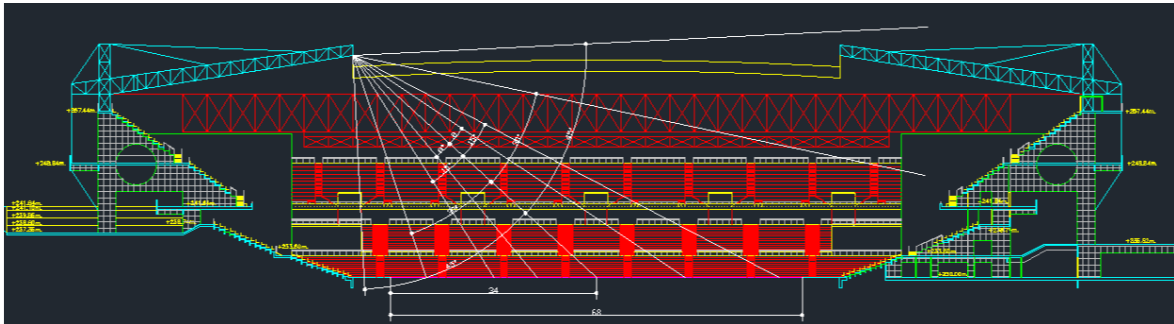


Figura 8.8.- Haces luminosos producidos por las diferentes lentes existentes orientadas hacia el centro del terreno de juego.

Para ilustrar los relevantes efectos que conlleva el uso de diferentes ángulos de apertura de luz, la Figura 8.9 muestra 4 proyectores de 425 W posicionados en la zona central del borde de la cubierta y orientados hacia el punto central del terreno de juego, se hará uso de lentes con un ángulo de apertura de 30 grados y con un ángulo de apertura de 15 grados de tal forma que puedan compararse los distintos resultados obtenidos.

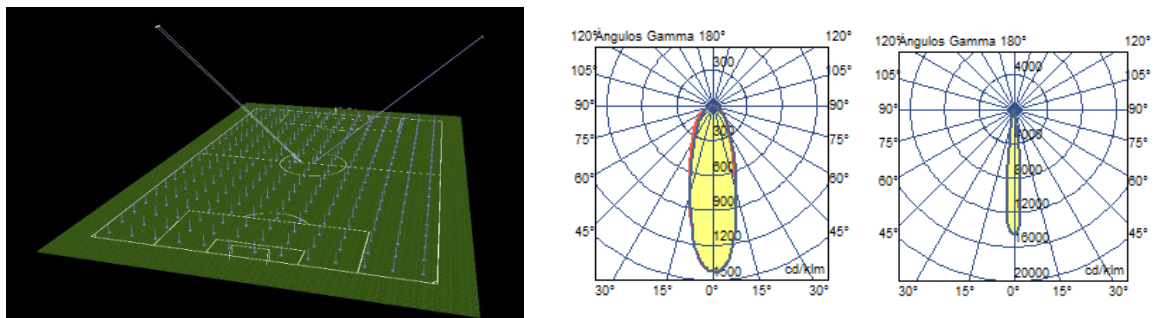


Figura 8.9.- Ubicación de los 4 proyectores instalados en la cubierta orientados hacia la parte central del terreno de juego en 3D y las dos lentes utilizadas (30 y 15 grados).

Como se puede apreciar en las Figuras 8.10, la iluminancia en el terreno de juego varía considerablemente según el haz de luz utilizado. Las lentes de 15 grados concentran el flujo de forma mucho más efectiva que las lentes de 30 grados en el punto de irradiación requerido, llegando a aumentar la iluminancia hasta 10 veces más que sucede con las lentes de haz más ancho (52 lx con la lente de 30 grados frente a 531 lx con la lente de 15 grados).



No obstante, el uso exclusivo de proyectores con un haz de luz tan estrecho provoca que existan elevados gradientes (diferencias entre dos puntos consecutivos de análisis), de tal forma que provoca la dificultad de la obtención de una elevada uniformidad de iluminancia en el terreno de juego, el cual es uno de los exigentes requerimientos de la normativa de aplicación del campo de fútbol, ya que conlleva la adaptación del ojo humano a los cambios de niveles de iluminancia.

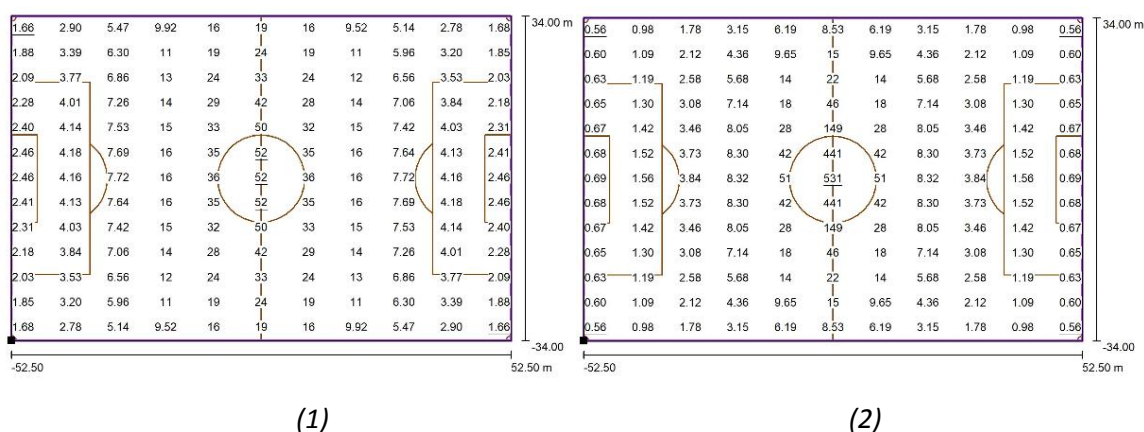


Figura 8.10.- Gráfico de valores de iluminancia horizontal obtenidos de la prueba de simulación: (1) con lentes de 30 grados de apertura de haz luminoso y (2) con lentes de 15 grados de apertura de haz luminoso.

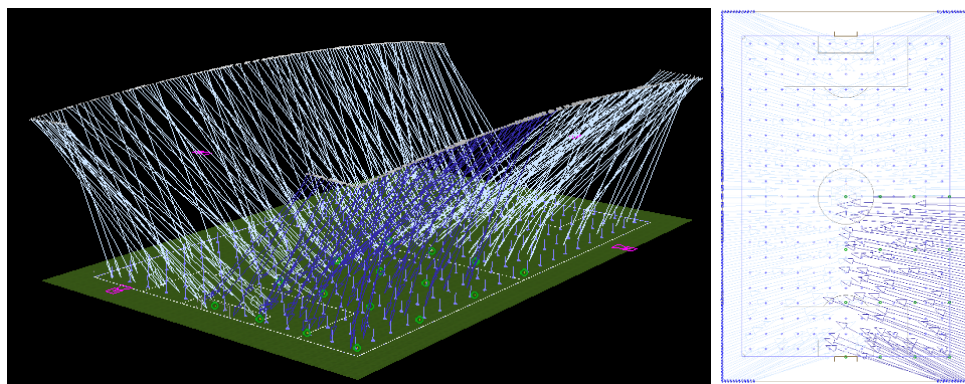
Tras la realización de diferentes simulaciones, se concluye que los mejores resultados son obtenidos mediante una combinación del uso lentes que proporcionan una apertura de 15 grados y 30 grados, logrando unos niveles de iluminancia media adecuados gracias a las primeras y ayudando a una mayor uniformidad con el uso de las lentes de haz más ancho.

### 8.2.3.-Primeras propuestas y alternativas de instalación

Como primera propuesta se procura ubicar los nuevos proyectores LED en la misma situación que los focos actualmente instalados, creando una distribución lineal uniforme por todo el borde de la cubierta, de tal forma que los equipos se instalen lo más cerca posible del terreno de juego para minimizar el número de proyectores necesarios y respetando al máximo posible la resistencia estructural del estadio comentado en el

*subapartado 8.2.1.* Los focos son orientados independientemente y con el uso de lentes de 15 y 30 grados de apertura como se ha comentado en el *subapartado 8.2.2.*

Con este tipo de disposición es posible alcanzar los requerimientos lumínicos en términos de iluminancia horizontal con el uso de proyectores de 2 y 3 módulos. Además, el uso de un número tan elevado de proyectores (220 de 2 módulos y 76 de 3 módulos) permite orientarlos con gran cantidad de posibilidades, de tal forma que es posible alcanzar la uniformidad deseada (U1 de 0,7 y U2 de 0,6).



*Figura 8.12.- Simulación proyectores ubicados en borde de la cubierta.*

No obstante, a pesar de cumplir los parámetros de iluminancia horizontal, mediante esta disposición no se alcanzan los requerimientos de iluminancia hacia cámaras en términos de nivel de iluminancia y uniformidad de la misma como se muestra a continuación en las *Tablas 1 y 2.*

**Sumario de los resultados**

Nº	Tipo	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$	$E_{h\ m} / E_m$	H [m]	Cámara
1	horizontal	2044	1540	2438	0.75	0.63	/	0.000	/
2	Cámara	1251	589	2127	0.47	0.28	1.63	1.500	1
3	Cámara	1216	582	2068	0.48	0.28	1.68	1.500	2

$E_{h\ m} / E_m$  = Relación entre la intensidad lumínica central horizontal y vertical, H = Medición altura

*Tabla 8.1.- Resultados de la trama de cálculo del terreno de juego completo: Iluminancia horizontal, iluminancia a cámara Principal (1) y iluminancia a cámara Opuesta (2).*

N°	Tipo	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$	$E_{h,m} / E_m$	H [m]	Cámara
1	Cámara	891	486	1505	0.55	0.32	/	1.500	1

$E_{h,m} / E_m$  = Relación entre la intensidad lumínica central horizontal y vertical, H = Medición altura

Tabla 8.2.- Resultados de la trama de cálculo de fondo sur: Iluminancia de fondo.

El hecho de que la uniformidad en la iluminancia vertical a cámara sea tan dispar es debido a que, mientras que la iluminancia horizontal se calcula mediante un ángulo constante respecto a la superficie de cálculo (0 grados), cada punto del terreno de juego tiene un ángulo de inclinación y dirección diferente respecto a una determinada cámara, como se puede observar en las *Figura 13 y 14*.

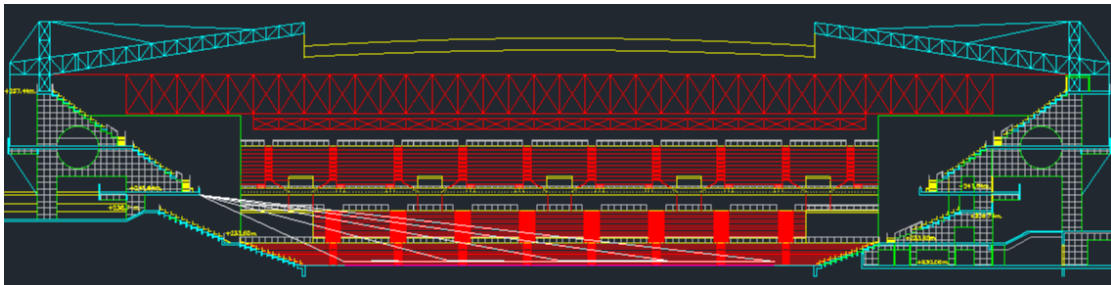


Figura 8.13.- Distintos ángulos de inclinación a 1,5 metros del terreno de juego hacia cámara.

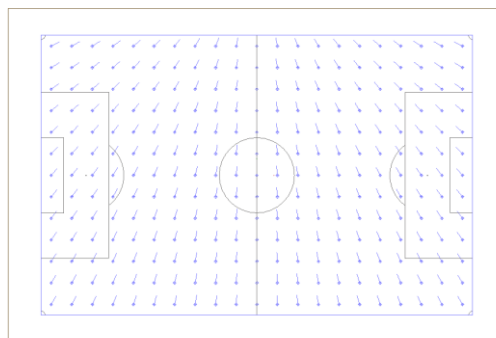


Figura 8.14.- Trama de cálculo en dirección a cámara en el programa Dialux.

Debido a la elevada altura y cercanía a la que se encuentran ubicados los proyectores en el borde de la cubierta del estadio al terreno de juego, provoca que el ángulo de irradiación del haz luminoso sea demasiado pronunciado para la mayor parte de los ángulos de cada punto en dirección a cámara, existiendo una diferencia de ángulo considerable.

A continuación, las Figuras 8.15 (1) y (2) muestran los resultados obtenidos a cámara principal con este modo de disposición, se puede observar como la iluminancia es máxima en una combinación entre una menor diferencia de ángulos de irradiación del proyector con el punto analizado y la dirección con el punto a la cámara con la distancia del flujo luminoso al punto analizado, ya que a mayor distancia existirá una mayor dispersión y por tanto llegará con menor intensidad.

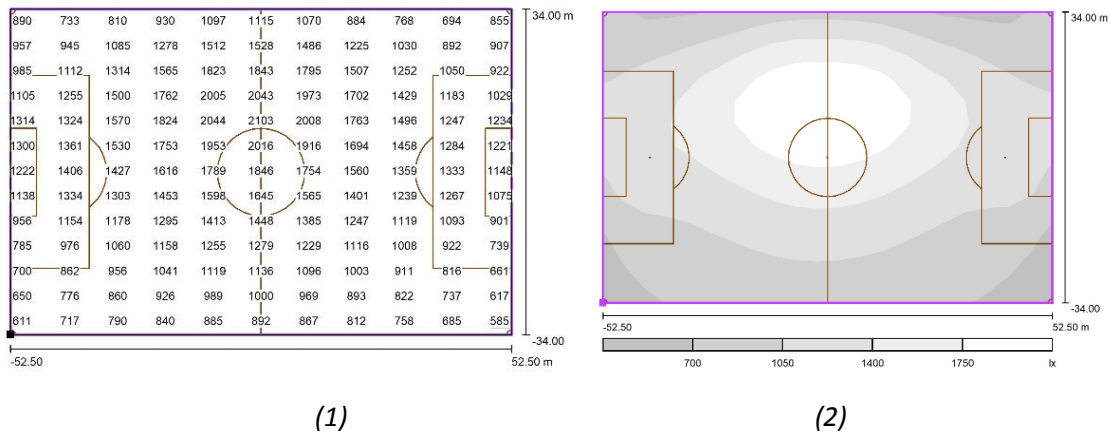


Figura 8.15.- (1) Gráfico de valores y (2) gráfico de escala de grises de iluminancia vertical a cámara principal con la totalidad de proyectores ubicados en el borde de la cubierta del estadio.

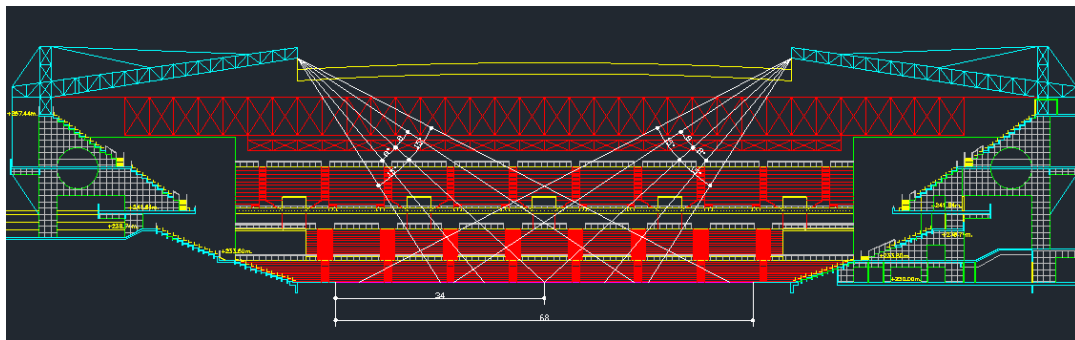


Figura 8.16.- Ángulos de irradiación de los focos al terreno de juego.

La solución pasa por tanto en la colocación de lineales de proyectores a una menor altura o en lugares más alejados del terreno de juego, de tal forma que para inundar un determinado punto de cálculo posea un ángulo de incidencia menos pronunciado y se asemeje en mayor medida al ángulo del punto en dirección a cámara.

Se plantean por tanto diferentes alternativas para aumentar la iluminancia vertical, proponiendo diferentes ubicaciones de lineales de proyectores orientados en las direcciones donde la iluminancia vertical a cámara sea menor. Algunas de las alternativas estudiadas son la colocación de disposiciones lineales bajo la segunda grada del estadio, donde se encuentran ubicadas las cámaras, o la colocación de nuevas disposiciones lineales en una segunda y hasta tercera línea para las gradas laterales, mientras que solamente se estudia la colocación de una única línea en la cubierta de fondo al tener una escasa profundidad. Estas posibilidades son descartadas por diversos motivos como son seguridad y deslumbramiento. En *Anexos F.1* puede consultarse una explicación más detallada de estas propuestas y los factores por lo cual fueron descartadas.

### 8.3.- Propuesta definitiva

Tras lo comentado anteriormente y con la realización y simulación de un elevado número de alternativas, finalmente se obtiene una configuración idónea que cumplen todos los requerimientos para campo de fútbol. La cual posee la siguiente distribución:

- El lineal ubicado en el borde de la cubierta del estadio en los laterales posee 92 proyectores Tapia de 2 módulos cada uno, con el uso de lentes de 15 y 30 grados de apertura de haz de luz. Su objetivo principal es aumentar la iluminancia vertical y uniformidad para todo el terreno de juego. Sumando un total de **184 proyectores** instalados a una potencia de aproximadamente 850 W.

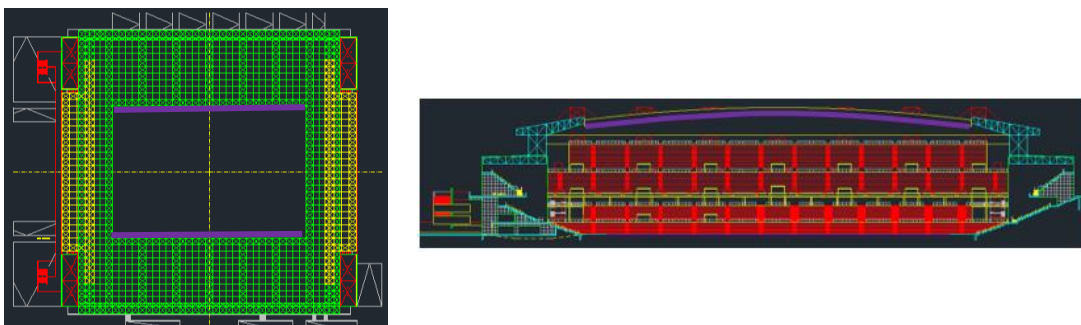


Figura 8.9.- Ubicación de proyectores en el borde de las cubiertas laterales (color morado).

- En las 4 esquinas de los fondos, en una disposición lineal de 10 metros de longitud, se colocan 8 proyectores modelo Tapia de un módulo, los cuales utilizan lentes de 15 grados de apertura y se encuentran orientados en dirección de las porterías, con el objetivo de aumentar su iluminancia horizontal en esa zona. Sumando un total de **32 proyectores** instalados con una potencia de aproximadamente 425 Vatios.

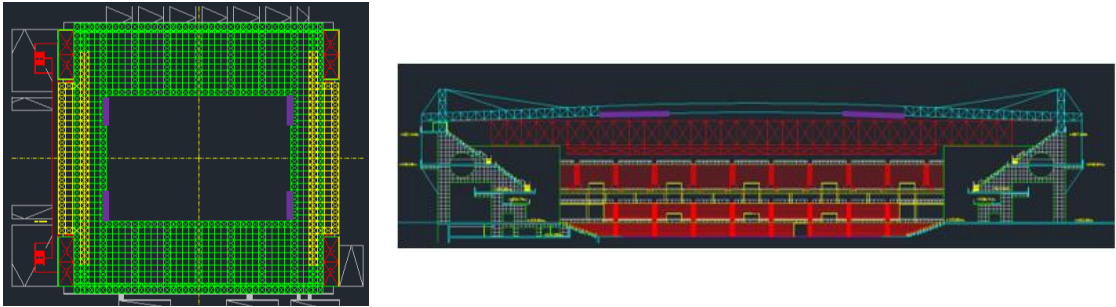


Figura 8.10.- Ubicación proyectores en las esquinas de la cubierta de fondo.

- En una segunda línea de apoyo en la cubierta de la grada lateral, a una distancia de aproximadamente 12 y 3,5 metros por detrás del borde de la cubierta y de las cámaras respetivamente, se instalan 32 proyectores modelo Tapia de dos módulos por lineal, con lentes de 15 grados de apertura de haz de luz. Su objetivo es orientarlos independientemente para mejorar los niveles y uniformidad de iluminancia vertical a cámaras principal, opuesta y complementarias laterales es menor. Sumando un total de **64 proyectores** instalados con una potencia de aproximadamente 850 Vatios.

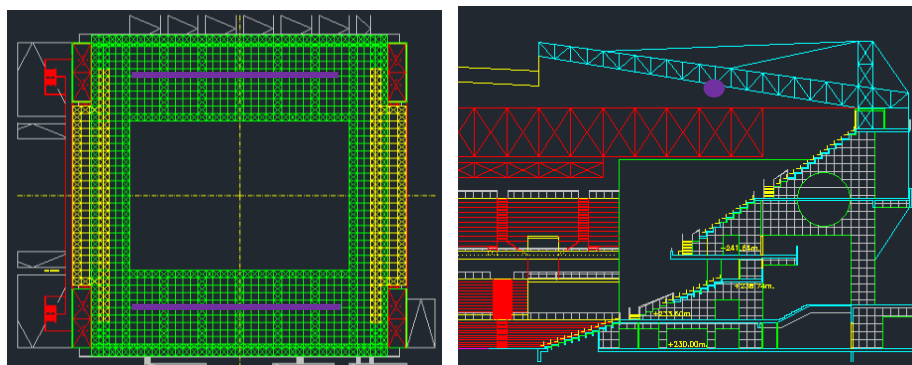


Figura 8.11.- Ubicación proyectores de segunda línea en las cubiertas laterales.

- En los fondos, como ya se ha comentado, posee una cubierta con una menor profundidad, no obstante, posee una estructura de celosías que permite la instalación de proyectores a una menor altura que la cubierta, lo que propicia un ángulo de incidencia menos pronunciado. Un lineal es colocado a la máxima altura (31 metros), instalando 53 proyectores por cada fondo, y una segunda línea a menor altura (24 metros) con 36 proyectores, ambos modelos Tapia de un módulo con lentes de 15 grados de apertura. El objetivo de ambas líneas es aumentar el nivel y uniformidad de iluminancia vertical de las cámaras instaladas en los fondos del estadio. Sumando un total de **178 proyectores** instalados con una potencia de aproximadamente 425 Vatios.

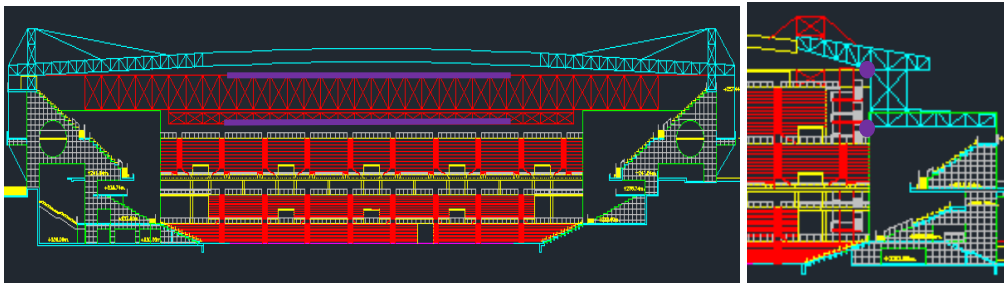


Figura 8.12.- Ubicación proyectores en dos líneas en los fondos (indicado en color morado).

De esta forma, la instalación total está formada por 458 proyectores, los cuales son 210 de 425 W y 248 de 850 W, con lentes de apertura de 15 y 30 grados de haz luminoso.

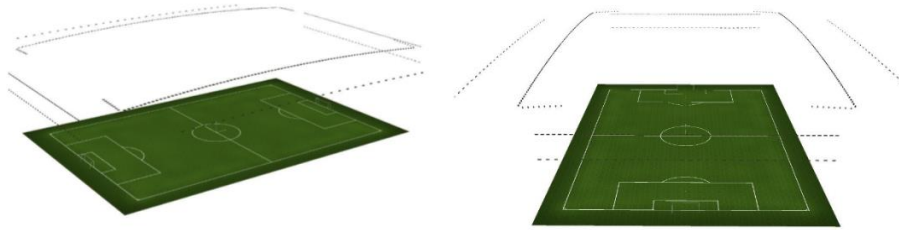
Resumen luminarias en instalación				
Nº módulos	Tipo de lente	Potencia/proyector (W)	Nº proyectores	Potencia Total (W)
1	IV	428,3	210	89943
2	IV	856,6	152	130203,2
2	III	856,6	92	78807,2
<b>POTENCIA INSTALACIÓN</b>				<b>298953,4</b>

Tabla 8.3.- Tabla resumen de luminarias y potencia total en la propuesta definitiva.

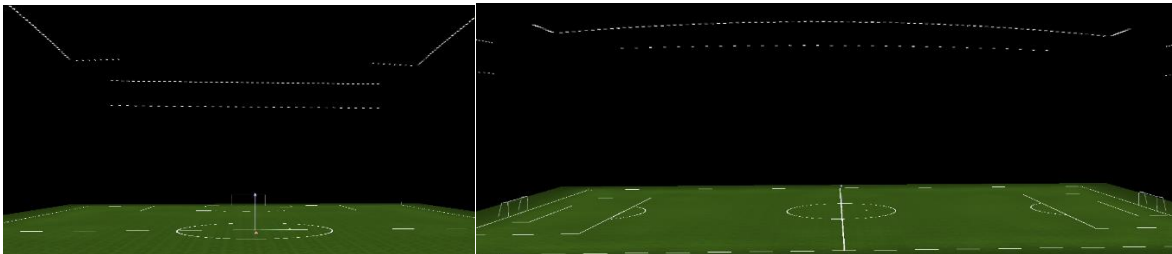
Se destaca que la necesidad total de potencia es menor a 3000000 W, la cual es una potencia inferior a la que posee actualmente instalado el estadio en 80000 W, siendo la actual, como se ha comentado, insuficiente en todos los términos de iluminancia horizontal y vertical para todas las cámaras, con valores de entre un 40 y 60% por debajo de las exigencias del reglamento. De esta forma, se comprueba que este tipo de instalación



mejora las prestaciones dadas por las lámparas de descarga instaladas en la actualidad. La *Figura 8.14* y *8.15* muestran renderizados de la disposición de las luminarias en 3 dimensiones para una mejor visualización de la instalación final.

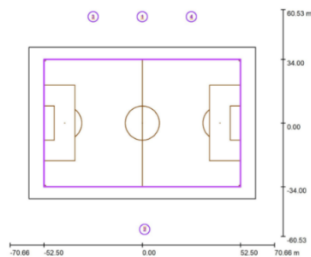


*Figura 8.14.- Representaciones de la disposición de luminarias con renderizado 3D.*



*Figura 8.15.- Representaciones de la disposición de luminarias a pie de campo.*

A continuación, las *Tablas 8.4* muestran los principales resultados obtenidos del estudio luminotécnico, de tal forma que se garantiza el cumplimiento de la normativa. Además, todos los parámetros superan en un 10% los niveles de luminancia mínimos, de tal forma que se garantiza una mayor vida útil que la proporcionada por el factor de degradación. Ya que el deterioro de los proyectores se producirá de forma idéntica para todos los casos, no se verá reducida la uniformidad para ninguna de las iluminancias estudiadas.

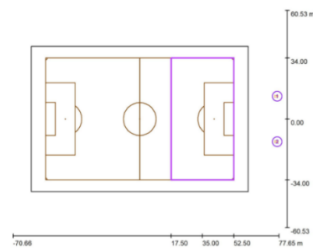


**Sumario de los resultados**

Nº	Tipo	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$	$E_{h m} / E_m$	H [m]	Cámara
1	horizontal	2422	2155	2751	0.89	0.78	/	0.000	/
2	Cámara	1720	1215	2439	0.71	0.50	1.41	1.500	1
3	Cámara	1674	1155	2385	0.69	0.48	1.45	1.500	2
4	Cámara	1681	1124	2437	0.67	0.46	1.44	1.500	3
5	Cámara	1655	1115	2414	0.67	0.46	1.46	1.500	4

$E_{h m} / E_m$  = Relación entre la intensidad luminosa central horizontal y vertical, H = Medición altura

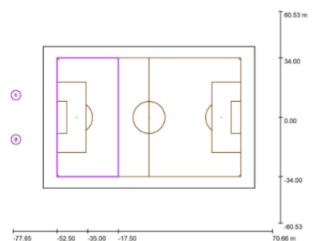




**Sumario de los resultados**

Nº	Tipo	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$	$E_{h m} / E_m$	H [m]	Cámara
1	Cámara	1689	1204	2356	0.71	0.51	/	1.500	1
2	Cámara	1655	1198	2323	0.72	0.52	/	1.500	2

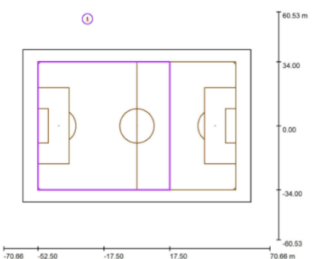
$E_{h m} / E_m$  = Relación entre la intensidad luminica central horizontal y vertical, H = Medición altura



**Sumario de los resultados**

Nº	Tipo	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$	$E_{h m} / E_m$	H [m]	Cámara
1	Cámara	1690	1210	2360	0.72	0.51	/	1.500	1
2	Cámara	1654	1192	2319	0.72	0.51	/	1.500	2

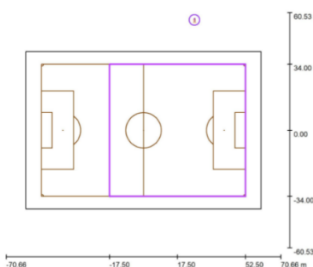
$E_{h m} / E_m$  = Relación entre la intensidad luminica central horizontal y vertical, H = Medición altura



**Sumario de los resultados**

Nº	Tipo	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$	$E_{h m} / E_m$	H [m]	Cámara
1	Cámara	1675	1136	2446	0.68	0.46	/	1.500	1

$E_{h m} / E_m$  = Relación entre la intensidad luminica central horizontal y vertical, H = Medición altura



**Sumario de los resultados**

Nº	Tipo	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$	$E_{h m} / E_m$	H [m]	Cámara
1	Cámara	1671	1151	2452	0.69	0.47	/	1.500	1

$E_{h m} / E_m$  = Relación entre la intensidad luminica central horizontal y vertical, H = Medición altura

*Tabla 8.4.- Tablas de resultados de iluminancia para las trama de cálculo y cámaras respectivas del terreno de juego completo, fondo Norte, fondo Sur, Lateral 1 y Lateral 2.*

El parámetro con un mayor nivel de iluminancia es el horizontal, aproximadamente un 20% superior al mínimo exigido. En cualquier caso, no es un valor excesivo, ya que la iluminación recomendada para retransmisiones en producción 4k es de 3000 luxes (puede consultarse en *Anexos C.1*), lo que conlleva a deducir que cuanto mayor sea el nivel de iluminancia media tendrá una mejor visualización.

Por otra parte, el índice de deslumbramiento GR, calculado a partir de la norma europea EN 12464-2, es menor del límite establecido para todo el terreno de juego (44 en el punto

más desfavorable frente al GR≥50 establecido por normativa), de tal forma que cumple todas las exigencias luminotécnicas aplicables.

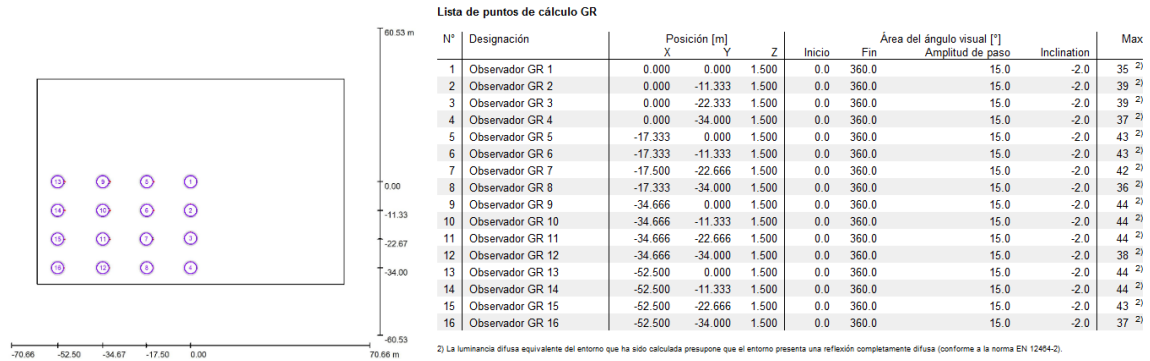


Tabla 8.5.- Grados de deslumbramiento GR calculados según la norma EN 12464-2.

Es necesario comentar que, ante una instalación de cerca de 7 toneladas en términos de proyectores LED y soportes (aproximadamente 6850 Kg) será necesario realizar un análisis de resistencia estructural del estadio para garantizar que la estructura y en particular la cubierta no se pueda ver comprometida y conllevar algún tipo de riesgo.

El estudio luminotécnico completo, con los datos de planificación, lista de luminarias, posicionamiento de cámaras de televisión, coordenadas de las distintas tramas de cálculo, renderizados, sumarios de resultados de deslumbramiento e iluminancias, así como gráficos de isolíneas, gama de grises y gráficos de valores son adjuntadas en *Anexos H*.

## 9.- Comprobación cumplimiento de normativa

Para facilitar la visualización de los resultados, se realizan unas tablas resumen para comprobar el cumplimiento de todos los requerimientos expresados en las diferentes normativas de aplicación en términos de propiedades intrínsecas del propio proyector y resultados luminotécnicos del proyecto de instalación realizado.

### 9.1.- Comprobación de propiedades requeridas del proyector

Como ya se ha comentado en el *subcapítulo 5.1*, la normativa del Reglamento de retransmisión televisiva para campos de fútbol profesionales exige unos requerimientos colorimétricos determinados y limita el parpadeo producido. La *Tabla 9.1*, muestra que se cumplen todos los parámetros expresados, demostrando la validez del proyector para la iluminación de campos de fútbol profesionales.

Comprobación requerimientos de retransmisión televisiva		Propiedades técnicas	
Temperatura de color (CCT)	Requerido	De 5000 a 6200 K	
	Proyector	5036	CUMPLE
Índice de reproducción general de color (Ra)	Requerido	≥90	
	Proyector	97,1	CUMPLE
Nuevo índice de reproducción de color (IRC)	Requerido	≥80	
	Proyector	94,8	CUMPLE
Flicker (FF)	Requerido	<20% Medio <30% Máximo	
	Proyector	17,50%	CUMPLE

Figura 9.1.- Tabla comprobación de propiedades.

### 9.2.- Comprobación de resultados luminotécnicos

Se realiza las consiguientes tablas resúmenes de resultados luminotécnicos para el campo de fútbol Carlos Tartiere, obteniendo unos parámetros válidos en términos de iluminancia media y uniformidad, tanto en el análisis horizontal como en el vertical en dirección a cada una de las cámaras fijas que posee instaladas el estadio.

Comprobación de requerimientos para retransmisión en 1ª División				Terreno de juego	
Iluminancia Horizontal, medida a la altura del terreno de juego	Iluminancia Horizontal	Ev medio (Lux)	Requerido	2000	
			Medido	2422	CUMPLE
	Uniformidades	Uv1	Requerido	0,7	
			Medido	0,89	CUMPLE
		Uv2	Requerido	0,6	
			Medido	0,78	CUMPLE

Figura 9.2.- Comprobación de iluminancia horizontal en el proyecto de instalación propuesto.

Comprobación de requerimientos para retransmisión en 1ª División				Cámara Principal		Cámara Opuesta		Cámara Lateral 1		Cámara Lateral 2	
Iluminancia vertical en dirección a las cámaras de laterales	Iluminancia Vertical a 1,5 m	Ev medio (Lux)	Requerido	1500		1500		1500		1500	
			Medido	1720	CUMPLE	1674	CUMPLE	1675	CUMPLE	1671	CUMPLE
	Uniformidades a Cámara	Uv1	Requerido	0,65		0,65		0,65		0,65	
			Medido	0,71	CUMPLE	0,69	CUMPLE	0,68	CUMPLE	0,69	CUMPLE
		Uv2	Requerido	0,4		0,4		0,4		0,4	
			Medido	0,5	CUMPLE	0,48	CUMPLE	0,46	CUMPLE	0,47	CUMPLE

Figura 9.3.- Comprobación de iluminancia vertical para las cámaras Principal, Opuesta, Lateral 1 y Lateral 2 en el proyecto de iluminación propuesto.

Comprobación de requerimientos para retransmisión en 1ª División				Cámara Norte 1		Cámara Norte 2		Cámara Sur 1		Cámara Sur 2	
Iluminancia vertical en dirección a cámaras de fondo	Iluminancia Vertical a 1,5 m	Ev medio (Lux)	Requerido	1500		1500		1500		1500	
			Medido	1689	CUMPLE	1655	CUMPLE	1690	CUMPLE	1654	CUMPLE
	Uniformidades a Cámara	Uv1	Requerido	0,65		0,65		0,65		0,65	
			Medido	0,71	CUMPLE	0,72	CUMPLE	0,72	CUMPLE	0,72	CUMPLE
		Uv2	Requerido	0,4		0,4		0,4		0,4	
			Medido	0,51	CUMPLE	0,52	CUMPLE	0,54	CUMPLE	0,54	CUMPLE

Figura 9.4.- Comprobación de iluminancia vertical para las cuatro cámaras de fondo en el proyecto de iluminación propuesto.

Por otra parte, en términos de iluminancia de emergencia, los proyectores de tecnología LED poseen de forma intrínseca la capacidad de reencendido en caliente, de tal forma que la iluminancia de emergencia es la misma que la habitual a cámara principal, ya que toda la instalación de iluminación es capaz de reencenderse de forma prácticamente instantánea.

Comprobación de requerimientos para retransmisión en 1ª División			Campo de fútbol	
Iluminancia de emergencia	Ev media a cámara principal (Lux)	Requerido	800	
		Medido	1720	CUMPLE
	Tiempo de reencendido	Requerido	< 2 segundos	
		Medido	< 1 s	CUMPLE

Figura 9.5.- Comprobación de iluminancia de emergencia en el proyecto de instalación propuesto.

Se indica además que la temperatura de color debe ser idéntica para todo el entorno, el cual se basa en el uso de proyectores con la misma temperatura de color, como es el caso. Por último, se incluye también en la *Tabla 9.6* el mayor deslumbramiento que se produce en el terreno de juego.

Comprobación de requerimientos para retransmisión en 1ª División			Campo de fútbol	
Otras características lumínicas	Uniformidad temperatura de color	Requerido	100%	
		Medido	100%	CUMPLE
	Deslumbramiento (GR)	Requerido	≤ 50	
		Medido	< 45	CUMPLE

Figura 9.6.- Comprobación de la uniformidad de temperatura de color y el índice de deslumbramiento GR máximo producido.

De esta forma, se garantiza el cumplimiento de todos los requerimientos exigidos por normativa, siendo la propuesta de instalación de iluminación válida para implementar en el estadio.

# 10.- Presupuesto

## 10.1.- Cuadro de precios descompuestos

Cuadro de Precios Descompuestos					
Nº	Código	Ud	Descripción		Total
<b>1 ACTUACIONES PREVIAS</b>					
1.1	P1		<b>Desmontaje de los proyectores actualmente instalados en la cubierta del estadio</b>		
	MO001	0,400 h	Oficial primera electricista	19,280	7,71
	MO002	0,400 h	Ayudante electricista	17,610	7,04
	MI001	0,400 h	Plataforma telescópica 38m	17,540	7,02
		3,000 %	Costes indirectos	21,770	0,65
			<b>Precio total por .....</b>		<b>22,42</b>
<b>Son veintidos Euros con cuarenta y dos céntimos</b>					
<b>2 INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN</b>					
2.1	P2	UD	<b>Suministro e instalación de proyectores de módulo único modelo Tapia de 425W con las siguientes características técnicas: eficacia desde 104 lm/W, flujo luminoso superior a 44500 lúmenes, IRC&lt;90, temperatura de color de 5000K, ópticas simétricas de 30º y 15º según indica el estudio de iluminación, vida útil L80B10 a deºC superior a 100000 horas, cuerpo fabricado con fundición de aluminio inyectado, grado de estanqueidad IP66 e índice de protección frente a impactos IK08, con driver alojado en el propio proyector, dimensiones máximas de 768 x 310 x 135,7 mm con un peso total de 9 Kg, protector contra sobretensiones de 10 Kv. Incluyendo la conexión del clabeado y la fijación de la orientación final de los proyectores en la instalación.</b>		
	MP001	1,000 UD	Proyector LED modelo Tapia 1 módulo ...	379,620	379,62
	MP2001	1,000 UD	Pequeño material para instalación de pr...	18,980	18,98
	MO001	0,600 h	Oficial primera electricista	19,280	11,57
	MO002	0,600 h	Ayudante electricista	17,610	10,57
	MI001	0,600 h	Plataforma telescópica 38m	17,540	10,52
		3,000 %	Costes indirectos	431,260	12,94
			<b>Precio total por UD .....</b>		<b>444,20</b>
<b>Son cuatrocientos cuarenta y cuatro Euros con veinte céntimos</b>					
2.2	P3	UD	<b>Suministro e instalación de proyectores de módulo único modelo Tapia de 850W con las siguientes características técnicas: eficacia desde 104 lm/W, flujo luminoso superior a 88900 lúmenes, IRC&lt;90, temperatura de color de 5000K, ópticas simétricas de 30º y 15º según indica el estudio de iluminación, vida útil L80B10 a deºC superior a 100000 horas, cuerpo fabricado con fundición de aluminio inyectado, grado de estanqueidad IP66 e índice de protección frente a impactos IK08, con driver alojado en el propio proyector, dimensiones máximas de 820 x 455 x 291 mm con un peso total de 20 Kg, protector contra sobretensiones de 10 Kv. Incluyendo la conexión del clabeado y la fijación de la orientación final de los proyectores en la instalación.</b>		
	MP002	1,000 UD	Proyector LED modelo Tapia de 2 mód...	842,740	842,74
	MP2002	1,000 UD	Pequeño material para instalación de pr...	42,140	42,14
	MO001	0,750 h	Oficial primera electricista	19,280	14,46
	MO002	0,750 h	Ayudante electricista	17,610	13,21
	MI001	0,750 h	Plataforma telescópica 38m	17,540	13,16
		3,000 %	Costes indirectos	925,710	27,77
			<b>Precio total por UD .....</b>		<b>953,48</b>
<b>Son novecientos cincuenta y tres Euros con cuarenta y ocho céntimos</b>					
2.3	P4	m	<b>Suministro de Cable Cu de conexión para conectar los proyectores a los suministros eléctricos de tipo RV 06/1KV de 3x0,5 mm<sup>2</sup> e instalación.</b>		
			Sin descomposición		1,100
		3,000 %	Costes indirectos	1,100	0,03
			<b>Precio total redondeado por m .....</b>		<b>1,13</b>
<b>Son un Euro con trece céntimos</b>					

## Cuadro de Precios Descompuestos

Nº	Código	Ud	Descripción	Total
<b>3 SEGURIDAD Y SALUD</b>				
3.1	P5	UD	<b>Gastos relacionados con seguridad y salud en la instalación de iluminación:</b>  -Equipos de protección individual: Cascos, gafas protectoras, botas de seguridad, monos de trabajo, protectores auditivos, guantes aislantes y de seguridad, arneses anticaídas, cuerdas de seguridad, otros.  -Equipos de protección colectiva: Formación en riesgos laborales, mallas y redes de seguridad, otros.  -Señalización de seguridad: Señales y carteles, cintas, balizas, otros.  -Botiquín primeros auxilios con contenido sanitario completo según ordenanzas vigentes, extintores de polvo polivalentes, otros.	
		3,000 %	Sin descomposición Costes indirectos	4.915,466 147,46
			<b>Precio total redondeado por UD .....</b>	<b>5.062,93</b>
			Son cinco mil sesenta y dos Euros con noventa y tres céntimos	
<b>4 GESTIÓN DE RESIDUOS</b>				
4.1	P6	UD	<b>Gestión de todo tipo de residuos generados por gestor autorizado debidamente certificado, incluyendo la limpieza de la zona de ejecución de la obra y transporte de los residuos a un punto autorizado.</b>	
		3,000 %	Sin descomposición Costes indirectos	2.427,184 72,82
			<b>Precio total redondeado por UD .....</b>	<b>2.500,00</b>
			Son dos mil quinientos Euros	
4.2	P7	UD	<b>Ecotasas según el Real Decreto 110/2015 de 20 de Febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (&lt;2Kg)</b>	
		3,000 %	Sin descomposición Costes indirectos	0,796 0,02
			<b>Precio total redondeado por UD .....</b>	<b>0,82</b>
			Son ochenta y dos céntimos	

## 10.2.- Presupuesto y mediciones

Presupuesto renovación de instalación de iluminación del estadio de fútbol Carlos Tartiere

Página 13

PRESUPUESTO PARCIAL Nº 1 ACTUACIONES PREVIAS

Nº	DESCRIPCION	UDS.	LARGO	ANCHO	ALTO	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
1.1	. Desmontaje de los proyectores actualmente instalados en la cubierta del estadio					192,000	22,42	4.304,64



## PRESUPUESTO PARCIAL Nº 2 INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN

Nº	DESCRIPCION	UDS.	LARGO	ANCHO	ALTO	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
2.1	Ud. Suministro e instalación de proyectores de módulo único modelo Tapia de 425W con las siguientes características técnicas: eficacia desde 104 lm/W, flujo luminoso superior a 44500 lúmenes, IRC<90, temperatura de color de 5000K, ópticas simétricas de 30º y 15º según indica el estudio de iluminación, vida útil L80B10 a de°C superior a 100000 horas, cuerpo fabricado con fundición de aluminio inyectado, grado de estanqueidad IP66 e índice de protección frente a impactos IK08, con driver alojado en el propio proyector, dimensiones máximas de 768 x 310 x 135,7 mm con un peso total de 9 Kg, protector contra sobretensiones de 10 Kv. Incluyendo la conexión del cableado y la fijación de la orientación final de los proyectores en la instalación.					210,000	444,20	93.282,00
2.2	Ud. Suministro e instalación de proyectores de módulo único modelo Tapia de 850W con las siguientes características técnicas: eficacia desde 104 lm/W, flujo luminoso superior a 88900 lúmenes, IRC<90, temperatura de color de 5000K, ópticas simétricas de 30º y 15º según indica el estudio de iluminación, vida útil L80B10 a de°C superior a 100000 horas, cuerpo fabricado con fundición de aluminio inyectado, grado de estanqueidad IP66 e índice de protección frente a impactos IK08, con driver alojado en el propio proyector, dimensiones máximas de 820 x 455 x 291 mm con un peso total de 20 Kg, protector contra sobretensiones de 10 Kv. Incluyendo la conexión del cableado y la fijación de la orientación final de los proyectores en la instalación.					248,000	953,48	236.463,04
2.3	M. Suministro de Cable Cu de conexión para conectar los proyectores a los suministros eléctricos de tipo RV 06/1KV de 3x0,5 mm <sup>2</sup> e instalación.					2.290,000	1,13	2.587,70

Total presupuesto parcial nº 2 ... 332.332,74

## PRESUPUESTO PARCIAL Nº 3 SEGURIDAD Y SALUD

Nº	DESCRIPCION	UDS.	LARGO	ANCHO	ALTO	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
3.1	Ud. Gastos relacionados con seguridad y salud en la instalación de iluminación:  -Equipos de protección individual: Cascos, gafas protectoras, botas de seguridad, monos de trabajo, protectores auditivos, guantes aislantes y de seguridad, arneses anticaídas, cuerdas de seguridad, otros.  -Equipos de protección colectiva: Formación en riesgos laborales, mallas y redes de seguridad, otros.  -Señalización de seguridad: Señales y carteles, cintas, balizas, otros.  -Botiquín primeros auxilios con contenido sanitario completo según ordenanzas vigentes, extintores de polvo polivalentes, otros.					1,000	5.062,93	5.062,93

## PRESUPUESTO PARCIAL Nº 4 GESTIÓN DE RESIDUOS

Nº	DESCRIPCION	UDS.	LARGO	ANCHO	ALTO	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
4.1	Ud. Gestión de todo tipo de residuos generados por gestor autorizado debidamente certificado, incluyendo la limpieza de la zona de ejecución de la obra y transporte de los residuos a un punto autorizado.					1,000	2.500,00	2.500,00
4.2	Ud. Ecotasas según el Real Decreto 110/2015 de 20 de Febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (<2Kg)					458,000	0,82	375,56

Total presupuesto parcial nº 4 ... 2.875,56



## RESUMEN POR CAPITULOS

CAPITULO ACTUACIONES PREVIAS	4.304,64
CAPITULO INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN	332.332,74
CAPITULO SEGURIDAD Y SALUD	5.062,93
CAPITULO GESTIÓN DE RESIDUOS	2.875,56
REDONDEO.....	
PRESUPUESTO DE EJECUCION MATERIAL.....	<u>344.575,87</u>

EL PRESUPUESTO DE EJECUCION MATERIAL ASCIENDE A LAS EXPRESADAS TRESCIENTOS CUARENTA Y CUATRO MIL QUINIENTOS SETENTA Y CINCO EUROS CON OCHENTA Y SIETE CÉNTIMOS.

## 10.3.- Presupuesto total

Proyecto: Presupuesto renovación de instalación de iluminación del estadio de fútbol Carlos Tartiere

<b>Capítulo</b>	<b>Importe</b>
Capítulo 1 ACTUACIONES PREVIAS	4.304,64
Capítulo 2 INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN	332.332,74
Capítulo 3 SEGURIDAD Y SALUD	5.062,93
Capítulo 4 GESTIÓN DE RESIDUOS	2.875,56
Presupuesto de ejecución material	344.575,87
13% de gastos generales	44.794,86
6% de beneficio industrial	20.674,55
Suma	410.045,28
21% IVA	86.109,51
Presupuesto de ejecución por contrata	<u>496.154,79</u>

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de CUATROCIENTOS NOVENTA Y SEIS MIL CIENTO CINCUENTA Y CUATRO EUROS CON SETENTA Y NUEVE CÉNTIMOS.

## 11.- Conclusiones

Ante el estudio realizado en el presente proyecto en términos de diseño y fabricación de luminarias LED, así como un análisis de su viabilidad en la aplicación particular para la iluminación artificial de campos de fútbol profesionales, asegurando el cumplimiento de requerimientos luminotécnicos y demás exigencias por normativa pueden vislumbrarse una serie de conclusiones que se enumeran a continuación:

- Actualmente la tecnología LED es el modo de iluminación que mayores ventajas ofrece respecto a los métodos convencionales de iluminación, tanto para campos de fútbol profesionales como para cualquier tipo de aplicación, ya que, en términos de propiedades técnicas, durabilidad y mejoras ecológicas es la opción más recomendable. Por estas razones, las nuevas obras de iluminación se declinan hacia este tipo de tecnología, además de una sustitución continuada de los equipos de alumbrado instalados actualmente, por razones de normativa o por el ahorro y las prestaciones mejoradas que ofrece.
- Existe un gran número de campos relacionados con la tecnología LED orientados a la innovación y mejora continua de las propiedades de esta, ya sea con nuevos tipos de LED, mejoras en los equipos auxiliares (*drivers*), mayores prestaciones en los componentes de las luminarias (*PCBs, housing, disipadores térmicos, etcétera*), optimización de los procesos de fabricación y ensayos de verificación, etcétera. Esto hace suponer que en un futuro próximo la tecnología LED seguirá evolucionando y aumentando los beneficios ofrecidos en el sector de la iluminación artificial.
- Particularizando para el caso de iluminación artificial en campos de fútbol profesionales, debido a los exigentes requerimientos establecidos por la normativa de Retransmisión televisiva en términos colorimétricos solamente es viable la instalación de proyectores de halogenuros metálicos o proyectores LED. Entre ambas tecnologías de iluminación, gracias a las mejores características de la iluminación LED debido a la capacidad de reencendido instantáneo sin necesidad

de equipos auxiliares, una mayor eficacia que se traduce en la necesidad de un menor número de proyectores y la mayor durabilidad que ofrecen se convierten en la mejor tecnología de iluminación existente en la actualidad para el caso que aplica.

- Como se ha comentado a lo largo del proyecto, por motivos de producción de retransmisión televisiva de alta calidad, la iluminación es uno de los factores fundamentales en los estadios de fútbol profesionales, de tal forma que, ante la elevada inversión que conlleva la adaptación de la instalación al dimensionado de la estructura del estadio, es plausible el hecho de ser tenido en cuenta en la planificación de la construcción de nuevos estadios como una de sus características principales, minimizando el uso de proyectores y reduciendo con ello inversión y consumo total de la instalación.

## 12.- Bibliografía

- [1] Comité Español de Iluminación, "Requerimientos técnicos exigibles para luminarias con tecnología LED de alumbrado exterior", *IDAE 4-120815*, 2019.
- [2] P. Pust, P. J. Schmidt and W. Schnick, "A revolution in lighting", *Nature materials*, vol. 14, no. 5, pp. 454-458, 2015.
- [3] F. G. Montoya, A. Peña-García, A. Juaidi and F. Manzano-Agugliaro, "Indoor lighting techniques: An overview of evolution and new trends for energy saving". *Energy and buildings*, vol. 140, pp. 50-60, 2017.
- [4] E. F. Schubert, "Light-emitting diodes", *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, pp. 1-10, 1999.
- [5] A. Gago, A. G. Calderón and J. Fraile, "Iluminación con tecnología LED", Editorial Paraninfo, 2012.
- [6] A. Sá, "Aplicaciones de LED en Diseño de Iluminación", *ICandela*, 2015.
- [7] A. Okuno, Y. Miyawaki, N. Oyama and W. Dongxu, "Unique white LED packaging systems," *Fifth International Conference on Electronic Packaging Technology Proceedings*, 2003. ICEPT2003., Shanghai, China, 2003, pp. 225-229.
- [8] S. Muthu, F. J. Schuurmans and M. D. Pashley, "Red, green, and blue LED based white light generation: issues and control," *Conference Record of the 2002 IEEE Industry Applications Conference. 37th IAS Annual Meeting*, Pittsburgh, PA, USA, 2002, pp. 327-333 vol.1.
- [9] T. Matsuoka "Overview of Nitride Semiconductors", In *International Journal of Optomechatronics*, 2015.
- [10] D. B. Slater Jr and J. A. Edmond, "LED bonding structures and methods of fabricating LED bonding structures", *U.S. Patent No. 7,642,121*, 2010.
- [11] FactorLED, "Tipos de diodos LED: características técnicas y formatos", 2018.
- [12] V. Alonso, A. Pichel, S. Álvarez, and I. Barbeito, "Fundamentos claves en el diseño y configuración de luminarias LED", *Dinamo técnica: revista gallega de energía*, vol. 22, pp. 14-15, 2018.

- [13] K. T. Kamtekar, A. P. Monkman and M. R. Bryce, "Recent advances in white organic light-emitting materials and devices (WOLEDs)", *Advanced Materials*, vol. 22, no. 5, pp. 572-582, 2010.
- [14] S. C. Shei and J. K. Sheu, "LED device, flip-chip LED package and light reflecting structure", *U.S. Patent No. 6,914,268.*, 2005.
- [15] Integrated Silicon Solution Inc. (ISSI), "Expands Family of LED Current Regulators", *Catalogue of Integrated Silicon Solution Inc. (ISSI)*, 2019.
- [16] A. Wilkins, J. Veitch and B. Lehman, "LED lighting flicker and potential health concerns: IEEE standard PAR1789 update," 2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, Atlanta, GA, 2010, pp. 171-178.
- [17] "Electrónica de potencia", class notes for 4º Grado de Ingeniería en Telecomunicaciones, Universidad de Oviedo, Campus virtual, 2018.
- [18] M. Arias, A. Vázquez, and J. Sebastián, "An overview of the AC-DC and DC-DC converters for LED lighting applications", *Automatika*, vol. 53, no. 2, pp. 156-172, 2012.
- [19] S. ENERGY, "Program Requirements for solid state lighting luminaires", *Eligibility Criteria–Version*, vol. 1, no. 1, 2008.
- [20] M. Arias, A. Vázquez, and J. Sebastián, "An overview of the AC-DC and DC-DC converters for LED lighting applications", *Automatika*, vol. 53, no. 2, pp. 156-172, 2012.
- [21] I. Castro Álvarez, K. Martín Díaz, M. Arias Pérez de Azpeitia, D. González Lamar, M. M. Hernando Álvarez, S. Zúñiga, and F. Javier, "Convertidor CA/CC en una única etapa para HB-LED, basado en un PUSH-PULL de doble inductancia alimentado en corriente", 2017.
- [22] A. Sá, "Aplicaciones de LED en Diseño de Iluminación", *ICandela*, 2015.
- [23] International Commission on Illumination, "Glare Evaluation System for Use within Outdoor Sports and Area Lighting", *Publication CIE 112:1994*, 1994.
- [24] International Commission on Illumination, "CIE Colorimetric and Colour Rendering Tables", *publication CIE 2004*, 2004.
- [25] Asociación Española de Normalización y Certificación, "Compatibilidad electromagnética (CEM), parte 3-3: Límites", *Norma UNE-EN 61000-3-3*, 2008.

- [26] U.S. Department of Energy, "Solid-state lighting technology fact sheet: Flicker", *Energy Efficiency & Renewable Energy*, 2016.
- [27] A. Wilkins, J. Veitch and B. Lehman, "LED lighting flicker and potential health concerns: IEEE standard PAR1789 update," 2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, Atlanta, GA, 2010, pp. 171-178.
- [28] H. Chiu, Y. Lo, J. Chen, S. Cheng, C. Lin and S. Mou, "A High-Efficiency Dimmable LED Driver for Low-Power Lighting Applications," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 57, no. 2, pp. 735-743, Feb. 2010.
- [29] S. Y. Hui, S. N. Li, X. H. Tao, W. Chen and W. M. Ng, "A Novel Passive Offline LED Driver With Long Lifetime," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 25, no. 10, pp. 2665-2672, Oct. 2010.
- [31] LaLiga española de fútbol profesional (LFP), "Reglamentación para retransmisión televisiva en campos de fútbol profesionales", 2016.
- [32] O. Sala, "9 Ventajas de la tecnología LED", In *Expo Lighting America 2011*, 2011.
- [33] B. O'Donnell, J. Sandoval and F. Paukste, "Fuentes luminosas", Capítulo 4, 2015.
- [34] A. Corazza, S. Giorgi, C. Boffito, V. Massaro and D. Caccia, "Characteristics of the getter materials used in High Intensity Discharge Lamps," Conference Record of the 2006 IEEE Industry Applications Conference Forty-First IAS Annual Meeting, Tampa, FL, 2006, pp. 1801-1807.
- [36] Comité Español de Iluminación (CEI), "Estimación de la vida de los LEDs en base a sus requerimientos funcionales", in XLII Simposium de Nacional de Alumbrado del CEI.
- [37] L. Rivera, "Análisis comparativo de parámetros generales entre las lámparas de alumbrado público", *Trabajos de ingeniería*, no. 93, 2015.
- [38] Directiva ErP, "Normativa ErP para la eliminación gradual de 2018", *ErP (EC) 244/2009*, 2018.
- [39] G. G. Lister, J. E. Lawler, W. P. Lapatovich, and V. A. Godyak, "The physics of discharge lamps", *Reviews of modern physics*, vol. 76, no. 2, pp. 541, 2004.
- [40] S. A. Mucklejohn, "An overview of the impact of dimming metal halide discharge lamps", *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 51, no. 6, pp. 4797-4801, 2015.

- [41] J. Zhou, J. Huang, Y. Wang and Z. Zhou, "Thermal distribution of multiple LED module", *Applied Thermal Engineering*, vol. 93, pp. 122-130, 2016.
- [42] Catalog. Lumileds, "Luxeon 3030 2D Datasheet", 2019. Available: <https://www.lumileds.com/products/mid-power-leds/luxeon-3030-2d>.
- [43] K. C. Yung, H. Liem, H. S. Choy, "Heat transfer analysis of a high-brightness LED array on PCB under different placement configurations", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 53, pp. 79-86, 2014.
- [44] K. C. Yung, H. Liem, H. S. Choy, "Heat transfer analysis of a high-brightness LED array on PCB under different placement configurations", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 53, pp. 79-86, 2014.
- [45] J. Garreta, J. Leandro and L. Boyano (Comité español de Iluminación), "Iluminación LED: Eficiencia, eficacia y rendimiento", In *XLI Simposium Nacional de alumbrado*, 2016.
- [46] University of California - Santa Bárbara, "Cause of LED efficiency droop finally revealed", *ScienceDaily*, 2013.
- [47] P. Auger, "Sur les rayons  $\beta$  secondaires produits dans un gaz par des rayons X", *CR Acad. Sci. (F)*, pp. 177- 169, 1923.
- [48] D. Galadí (Comité Español de Iluminación), "Posibles riesgos de la iluminación LED: Contaminación luminosa", Documento 1, 2013.
- [49] N. Rivero, A. Cardozo, G. Pérez and M. Sellanes, "Medida de flujo luminoso en Esfera de Ulbricht, estudio de incertidumbres e intercomparación con cálculo por integración", 2010.
- [50] "DIALux Versión 4.9, estándar de software para el cálculo de iluminación, manual de usuario", 2011.

# Anexos



## A.- La tecnología LED y equipos asociados

### A.1.- Producción de luz

El descubrimiento del fenómeno de la electroluminiscencia provocó la invención de LEDs de distintos colores gracias al uso de diferentes semiconductores para la fabricación de las uniones P-N (entre el rápido descubrimiento de la emisión de luz de cualquier color se exceptúa el blanco, ya que para su producción se requiere de un método adicional, el cual es descrito en el párrafo posterior). El color de la luz emitida depende de su longitud de onda, y esta depende del ancho de la banda prohibida característica de cada par de semiconductores, llegando a alcanzar un amplio rango de longitudes de onda en el espectro visible del ojo humano, además de luz infrarroja y ultravioleta cercano cuando se requiera. La *Tabla A.1* muestra algunos de los semiconductores compuestos más utilizados y la frecuencia de luz emitida [5]. Como se puede apreciar, los semiconductores están formados por combinaciones dobles, triples y cuádruples de elementos semimetales de los grupos III y V de la tabla periódica. En todo caso, de los observados en la tabla, puede destacarse el uso de Fosforo de aluminio-galio-indio (AlGaInP), Arseniuro de galio-aluminio (AlGaAs), Fosforo de galio-aluminio (AlGaP) y Nitruro de galio-indio (InGaN), siendo el resto usados habitualmente en requerimientos especiales [6].

Frecuencia (nm)	Color	Semiconductor
940	Infrarrojo	GaAs
890		GaAlAs
700	Rojo profundo	GaP
660		GaAlAs
640	Rojo	AlInGaP
630		GaAsP/GaP
626		AlInGaP
615	Naranja	AlInGaP
610		GaAsP/GaP
590	Amarillo	GaAsP/GaP
590		AlInGaP
565	Verde	GaP
555		GaP
525		InGaN
525		GaN
505	Verde turquesa	InGaN/Zafiro
498		InGaN/Zafiro
480	Azul	SiC
450		InGaN/Zafiro
430		GaN
425		InGaN/Zafiro
370	Ultravioleta	GaN

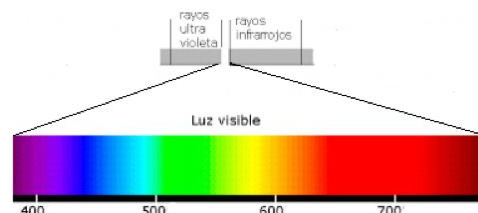


Tabla A.1.- Tabla de longitudes de onda respecto a los materiales semiconductores de LEDs más utilizados y representación de parte del espectro expresado en nanómetros (nm).

Para la producción de luz blanca, que es el tipo de luz más habitualmente utilizado para iluminación general en la actualidad, puede agruparse en dos métodos principales: El método de mezcla aditiva de colores, el cual se basa en una combinación de luz de diferentes fuentes discretas que emiten los colores primarios (conocidos como sistemas RGB, que se basan en la mezcla de luz roja, verde y azul), o un segundo método de LEDs basados en fósforo, el cual consiste en la utilización de una capa de fósforo (que puede ir aplicada sobre el semiconductor o incrustado en una resina dispuesta de una configuración volumétrica encapsulando el semiconductor [7]) para convertir la luz de un LED azul en una blanca. Este último método se basa en que, ante la luz azul emitida por el LED rica en energía de onda corta, estimula la capa de fósforo aplicada hasta que se enciende emitiendo luz amarilla de menor energía, la mezcla de los dos colores de luz azul y amarilla produce la luz blanca objetivo que puede ser de un amplio rango de tonalidades, según el LED azul utilizado y el colorante del fósforo.

El uso LEDs basados en fósforo se encuentra más extendido que los sistemas RGB para la producción de luz blanca debido a una serie de inconvenientes que posee este último

método como son la dificultad en la mezcla y distribución de luz espacial uniforme, mantenimiento del punto de color blanco o la gestión térmica, que puede disminuir el rendimiento del LED [8]. No obstante, los sistemas RGB son de gran utilidad y necesarios si se requiere la producción de diferentes colores con la misma fuente emisora, ya que la combinación de los colores primarios puede producir cualquier color observable por el ojo humano.

## A.2.- Fabricación del diodo LED

Para la fabricación de un diodo LED, se utiliza como base una oblea de normalmente un sustrato de carburo de silicio o un cristal de zafiro con un nivel muy bajo de impurezas, a esta se le aplica un riguroso proceso de limpieza mediante métodos químicos y ultrasónicos, garantizando la eliminación de cualquier tipo de suciedad y polvo que se haya podido depositar por la fabricación de esta. Sobre ella se hacen crecer dos capas uniformes de cristal semiconductor, formada por los elementos apreciables de la *Tabla A.1.* para la obtención del semiconductor que sea requerido.

Los materiales semiconductores son formados en condiciones de altas temperaturas y elevada presión, de forma que los elementos se licuan hasta convertirse en una solución. Para evitar fugas del gas de los elementos químicos, se utiliza una capa líquida de óxido de boro (este método es conocido como encapsulación líquida o Czochralski (LEC)). Finalmente, la solución se mezcla y, cuando es completamente homogénea, se pone en contacto con el material del sustrato base, haciendo enfriar la solución y recristalizándose con la estructura requerida. Este proceso de producción de los cristales semiconductores sobre la base es denominado epitaxia, o de forma más concreta, crecimiento epitaxial en fase líquida. No obstante, otros modos de crecimiento epitaxial como es en fase de vapor también son ampliamente utilizados para la producción de semiconductores compuestos [9].

El método epitaxial es un método de fabricación capaz de controlar de manera muy precisa el nivel de impurezas de los semiconductores recristalizados, lo que se traduce en un

control muy preciso del nivel de dopaje de estos, definiendo de tal forma su carácter N y P respectivamente en cada una de las capas. Para realizar la unión entre las dos capas de semiconductores pueden utilizarse diferentes métodos, como la utilización de un contacto óhmico de metal, con un volumen relativo muy inferior a los cristales semiconductores [10], produciendo la unión P-N en la denominada región como capa activa debido a que es la zona donde se producen las recombinaciones, proceso esencial de la producción lumínica.

Una vez creados los cristales semiconductores, se pone el diodo en contacto con las bases de metal necesarias para poder realizar la conducción de corriente eléctrica que atravesará los semiconductores, utilizando un enlace termo sónico o de termocompresión para realizar la unión. Finalmente, el LED es encapsulado mediante una resina semirrígida para compactar y proteger el chip, los diferentes modos de montaje, que incluyen los modos de encapsulado, definirán en gran medida sus características finales y el tipo de LED que se trata.

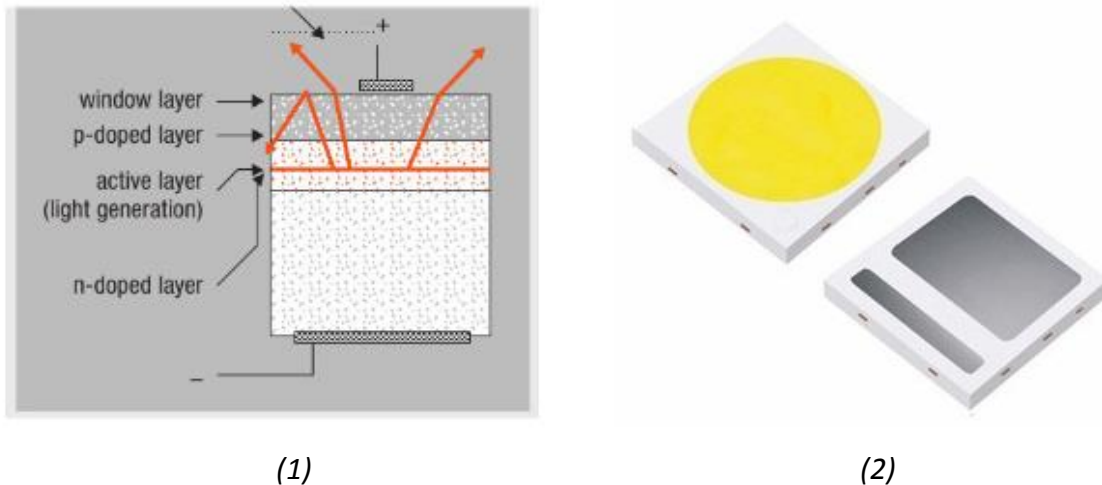


Figura A.1.- (1) Sección transversal de un semiconductor LED, mostrando la región P, capa activa, la región N y los terminales eléctricos y (2) Imagen anterior y posterior de un chip LED.

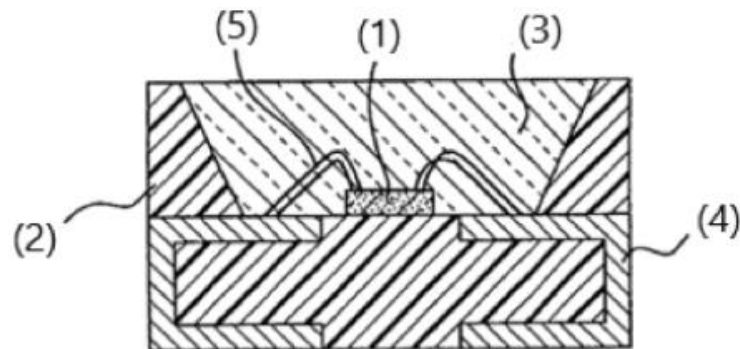
### A.3.- Montaje del chip LED

Una vez definido el proceso de fabricación del chip LED, es necesario reconocer los modos de montaje del LED, ya que definirá la estructura final de este, así como características finales del chip en cuestión.

El sustrato es la base del LED, donde se encuentran ubicados los materiales semiconductores del mismo. Este debe de tener unas propiedades específicas como un grado de impurezas muy bajo (de tal forma que se trate de un material neutro y, de tal forma, no tener ninguna influencia en los cristales semiconductores dopados n y p ante el paso de corriente), así como una buena conductividad térmica ya que, en los LEDs, y en especial los que poseen una elevada potencia, lograr una buena disipación de calor se traduce en un aumento del rendimiento del diodo, optimizando sus características. Un mismo sustrato LED puede estar compuesto por más de un solo par de semiconductores adheridos a él (el número de semiconductores que posee es denominado como número de núcleos), lo cual es necesario para sistemas RGB, ya que requiere la necesaria existencia de 3 núcleos fabricados con diferentes materiales (de modo que produzcan luz roja, verde y azul respectivamente). Para procurar resistencia estructural al LED, según su número de núcleos, disposición y demás características, es posible también el uso de carcasas, acorde con el tamaño y diseño del LED.

En el caso de que se requiera de una producción de luz blanca mediante fósforo, como ya se ha comentado, puede colocarse una capa de este sobre los materiales semiconductores (conversión por capa) o una incrustación del mismo en una cubierta de una resina semirrígida que encapsula al semiconductor, protegiéndolo de golpes y suciedad, además de actuar como óptica primaria para la emisión de luz (conversión volumétrica). No obstante, el encapsulado de protección puede darse sin la necesidad del incrustado de fósforo, con el objetivo de aportar los beneficios de resistencia y seguridad del LED. El encapsulado mediante resina puede realizarse con diferentes materiales, no obstante, es habitual el uso de silicona.

Existe una gran variedad de montajes que pueden implicar el uso de otros elementos auxiliares, como puede ser el caso de cables embebidos en el encapsulado para la conexión de los terminales metálicos. Los diferentes montajes y configuraciones de los LEDs, como se ha comentado anteriormente, definen diferentes tipologías existentes, que son descritos en el *subcapítulo 3.1.2*.



*Figura A.2.- Ejemplo de sección transversal de un LED particular. (1) Cristal semiconductor del LED, (2) carcasa, (3) resina semirrígida con incrustación de fósforo, (4) terminales eléctricos y (5) cables eléctricos.*



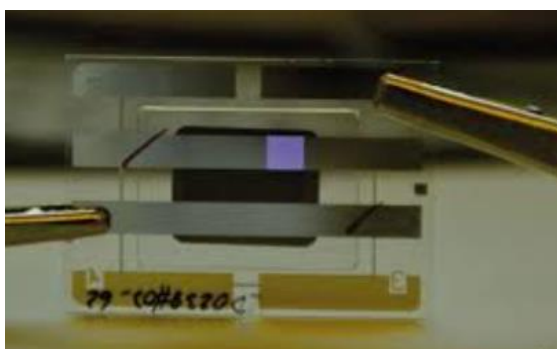
*Figura A.3.- Imagen de un chip LED de tecnología RGB, con terminales eléctricos independientes para cada núcleo del chip.*

#### **A.4.- Nuevas tecnologías de iluminación LED**

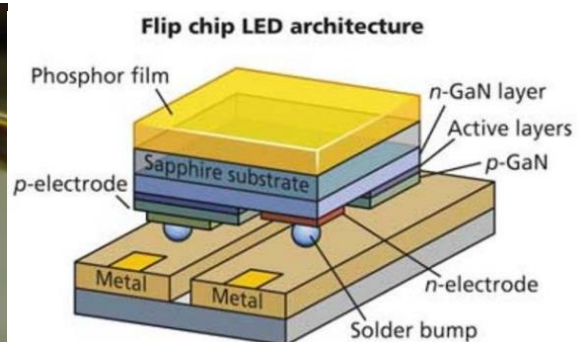
Tal y como se ha comentado en el *subcapítulo 3.2*, se encuentran en la actualidad nuevas tecnologías LED en proceso de desarrollo. El uso de nuevas técnicas, materiales y modos

de montaje promete instar una nueva revolución en la iluminación LED y en nuevos campos de aplicación. Se pueden destacar el desarrollo de algunas de estas tecnologías como **los diodos emisores de luz orgánicos (OLED)** [13], los cuales utilizan como elemento semiconductor compuestos orgánicos y con uso de sustratos transparentes. Su principal aplicación en la actualidad se basa en pantallas digitales de diferentes tipos de dispositivos. No obstante, existen esfuerzos en investigación orientados al desarrollo de tecnología OLED en LEDs blancos para utilizar esta tecnología en aplicaciones de iluminación. **El LED flip chip (FCLED)** [14], el cual es un método innovador de montaje de los chips con características propias como conexión de electrodos por la parte inferior (evitando el uso de hilos) o la no necesidad de resina epoxi ofrece una serie de ventajas como son la reducción de tamaño al mínimo posible y una mejor disipación térmica de los LEDs, de tal forma que mejora las propiedades de este tipo de LED orientado a la iluminación. También es posible destacar las tecnologías LED evolucionadas del LED COB como son los **LEDs DOB** (“*driver on board*”) en los que el acondicionamiento de la tensión de entrada es realizado en el propio chip LED.

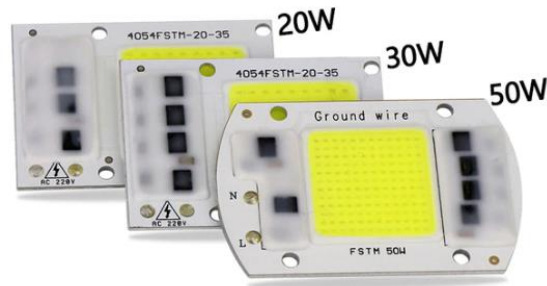
Las innovaciones comentadas se encuentran en proceso de desarrollo, no obstante, la comercialización de estos nuevos chips LED comienza a producirse con asiduidad e insta a imaginar en el comienzo de una nueva revolución en la tecnología LED.



(1)



(2)



(3)

Figura A.4- Chips LED de nueva tecnología: (1) chips OLED, (2) chips FCLED y (3) chips DOB.

## A.5.- Topologías de los drivers

### A.5.1.- Tipos de fuentes de alimentación

La regulación de la fuente de alimentación para la obtención de un nivel de tensión o corriente fijado se basa en dos modos posibles gracias a la característica de la rápida respuesta dinámica de los LEDs, de tal forma que la luz emitida por estos depende del valor medio de la corriente suministrada, clasificando por tanto los *drivers* en dos tipologías diferentes:

#### A.5.1.1.- Fuentes de alimentación lineales

También conocida como regulación analógica, es un tipo de *driver* que puede atenuar la corriente y tensión tal y como muestra la *Figura A.5* con el uso de diferentes elementos activos, como transistores, y pasivos. Estos elementos trabajan de tal forma que actúan como una resistencia variable que se ajusta continuamente mediante un lazo de control retroalimentado para transmitir la corriente de referencia requerida a los LEDs tal y como ejemplifica la *Figura A.6*.



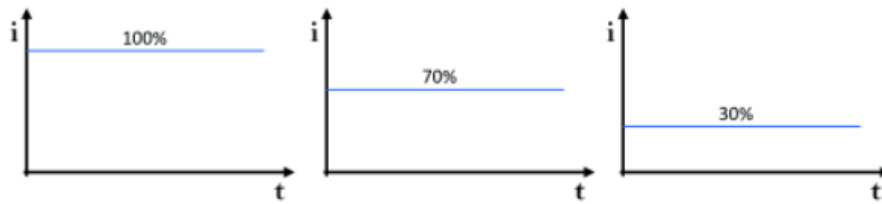


Figura A.5.- Modulación de atenuación constante de corriente.

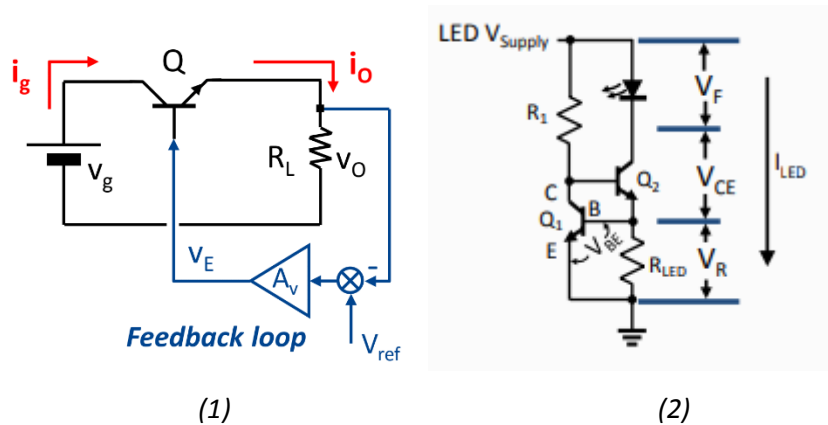


Figura A.6.- Ejemplo de circuito de fuente lineal compuesto por dos resistencias y dos transistores, la activación de  $Q_2$  atenuará la corriente  $I_{LED}$ . Su referencia de regulación se encuentra

$$\text{determinada por } I_{LED} = \frac{V_{BE}}{R_{LED}} [15].$$

Son circuitos que se emplean en aplicaciones de bajo consumo. Tienen un diseño sencillo y facilidad en su implantación. No obstante, poseen un bajo rendimiento y solo son capaces de atenuar respecto a la tensión de entrada. Además, otra de sus mayores desventajas es que la variación en la corriente que atraviesa los LEDs afecta a los valores cromáticos de la luz emitida (concepto descrito en el *subcapítulo 4.2*), ya que la cromaticidad de la luz emitida depende del valor máximo de la corriente suministrada al diodo.

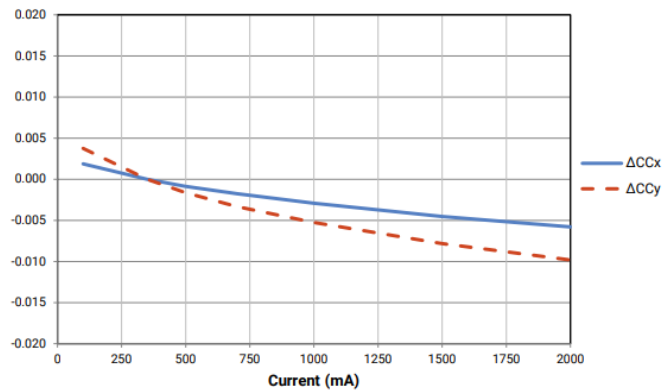


Figura A.7.- Variación en las coordenadas cromáticas debidas a la corriente que atraviesa un chip LED Cree XP-Lamp G3 White.

### A.5.1.2.- Fuentes de alimentación conmutadas

En este tipo de drivers la tensión de salida sufre una variación todo o nada como se observa en la Figura A.8, consiste en un interruptor o "switch" que permite o evita el paso de corriente por el circuito hasta los LEDs. El interruptor que conmuta está constituido por un transistor MOSFET o BJT, cuya funcionalidad se basa en trabajar en estado saturado o en estado de corte, de tal forma que permite el paso o no respectivamente de corriente haciendo la función del interruptor. Controlando el ancho de pulso (tiempo en el que permite el paso de corriente) se puede definir el valor de la tensión/corriente de salida (i.e., la proporcionada a los LEDs) y, por tanto, la luz emitida. El modo más habitual para generar la corriente conmutada es el uso de circuitos de mando con operación a frecuencia fija, fácilmente generada con un modulador de ancho de pulso (PWM).

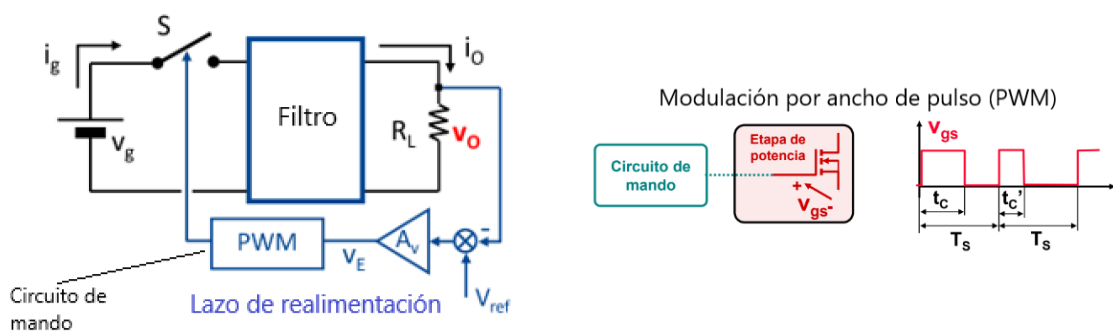
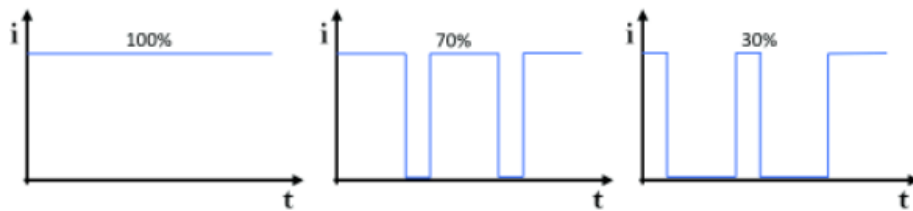


Figura A.8.- Topología de fuente de alimentación conmutada por modulación de ancho de pulso.

Para expresarlo, el ciclo de trabajo  $D$  representa el porcentaje del periodo en el que el circuito está encendido (cuando el transistor permite el paso de corriente), y es representado por la *Fórmula (A.1)* y la *Figura A.9*.

$$D(\%) = \frac{\tau}{T} * 100 \quad (A.1)$$

Donde  $D$  = ciclo de trabajo,  $\tau$  = tiempo de tensión positiva y  $T$  = periodo



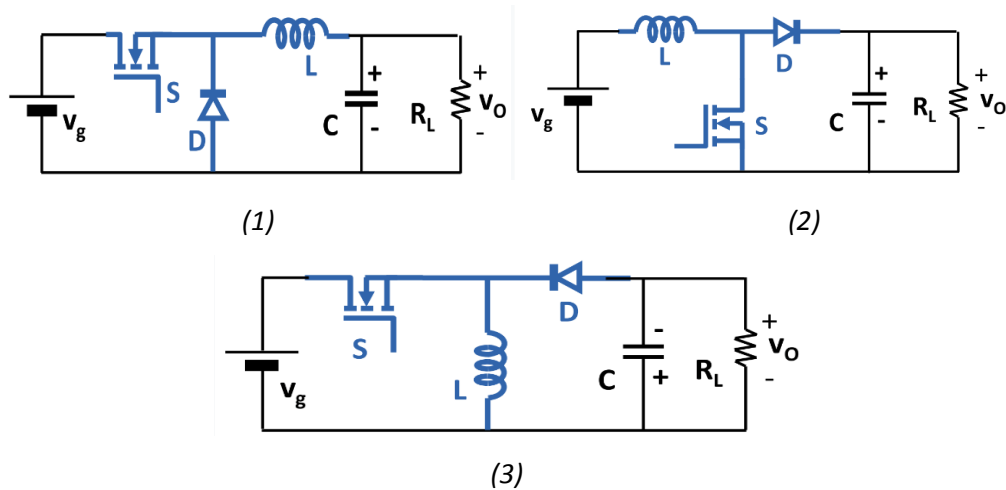
*Figura A.9.- Corriente de salida debida a la modulación por ancho de pulso.*

En primera instancia, puede suponerse que el encendido y apagado ejecutado en los LEDs puede producir parpadeos, no obstante, los *drivers* conmutados tienen la capacidad de conmutar con una frecuencia superior a los 400 hercios y, por tanto, esta variación es completamente imperceptible para el ojo humano (el ser humano no es capaz de percibir parpadeos con una frecuencia superior a 200 Hz [16]), dando como resultado la percepción de flujo luminoso medio.

Los *drivers* conmutados son ampliamente más utilizados que los reguladores lineales debido a una serie de factores como son la capacidad de trabajo con rangos de potencia más amplios, mayores eficiencias (ya que cuando el interruptor se encuentra en estado de corte, al no circular corriente, esta no se disipa, mientras que en el regulador lineal esto sí sucedería). Además, son capaces de elevar la tensión de entrada del suministro eléctrico, mientras que, como ya se ha comentado, los *drivers* lineales no son capaces.

**Tipos de fuentes de alimentación conmutadas:** Existen distintas topologías de circuitos CC/CC que, debidas a las configuraciones en la que vienen dados sus distintos componentes (transistor, diodo, condensador y bobina) poseen ciclos diferentes durante el periodo  $dT$

(transistor saturado y diodo en circuito abierto) y el periodo  $T(1-d)$  (transistor en estado de corte y diodo el circuito cerrado), acarreado con ello diferentes consecuencias para la tensión de salida con respecto a la de entrada, pudiendo reducirla (convertidor CC/CC "Buck"), aumentarla (convertidor CC/CC "Boost") o realizar ambas funciones (convertidor CC/CC "Buck-Boost"). La *Figura A.10* ilustra estas topologías, las cuales poseen en color azul los componentes que cambian su disposición según la topología empleada para una más fácil visualización.



*Figura A.10.- Topologías básicas de fuentes conmutadas sin aislamiento galvánico: (1) convertidor reductor o "Buck", (2) convertidor aumentador o "Boost" y (3) convertidor reductor-aumentador o "Buck-Boost" [17].*

Estas topologías anteriores no poseen aislamiento galvánico, esto quiere decir que no poseen una separación de sus partes funcionales (tensión de entrada y tensión de salida) la cual se realiza con un dispositivo magnético (transformador) ubicado donde la tensión media es nula. Las dos topologías básicas que sí poseen aislamiento galvánico se basan en la introducción, con sus respectivas modificaciones necesarias para su correcto funcionamiento, de transformadores en una topología *Buck* (Convertidor CC/CC "*Fordward*") y en una topología *Buck-Boost* (Convertidor CC/CC "*Flyback*") mostradas en la *Figura A.11*.

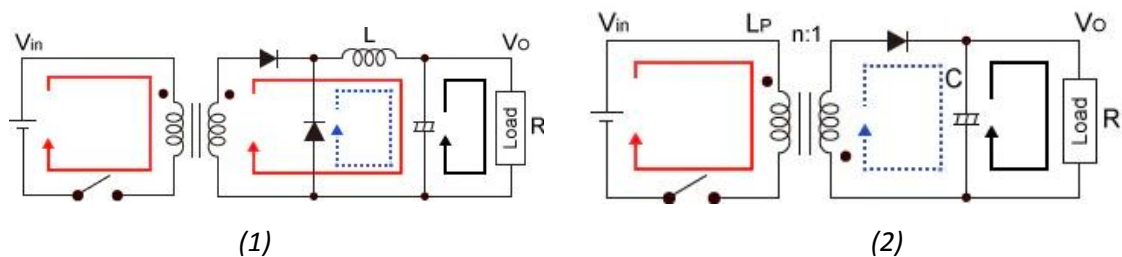


Figura A.11.- Configuración de los convertidores conmutados CC/CC con aislamiento galvánico: (1) Convertidor directo "Forward" y (2) Convertidor de retroceso "Flyback".

### A.5.2.- Clasificación de drivers según la tensión de suministro

Una vez conocidos los distintos modos de regular la tensión de entrada y definir las principales topologías que realizan la adaptación de la corriente, es posible hacer una distinción según el tipo de tensión de entrada que han de adaptar. Esta distinción es realizada ante la existencia de diferentes etapas de potencia en la actuación cuando la tensión de entrada es suministrada al *driver* en corriente continua o por el contrario proviene como corriente alterna [18]. No obstante, para el caso que atañe, donde la tensión de suministro es obtenida de la red de distribución general, el estudio se centrará en los *drivers* de conversión CA/CC.

**Suministro eléctrico de corriente alterna: Conversión CA/CC y CC/CC:** Para adecuar la tensión suministrada por la red eléctrica general, que como se ha comentado, es de corriente alterna (CA) o cualquier otra de este tipo de corriente, se utiliza en una primera etapa un puente rectificador y un Corrector de Factor de Potencia (CFP). La necesidad del CFP viene justificada porque, ante la corta intervención de los diodos, la corriente de red rectificadora no es senoidal y, por tanto, deterioran la calidad de la red del suministro eléctrico, cuantificado mediante el factor de potencia y distorsión armónica total. Si no fuera necesario el control de Factor de Potencia, una solución de aplicación simple sería el uso de un condensador electrolítico a la salida del puente rectificador, produciendo una tensión continua a la salida (con un bajo factor de potencia). No obstante, la normativa ENERGYSTAR [19], por ejemplo, exige un factor de potencia de 0,7 para luminarias de uso residencial y de al menos 0,9 para luminarias de uso comercial. Por su parte, la norma IEC

61000-3-2, limita en gran medida la distorsión armónica total para los equipos de clase C (equipos de iluminación) con una potencia superior a 25W. Por tanto, a la salida del puente rectificador es necesaria la corrección del factor de potencia, utilizando para ello circuitos activos (que implican el uso de transistores) conformados por convertidores CC/CC. Será necesario por tanto el uso de dos convertidores CC/CC, de tal forma que el primero trabaje como corrector del factor de potencia y el segundo regule la tensión al nivel requerido.

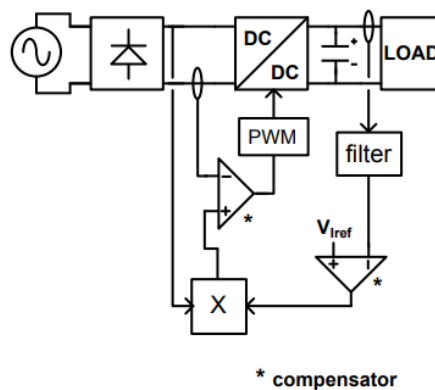


Figura A.12.- Ejemplo de topología de un driver de una sola etapa para suministro de corriente alterna [20].

Uno de los principales inconvenientes asociados a los drivers que transforman corriente alterna en corriente continua es que, debidos a la necesaria corrección de factor de potencia, se produce cierta tensión de rizado, que es una pequeña variación de tensión producida por la conversión de la tensión, produciendo el efecto *flicker* o parpadeo, que es definido en el subcapítulo 4.3.

Existen topologías más complejas, que utilizan dos etapas de convertidores CC/CC, el primero dirigido a la corrección de factor de potencia y el segundo utilizado para regular la corriente que se dirigirá a los LEDs. A pesar de poseer ventajas como la de ser capaz de alcanzar una eficiencia más elevada y cancelar cualquier tensión de rizado producida en la corrección del factor de potencia, su elevado número de componentes y considerables tamaños hacen que no sean los *drivers* más rentables y, por tanto, no son comúnmente comercializados [21].

## A.6.- Tipologías de driver según su modo de alimentación

### A.6.1.- Alimentación a corriente constante

La alimentación por corriente constante es utilizada debido a los problemas que puede acarrear una posible variación en el la corriente que atraviesan los LEDs y a la elevada sensibilidad de estos a cambios en la corriente que los atraviesa. Ante la relación exponencial que existe entre la tensión directa a la que se encuentra sometido un diodo LED frente a la corriente que fluye a través de él mostrada en la ecuación de Shockley (A.2), pequeñas variaciones de la tensión de entrada pueden provocar unas variaciones drásticas de corriente, lo que puede conllevar cambios perceptibles del flujo luminoso emitido. Para ilustrar este comportamiento, se ejemplifica con la gráfica real del efecto de variación de tensión frente a la corriente que atraviesa a los LED Cree Xlamp XP-G3 de alta potencia. En el gráfico puede observarse como con una variación de tensión de un 7% (2,78V – 2,98V) se traduce en un 300% de fluctuación en la corriente que atraviesa el diodo (500 mA – 1500 mA) lo que conlleva directamente a una variación del flujo luminoso.

$$I = I_s \left( e^{\frac{qV_D}{nkT}} - 1 \right) \quad (A.2)$$

Donde  $I$  es la intensidad de la corriente que atraviesa el diodo,  $I_s$  la intensidad de corriente de saturación,  $q$  la carga del electrón,  $T$  la temperatura absoluta de la unión,  $k$  la constante de Boltzmann,  $n$  el coeficiente de emisión (según el modo de fabricación del diodo) y  $V_D$  la diferencia de tensión entre sus extremos.

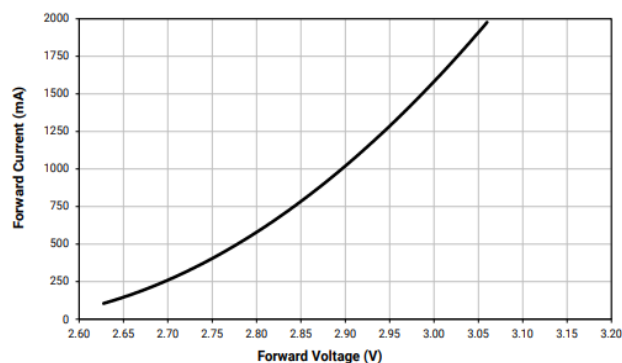
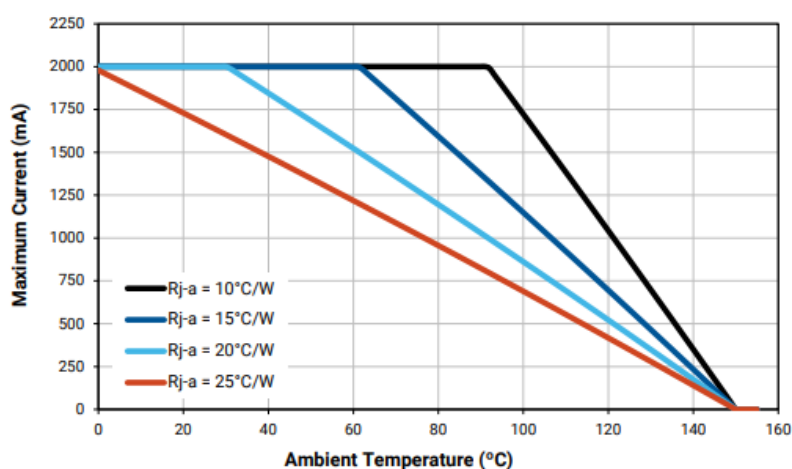


Figura A.13.- Variación de tensión frente a corriente del LED Cree XP-Lamp G3 a una temperatura de 85 °C.

Otro efecto adverso en las fluctuaciones de corriente en el LED es que sobrepase la corriente límite para la emisión de luz. En el caso de suceder, el exceso de corriente hacia adelante emitirá energía de la recombinación en forma de calor, factor adverso para los diodos LED, reduciendo su vida útil, eficacia y corriente máxima de emisión luminosa de los LEDs (lo cual conlleva a que este efecto se agrave a lo largo del tiempo, una menor corriente máxima de emisión luminosa por un aumento de la temperatura en el ambiente de los LEDs hace que un mayor porcentaje de la corriente suponga emisión de calor y así sucesivamente). Para ejemplar este hecho, la *Figura A.14* muestra la mencionada corriente máxima para el modelo de Cree Xlamp XP-G3 de alta potencia para distintos valores de disipación térmica en las luminarias (cuantificadas en resistencias térmicas en  $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ , cuanto menor sea esta resistencia, la disipación será mejor y por tanto puede permitir una mayor corriente máxima de emisión luminosa).



*Figura A.14.- Máxima corriente según la temperatura ambiente por la que se produce emisión de luz para un LED Cree XPLamp G3.*

### A.6.2.- Alimentación a tensión constante

Por otra parte, la regulación mediante tensión constante es utilizada para alimentación de una o varias tiras LED, con longitudes (lo que se traduce en número de LEDs) idénticas o variables. Las tiras LED disponen de chips individuales o cadenas de un número reducido de estos en serie (tiras dobles, triples, etcétera), dispuestos en un gran número de estas



cadenas en paralelo. El uso de este modo de alimentación es debido a la facilidad de alimentación de un número muy diferente de cadenas en paralelo (longitudes de tiras), siempre y cuando no superen la potencia máxima admisible por el *driver*.

Además, es conveniente mencionar que la alimentación mediante tensión constante, debida a la conexión en paralelo, implica el uso de ecualizadores. Unos ecualizadores sencillos consisten en resistencias dispuestas en cada ramal del circuito. Estos minimizan el efecto de las pequeñas diferencias aleatorias entre resistencias internas de los chips y las pérdidas de tensión producidas en la longitud de la tira, garantizando que las últimas cadenas de LEDs posean una corriente suficiente.



Figura 12.9.- Tira LED alimentada a 24V a tensión constante con ecualizadores señalados.

## A.7.- Sistemas de comunicación de los *drivers*

Los sistemas de comunicación son totalmente necesarios para el control de los niveles de referencia en el lazo de control del *driver*. A continuación, se recogen algunos de los sistemas de comunicación más utilizados [22]:

- Los sistemas **0-10V** y **1-10V** son un método analógico de control simple que se basan en variación de corriente continua a través de una señal analógica comunicada por un cable de dos hilos, permitiendo la regulación del flujo luminoso entre el 1% y el 100% posible, adaptándose por tanto a las necesidades deseadas de intensidad luminosa. Además, en el caso del modo 0-10V controla el encendido y apagado a través de la señal de entre 1-10V para encendido y 0V para apagado.

- **DALI** es un método digital de comunicación que consiste en un protocolo bidireccional estandarizado por la comisión internacional electrotécnica (IEC 62386), en el cual, a través de un software específico, se regula el *driver* de forma digital, y a su vez, esta información es enviada por el controlador a los equipos de iluminación, los cuales ejecutan órdenes y solicitan información, todo ello a través de una línea de control de dos hilos (denominada bus). Este sistema permite la gestión de la iluminación arquitectónica y es ampliamente utilizado por los fabricantes de LEDs.
- **DMX 510** es un estándar para redes de comunicación digital de hasta 512 canales ampliamente utilizado, es un protocolo unidireccional, en el cual la información es enviada por el controlador a través del bus a los equipos de iluminación.

Como se menciona en el *subcapítulo 3.4*, el uso de dispositivos auxiliares puede servir para obtener información del entorno utilizada por los sistemas de regulación para controlar la luminaria en cuestión. El uso de células fotosensibles o interruptores crepusculares detectan el flujo luminoso del entorno y lo comparan con el valor de referencia específico. Otro ejemplo podría ser el reloj astronómico, el cual se programa para regular el nivel de la luminaria en función del ocaso, mientras que el orto lo realiza en función del lugar en el que se encuentra instalado. Este tipo de dispositivos ayudan a una mejora del control aumentando las prestaciones de regulación y permitiendo un control más preciso de las luminarias. Los requisitos de funcionamiento de estos dispositivos utilizados en módulos LED son determinados por la normativa UNE-EN 61347-2-13 y UNE-EN 62384.

## B.- Ampliación de conceptos relacionados con la iluminación.

### B.1.- Cálculo empírico del grado de deslumbramiento GR

El método de hallar el GR es utilizando la fórmula empírica definida por la Comisión Internacional de la Iluminación en su publicación 112:1994 [23] que se observa a continuación EN (B.1). Es el método utilizado para evaluar el deslumbramiento en instalaciones con uso de proyectores, el cual es el caso que atañe al presente proyecto.

$$GR = 27 + 24 * \log \frac{L_v}{L_{ve}^{0,9}} \quad (B.1)$$

Donde  $L_v$  es la luminancia velo expresada en  $\frac{cd}{m^2}$  y  $L_{ve}$  la luminancia de velo equivalente producida por el entorno en las mismas unidades.

**La luminancia velo** es la pérdida de visión debida al deslumbramiento perturbador creada por la aparición de un velo que superpone la imagen nítida del ojo humano, perdiendo capacidad de apreciar contrastes. La fórmula (B.2) calcula el valor de la luminancia de velo.

$$L_v \left( \frac{cd}{m^2} \right) = 10 * \sum \left( \frac{E_g}{\theta^2} \right) \quad (B.2)$$

Donde  $E_g$  es la iluminancia sobre un plano perpendicular al ojo causada por cada fuente de deslumbramiento expresada en lúmenes,  $\theta$  es el ángulo expresado en grados entre la dirección de incidencia de la luz en el ojo y la dirección de observación.

Por otro lado, **la luminancia de velo equivalente** se define considerando la reflexión del entorno totalmente difusa. La fórmula (B.3) se utiliza para el cálculo empírico de esta luminancia.

$$L_{ve} \left( \frac{cd}{m^2} \right) = \frac{0,035 * r * E_{hm}}{\pi} \quad (B.3)$$

Donde  $E_{hm}$  es la luminancia media horizontal del área expresada en lúmenes y  $r$  es el ángulo de reflexión promedio.

Este método analítico proporcionado por la norma CIE 112 mide el deslumbramiento de forma exacta. No obstante, es habitual el uso del cálculo simplificado proporcionado por la norma europea EN 12464-2, en el cual la reflexión del entorno se considera totalmente difusa, sin el empleo de la fórmula (B.3).

## B.2.- Cuantificación del *flicker*

Según la norma UNE-EN 61000-3-3 [25] pueden definirse dos indicadores de *flicker*, de corta ( $P_{st}$ ) y larga duración ( $P_{lt}$ ), siendo este último valor sucesivos de  $P_{st}$ . Como referencia se toma  $P_{st}=1$  como el umbral convencional de irritabilidad. El método analítico para hallar los indicadores de *flicker* se define por las fórmulas (B.4) y (B.5):

$$P_{st} = \left( \sum \frac{t_f}{T_p} \right)^{\frac{1}{3,2}} \quad (B.4)$$

Donde  $T_p$  se considera el periodo de evaluación total y  $t_f$  el valor con dimensión temporal que describe la impresión del *flicker* en una variación de tensión.

$$t_f = 2,3 * (F * d_{m\acute{a}ximo})^{3,2} \quad (B.5)$$

Siendo  $F$  el factor de forma característico de la variación de tensión y  $d_{m\acute{a}ximo}$  la variación de tensión expresada como porcentaje a partir de la nominal.

Los límites establecidos por la normativa son de un  $P_{st}$  inferior a la unidad y un  $P_{lt}$  inferior a 0,65.

No obstante, el efecto de *flicker* también se puede contabilizar como porcentaje. Este se calcula a partir de la diferencia entre el máximo y mínimo valor del flujo luminoso emitido en un ciclo completo dividido entre la suma de estos términos, representado por la fórmula (B.6) y la Figura B.1.

$$Flicker (\%) = \left( \frac{Lm_{m\acute{a}ximos} - Lm_{m\acute{m}imos}}{Lm_{m\acute{a}ximos} + Lm_{m\acute{m}imos}} \right) * 100 \quad (B.6)$$

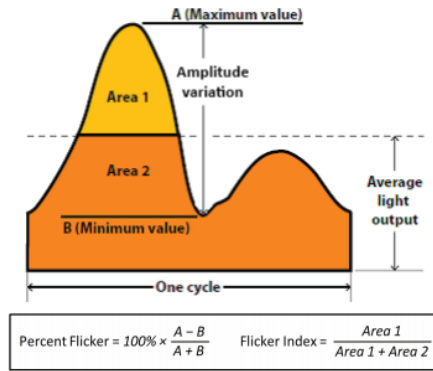


Figura B.1.- Cuantificación del efecto flicker.

Ya que el factor de forma puede ser diferente para cada *driver*, el indicador de *flicker* y el porcentaje de *flicker* son valores independientes para cada luminaria. Este hecho puede ejemplarse en la observación de la Figura B.2, donde se recogen la representación del *flicker* para diferentes luminarias LED comercializadas. La relación entre el índice de *flicker* y el porcentaje de *flicker* varía según el LED examinado, validando de tal modo la independencia de los dos factores.

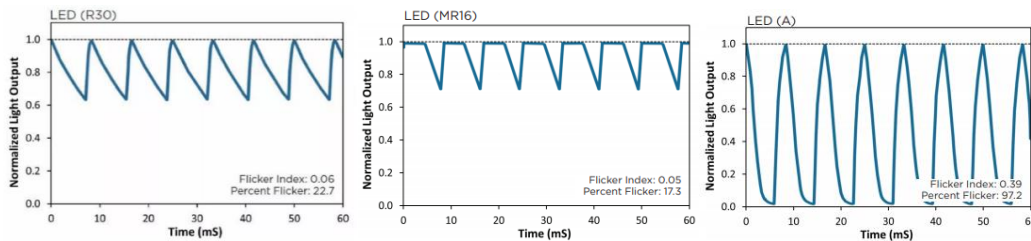


Figura B.2.- Ejemplos de luminarias con tecnología LED con diferente amplitud y forma del efecto flicker [26].

### B.3.- Factor de potencia

En el caso de poseer únicamente de cargas lineales, la potencia aparente total se basa en la suma de la potencia activa (P) y la potencia reactiva (Q). De tal forma que el factor de potencia se calcula como el coseno del ángulo entre la corriente y la tensión.

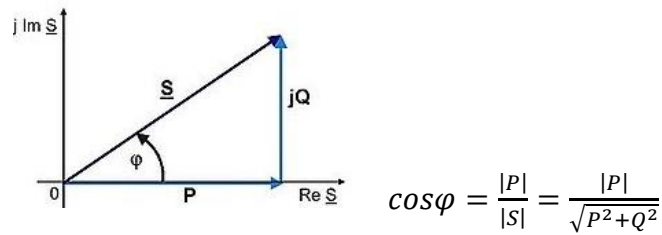


Figura B.3.- Factor de potencia en cargas lineales.

No obstante, como sucede en el caso que atañe al presente proyecto, la utilización de fuentes de alimentación para adaptar la tensión suministrada por la red de suministro de corriente alterna provoca que la corriente de salida no sea perfectamente senoidal debido a la existencia de cargas no lineales en el interior de la fuente de alimentación. Estas cargas no lineales cambian la forma de la onda creando corrientes armónicas, las cuales se encuentran cuantificadas por la distorsión armónica total (THD) representadas en la *Figura B.4* y se encuentran limitadas por la norma IEC-61000-3-2. El desarrollo de la fórmula (B.7) lleva a la obtención de la distorsión armónica total a partir de la distorsión del factor de potencia generado solamente por cargas lineales:

$$\begin{aligned}
 \text{Distorsión del factor de potencia} &= \frac{I_1}{I_{total}} \rightarrow \frac{I_1}{\sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots}} \rightarrow \\
 &\rightarrow \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{I_2^2 + I_3^2 + \dots}{I_1^2}}} \rightarrow \frac{1}{\sqrt{1 + THD_i^2}} \quad (B.7)
 \end{aligned}$$

Donde  $I_1$  es la componente de corriente fundamental y  $I_{total}$  representa a la corriente total producida.

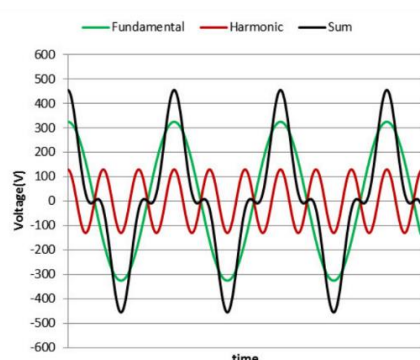


Figura B.4.- Representación de la tensión fundamental, corrientes armónicas y tensión total producida.

De tal forma que el factor de potencia puede calcularse a partir de la expresión (B.8):

$$f.d.p = \frac{\cos\varphi}{\sqrt{1 + THD_i^2}} \quad (B.8)$$

Expresado de otra forma, la suma de la potencia de las corrientes activa (P), reactiva(Q) y debida a las corrientes armónicas (D) (teniendo en cuenta que D no corresponde a la distorsión armónica total THD) son la potencia aparente total (S) tal y como se observa en la expresión (B.9). En resumen, el factor de potencia determina el aprovechamiento de energía que se produce en los *drivers*.

$$f.d.p = \frac{P}{|S|} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} \quad (B.9)$$

## C.- Normativa de aplicación

### C.1.- Requerimientos para producción de televisión en 4k

Debido a que LaLiga produce varios partidos por jornada en 4k de la máxima categoría y con vistas a aumentar el número de partidos en el nuevo estándar de producción que se está instaurando, establece unos requerimientos necesarios para las producciones de televisión en 4k. Estos requerimientos actualmente son de carácter recomendado, los cuales conllevan unos valores con mayor nivel de exigencia, que se ilustran en la *Tabla C.1.*

Recomendaciones para Retransmisión en 4K		
ILUMINANCIA VERTICAL EN DIRECCIÓN A LAS 12 CÁMARAS FIJAS	Iluminancia Vertical a 1,5 Mts	Ev/Med 2.200 Lux
	Uniformidades a Cámara	Mni/Med 0,7
		Mni/Max 0,6
ILUMINANCIA HORIZONTAL, MEDIDA A LA ALTURA DEL TERRENO DE JUEGO	Iluminancia Horizontal	Ev/Med 3.000 Lux
	Uniformidades	Mni/Med 0,8
		Mni/Max 0,7
TEMPERATURA DE COLOR		De 5.000 a 6200° K
REPRODUCCIÓN CROMÁTICA (RA/RC)	CRI ≥80 Norma IEC/TR 62732, CRI ≥90 normativa anterior	
DESLUMBRAMIENTO (GR)		≤50
FACTOR DE MANTENIMIENTO	Descarga	0,8
	Led	0,9
FLICKER (FF)		<0,5%

*Tabla C.1.- Recomendaciones del Reglamento de retransmisión televisiva para la producción de partidos en 4k.*

### C.2.- Tablas comparativas de cumplimiento de normativa de la situación actual

Las siguientes tablas recogen la comprobación del cumplimiento de la normativa en términos de requerimientos para Primera División en la instalación actual del estadio de fútbol Carlos Tartiere.



Requerimiento para retransmisión en 1ª División				Cámara Principal		Cámara Opuesta		Cámaras Fondos	
Iluminancia vertical en dirección a las distintas Cámaras fijas	Iluminancia Vertical a 1,5 m	Ev medio (Lux)	Requerido	1500		1500		1500	
			Medido	952	NO CUMPLE	963	NO CUMPLE	623	NO CUMPLE
	Uniformidades a Cámara	Uv1	Requerido	0,65		0,65		0,65	
			Medido	0,3	NO CUMPLE	0,33	NO CUMPLE	0,55	NO CUMPLE
		Uv2	Requerido	0,4		0,4		0,4	
			Medido	0,17	NO CUMPLE	0,18	NO CUMPLE	0,33	NO CUMPLE

Tabla C.2.- Tabla de comprobación de requerimientos de 1ª División en términos de Iluminancia Vertical para el campo de fútbol del estadio Carlos Tartiere.

Requerimientos para retransmisión en 1ª División				Terreno de juego	
Iluminancia Horizontal, medida a la altura del terreno de juego	Iluminancia Horizontal	Ev medio (Lux)	Requerido	2000	
			Medido	1385	NO CUMPLE
	Uniformidades	Uv1	Requerido	0,7	
			Medido	0,45	NO CUMPLE
		Uv2	Requerido	0,6	
			Medido	0,29	NO CUMPLE

Tabla C.3.- Tabla de comprobación de requerimientos de 1ª División en términos de Iluminancia Horizontal para el campo de fútbol del estadio Carlos Tartiere.

Requerimientos para retransmisión en 1ª División			Campo de fútbol	
Iluminancia de emergencia	Ev media a cámara principal (Lux)	Requerido	800	
		Medido	-	NO CUMPLE
	Tiempo de reencendido	Requerido	< 2 segundos	
		Medido	20 min	NO CUMPLE

Tabla C.4.- Tabla de comprobación de requerimientos de 1ª División en términos de Iluminancia de emergencia para el campo de fútbol del estadio Carlos Tartiere.

Requerimientos para retransmisión en 1ª División			Campo de fútbol	
Otras características lumínicas	Temperatura de color (CCT)	Requerido	De 5000 a 6200 K	
		Medido	6100	CUMPLE
	Uniformidad temperatura de color	Requerido	100%	
		Medido	100%	CUMPLE
	Reproducción cromática (Ra/IRC)	Requerido	≥90	
		Medido	<90	NO CUMPLE
	Deslumbramiento (GR)	Requerido	≤50	
		Medido	-	-
	Flicker (FF)	Requerido	<20% Medio <30% Máximo	
		Medido	-	-

Tabla C.5.- Tabla de comprobación de requerimientos de 1ª División en términos de otras características para el campo de fútbol del estadio Carlos Tartiere.

Tal y como se comenta en el *subapartado 5.2*, solamente la temperatura de color correlacionada (CCT) y la homogeneidad de la temperatura de color, que consiste en que sean de idéntica temperatura de color todos los proyectores, son los requerimientos cumplidos. Los niveles de iluminancia horizontal y vertical a cámaras fijas mostrados en las *Tablas C.2 y C.3* son para todos los casos inferiores a los necesarios es unos valores muy significativos, de tal forma que los requerimientos de Segunda División tampoco son cumplidos actualmente, conllevando por tanto sanciones económicas para el Club y la necesidad de una reforma inmediata de la instalación de iluminación artificial del campo.

Por otro lado, los requerimientos respecto a la iluminancia de emergencia mostrados en la *Tabla C.4* tampoco son cumplidos en ninguno de sus factores (tiempo e iluminancia media), ya que, al no poseer sistemas de reencendido en caliente y, ante la incapacidad del sistema de alimentación ininterrumpida, los tiempos de reencendido alcanzan los 20 minutos de espera para poder realizarse, cuya explicación se da más detenidamente en *Anexos D*.

## D.- Lámparas de descarga: La dificultad del reencendido en caliente

Como se ha comentado en el texto principal en *capítulo 6*, las lámparas de descarga y en particular de halogenuros metálicos son la tecnología convencional de iluminación para los campos de fútbol e instalaciones deportivas en general, ya que son capaces de consumir alta potencia y, por tanto, producir un flujo luminoso elevado, requerido para los campos de fútbol que tienen unas dimensiones y exigencias lumínicas importantes.

El funcionamiento de las lámparas de descarga se basa en la producción de luz por la excitación de un gas sometido a descargas eléctricas que se producen por la diferencia de potencial entre dos electrodos en el interior de un tubo. Las descargas eléctricas provocan que un flujo de electrones atraviese el gas, si chocan con los electrones del propio gas puede o bien arrancarlo de su órbita, haciendo chocar a este con otro electrón de otro átomo de gas y así sucesivamente (esta situación aumenta la corriente en el tubo y ha de ser limitada por los balastos, dispositivos que producen el encendido con un voltaje inicial y seguidamente disminuye la energía eléctrica hasta alcanzar el nivel operativo normal, para evitar un exceso de corriente que puede llegar a destruir la lámpara) o bien que el electrón externo pase a ocupar otro orbital del gas de mayor energía, el cual es inestable, y que finalmente acabará volviendo a su situación inicial emitiendo la energía sobrante en forma de luz ultravioleta o luz visible, actuando de tal modo como fuente emisora de luz [39].

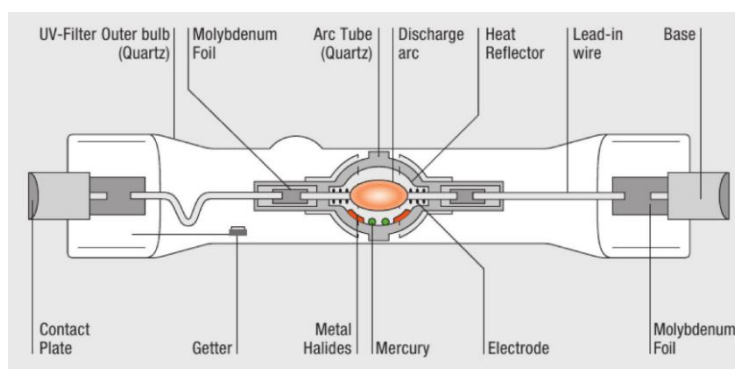


Figura D.1.- Esquemática de los componentes de una lámpara de descarga.

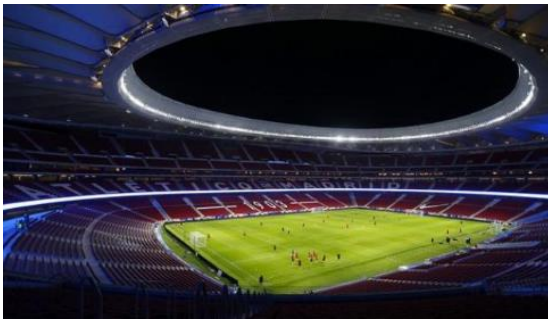
Además de las características descritas sobre las lámparas de descarga expuestas en el *capítulo 6*, cabe mencionar el problema del funcionamiento de estas a potencia por debajo de la nominal, los cambios para estas lámparas, las cuales funcionan en condiciones de dosis saturadas, disminuyen su eficacia luminosa, aumenta la temperatura de color correlacionada de la luz emitida y reduce el índice de reproducción cromática [40]. Como se comenta en *Anexos A.5*, el uso de fuentes de alimentación conmutadas hace que no afecten a estas características para luminarias LED, pudiendo por tanto controlar el flujo luminoso para cumplir las condiciones de iluminancia para los requerimientos de Primera o Segunda división, así como una mayor reducción para sesiones de entrenamiento, realizando de tal modo ahorro energético.

Respecto a las condiciones de encendido y reencendido, en lámparas de descarga de alta presión no se produce en un alcance habitual de hasta 5 kilovoltios. Si se produce una breve interrupción de la tensión de alimentación en los proyectores de descarga, los electrones libres en la descarga desaparecen de forma prácticamente inmediata, mientras que la presión del gas se mantiene elevada hasta que la lámpara enfríe para poder encender de nuevo los proyectores (en torno a 20 minutos en focos halogenuros metálicos de 2000 W), ya que la resistencia de un gas no ionizado aumenta de forma gradual con la presión y, por tanto, requeriría una tensión más elevada que la que es capaz de proporcionar los equipos de alimentación para realizar un encendido en condiciones de reposo.

Una alternativa para llevar a cabo el reencendido en caliente es la instalación de equipos que permitan la utilización de altos voltajes de encendido, de entre 16 a 60 kV, según la potencia de la lámpara, que serán necesarios para producir un reencendido inmediato en caliente debido a las altas presiones de los vapores. Tanto la luminaria como todos los elementos principales y auxiliares de la instalación deben estar diseñados para soportar estos altos voltajes, lo que puede llevar a la necesidad de sustituir parte de la instalación.

Otra alternativa es la sustitución de las luminarias por otras capaces de realizar reencendido en caliente en condiciones normales de alimentación eléctrica. La capacidad

de encendido prácticamente espontáneo de los LEDs y de realizarlo en caliente, lo cual unida a las demás ventajas mencionadas en términos ecológicos, vida útil, eficacia y fijación de propiedades ante atenuación de flujo luminoso respecto a los proyectores de descarga convencionales, hace de las iluminarias LEDs se conviertan en una alternativa muy factible y actualmente ideal para la instalación de iluminación en los campos de fútbol profesionales. Los nuevos estadios Wanda Metropolitano y San Mamés o la remodelación de la iluminación artificial del Riazor son algunos ejemplos de la tecnología LED utilizada en la iluminación de campos de fútbol modernos en España.



(1)



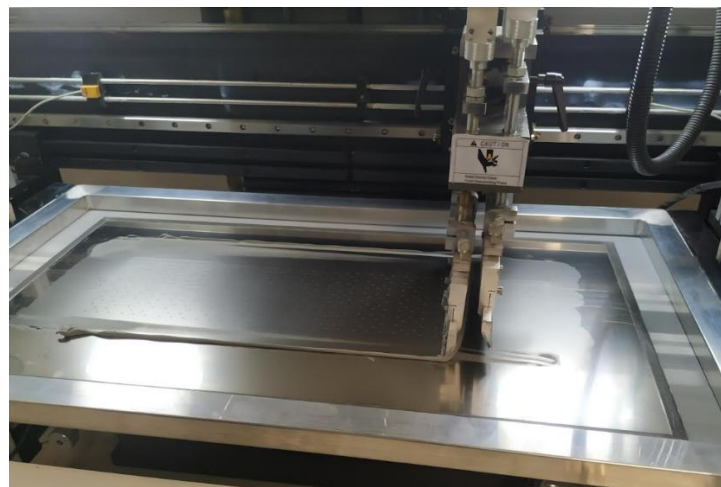
(2)

*Figura D.2.- Imágenes de la iluminación de los estadios (1) Wanda metropolitano y (2) San Mamés.*

## E.- Diseño, fabricación y comprobación de resultados de los proyectores LED

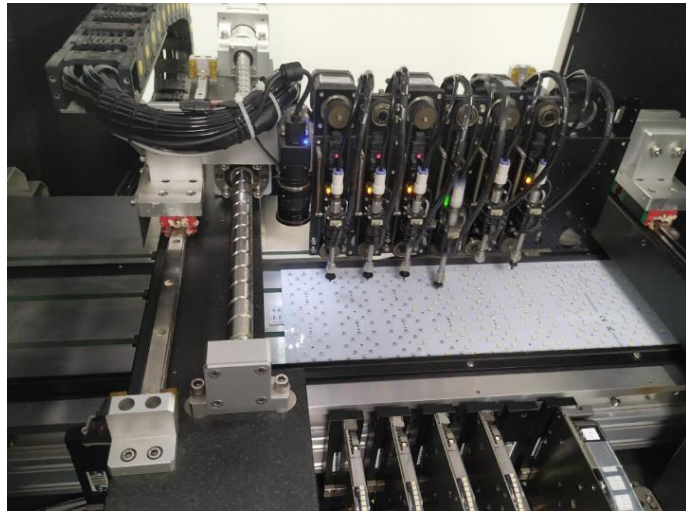
### E.1.-Proceso de montaje del módulo LED

El procedimiento de montaje comienza con la aplicación de la pasta de soldadura, compuesta por flux y partículas de estaño para procurarle capacidad de pegado y conductividad eléctrica. Se realiza un proceso de serigrafía en una máquina automática específica para la función, en la fábrica de la empresa se utiliza un modelo SP400 serie 1075 de la marca Beijing Torch Wealth S&T. Utilizando plantillas de metálicas y una precisa colocación automatizada de la misma, se logra la aplicación precisa de la pasta de soldadura en los terminales del circuito impreso, que servirá para fijar posteriormente los componentes a la placa.



*Figura E.1.- Aplicación pasta de soldadura a la placa PCB en la máquina de serigrafía.*

Para la colocación de los componentes, una cinta transportadora conduce a los PCBs a una máquina de deposición de control numérico, denominada comúnmente “*Pick and Place*”, la cual, mediante el uso de sus 6 brazos, manipulan por succión los LEDs y demás componentes previamente empaquetados en rollos, facilitando la automatización, y colocándolos con precisión sobre la posición requerida en la placa de circuito impreso. La marca de la maquinaria utilizada es Beijing Torch Wealth S&T, modelo L6.



*Figura E.2.- Máquina "Pick and place" colocando los chips LED en la placa PCB.*

La siguiente etapa de la fabricación del módulo LED consiste en la soldadura por refusión. Los PCBs son transportados mediante cintas transportadoras a un horno de convección total multi-zona de la marca Beijing Torch Wealth S&T modelo A8 de la serie 1073, donde la temperatura del módulo es elevada de manera gradual y programada mediante un ordenador integrado del horno, el control de la temperatura es necesario para evitar cualquier tipo de daño de los componentes por cuestiones térmicas, el fabricante indica las pautas de soldadura de reflujo como se pueden observar las propias para los LEDs Luxeon 3030 2D en la *Figura E.4*. Cuando se alcanza una temperatura suficiente, la pasta de soldadura se funde, uniendo de forma efectiva los LEDs y componentes eléctricos a los terminales de la placa. El proceso de enfriamiento se produce en las últimas zonas del propio horno mediante ventilación forzada. Además, en la salida del horno, una cinta transportadora con ventiladores continúa el proceso de enfriamiento de la placa y sus componentes, sellando de forma definitiva el módulo LED.



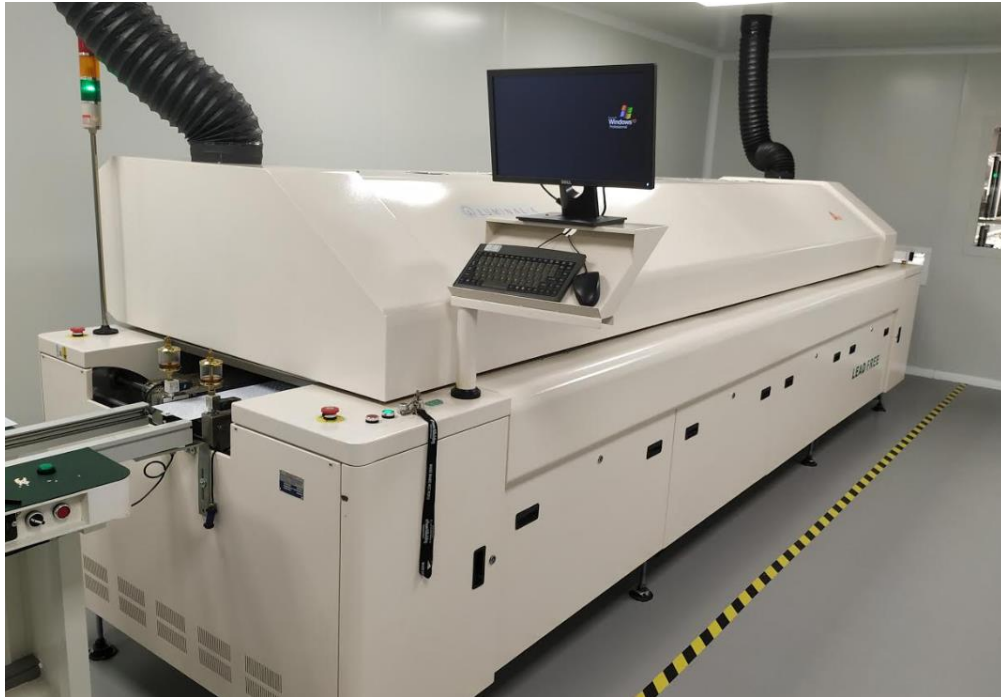
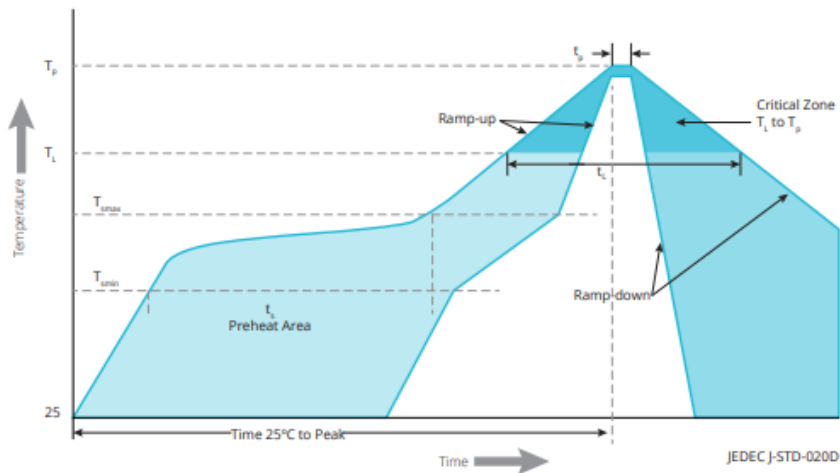


Figura E.3.- Horno de reflujo para soldadura de chips en la placa PCB.



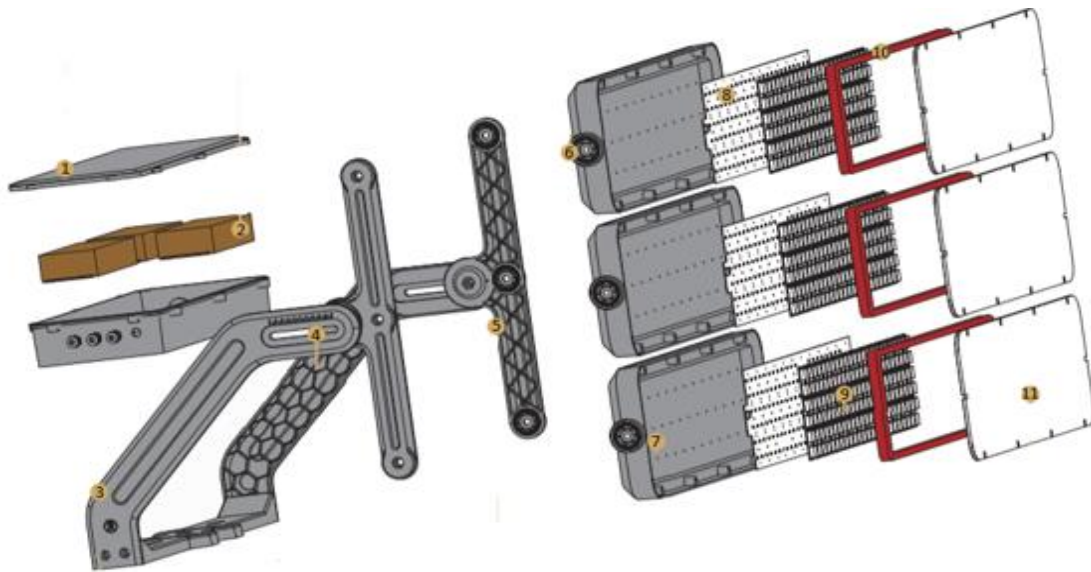
Pautas de soldadura	
Temperatura de precalentamiento (mínimo y máximo)	150 °C - 200°C
Tiempo de precalentamiento	de 60 a 120 segundos
Rampa de subida (máxima pendiente)	3°C/segundo
Temperatura líquida	217 °C
Tiempo total por encima de la temperatura líquida	de 60 a 150 segundos
Temperatura pico	260 °C
Tiempo en temperatura pico (variación máxima de 5°C)	5 segundos
Rampa de bajada (máxima pendiente)	6°C/segundo
Tiempo máximo desde temperatura pico a temperatura ambiente (25°C)	8 minutos

Figura E.4.- Pautas para realizar la soldadura de reflujo para el LED Luxeon 3030 2D utilizado en los proyectores.



Finalmente, un control de calidad verifica el correcto funcionamiento de los componentes soldados al PCB mediante una prueba electrónica, garantizando de tal modo el correcto funcionamiento del módulo a ensamblar en la luminaria.

## E.2.-Descomposición y planos del proyector Tapia



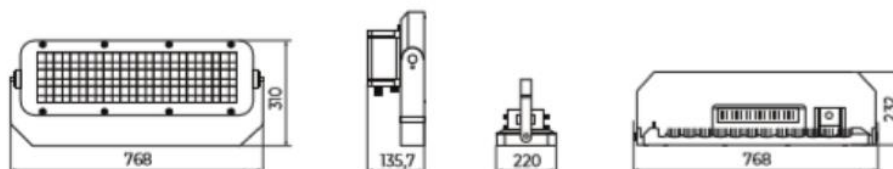
Componentes del proyector	
1	Caja de engranajes separada del control de aluminio fabricada con fundición a alta presión, nivel de la tirantez IP66.
2	Driver LED
3	Soporte de aluminio fabricado con fundición a alta presión.
4	Ranura ajustable de acoplamiento.
5	Pieza de aluminio fabricado con fundición a alta presión que conecta la junta y el brazo.
6	Sistema de ángulo de inclinación ajustable
7	Housing de aluminio fabricada con fundición a alta presión disipador de calor.
8	PCB de aluminio con chips LED
9	Lentes ópticas de alta precisión, simétricas y asimétricas.
10	Marco de silicona con alta resistencia a la temperatura que une el cristal y el cuerpo del proyector.
11	Cristal de 5 mm de espesor cuya función es que la lente amarillente por la exposición directa a la luz solar.

Figura E.5.- Descomposición y componentes del proyector LED Tapia de tres módulos similar al utilizado.

### TAPIA 400 (1 módulo)

Nº LED Nº LED	POTENCIA (W) POWER (W)	CORRIENTE ALIMENTACIÓN (mA) CURRENT SUPPLY (mA)
432	400	1400

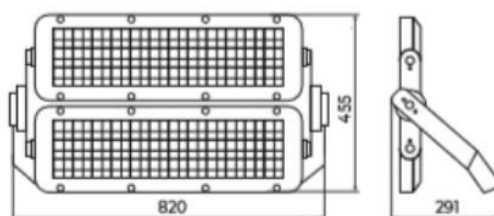
PESO | WEIGHT: 9,00kg  
Conexión mediante Lira | Lyre connection



### TAPIA 800 (2 módulos)

Nº LED Nº LED	POTENCIA (W) POWER (W)	CORRIENTE ALIMENTACIÓN (mA) CURRENT SUPPLY (mA)
2 x 432	800	1400

PESO | WEIGHT: 20,00kg  
Conexión mediante Lira | Lyre connection



### TAPIA 1200 (3 módulos)

Nº LED Nº LED	POTENCIA (W) POWER (W)	CORRIENTE ALIMENTACIÓN (mA) CURRENT SUPPLY (mA)
3 x 432	1200	1400

PESO | WEIGHT: 30,00kg  
Conexión mediante Lira | Lyre connection

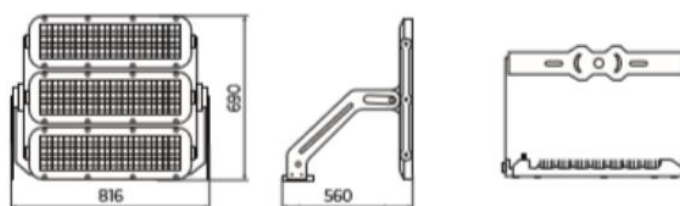


Figura E.6.- Planos de los diferentes modelos de los proyectores Tapia

## E.3.-Eficacia en las luminarias LED

Ya se ha mencionado la alta eficacia de la iluminación LED, llegando a alcanzar los 190 lm/W según los datos de fabricación del LEDs blancos (como puede comprobarse que sucede con el LED seleccionado SMD 3030 en la *Tabla 7.1* del texto principal). Sin embargo, existen importantes pérdidas en las luminarias LED debidas a todos los componentes que lo

constituyen. A continuación, se describen los principales factores por los que se producen las pérdidas que darán lugar a la eficacia real de la luminaria LED [44]. Estas pérdidas son cuantificadas por el rendimiento óptico de la luminaria ( $\eta_{luminaria}$ ), expresada en la fórmula (4.4) en el capítulo 4.

- Pérdidas debidas al propio diodo LED
  - Como ya es sabido, para que la matriz de LEDs emita luz, es necesario que una corriente eléctrica los atraviese. A partir de una cierta corriente, el flujo luminoso relativo real se separa del ideal [46], deteriorando su rendimiento como se observa en las Figuras E.7 y E.8, de tal forma que se ejemplifica para los LEDs de alta potencia y los diodos utilizados en la fabricación del proyector.

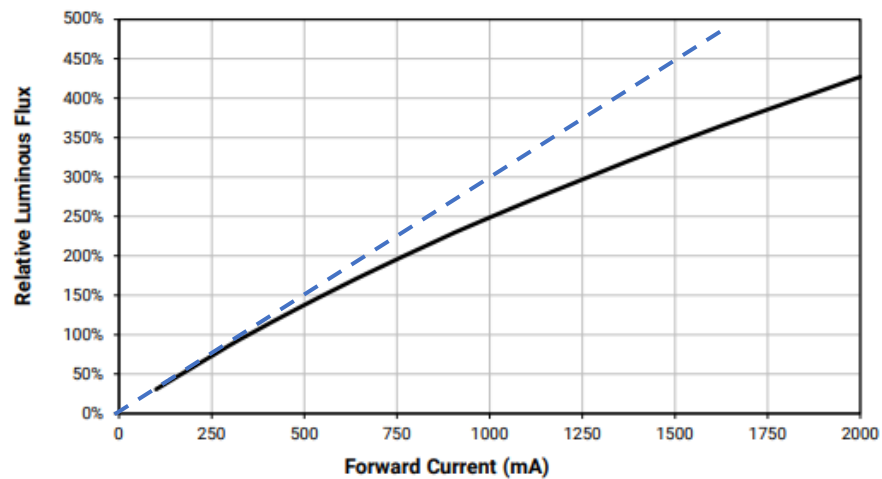
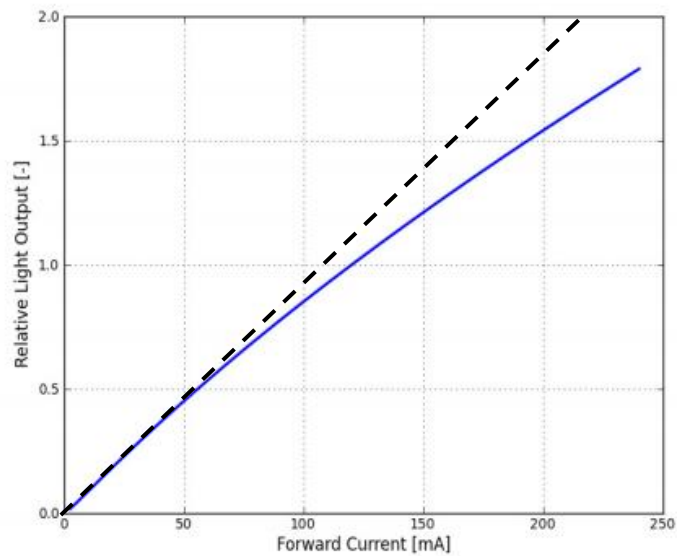


Figura E.7.- Representación de la curva real (continua negra) y la recta ideal (discontinua azul) de la corriente relativa que los atraviesa frente al flujo luminoso relativo del LED Cree XLamp XP-G3, LED de alta potencia ampliamente utilizado.



*Figura E.8.- Representación de la curva real (línea continua azul) y la recta ideal (línea discontinua negra) de la corriente relativa que los atraviesa frente al flujo luminoso relativo del LED Lumileds Luxeon 3030 2D utilizado en los proyectores LED a fabricar.*

Esto es debido a que, al trabajar con corrientes eléctricas relativamente altas (del orden de cientos de miliamperios respecto a decenas de miliamperios en los LEDs de baja potencia) causan que, al aumentar progresivamente la corriente, la recombinación radiactiva producida en el LED sea también progresivamente sustituida por recombinación de Auger [47]. En este caso, cuando se produce la recombinación del hueco y el electrón, la energía excesa no es emitida en forma de fotón como en el caso de recombinación radiactiva, sino que esta se da a un tercer portador, un electrón en la banda de conducción. De tal forma que se produce una reducción del rendimiento de producción de luz.

- El efecto de la temperatura de trabajo, como ya se ha comentado, es un factor de gran relevancia para tener en cuenta, sobre todo en las luminarias LED de alta potencia, las cuales generan más calor y esto disminuye su eficacia de forma progresiva. Además, su vida útil disminuye sensiblemente a altas temperaturas. Los siguientes gráficos ilustra esta bajada de rendimiento y disminución de vida útil nuevamente para los tipos de LED empleados habitualmente en la empresa para iluminación exterior.

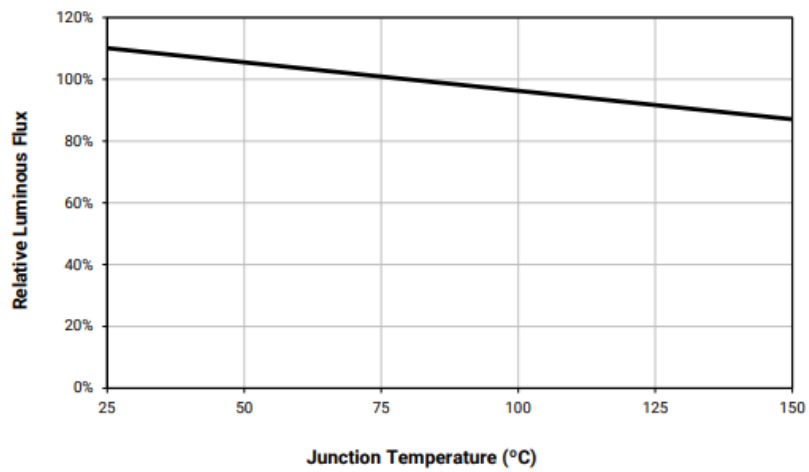


Figura E.8.- Representación de la pérdida progresiva de flujo luminoso relativo respecto a la temperatura del ambiente del LED CREE XLamp XP-G3. Corriente a través del LED fijada en 350 mA.

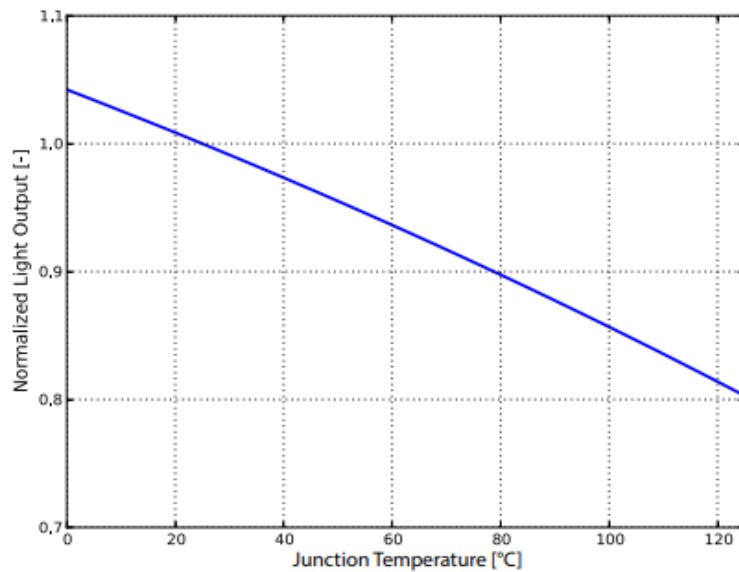


Figura E.9.- Representación de la pérdida progresiva de flujo luminoso respecto a la temperatura a la que se encuentran sometidos los LEDs Lumiled Luxeon 3030 2D, con una corriente fijada de 120 mA.

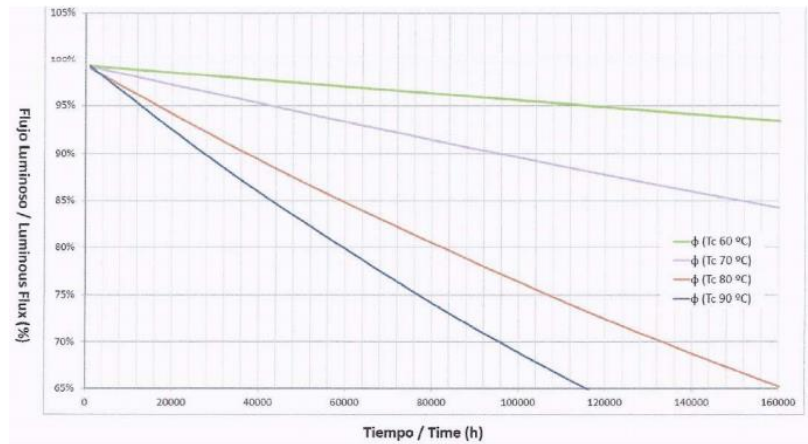


Figura E.10.- Representación de cuatro curvas de vida del flujo luminoso con distintas temperaturas de un LED de alta potencia.

- o La temperatura de color del flujo luminoso del LED blanco tiene cierto efecto sobre la eficacia final de la luminaria debido a la eficiencia luminosa para la visión fotópica (elevada luz) y escotópica (sin luz exterior) del ojo humano. Como ya se ha comentado, el flujo luminoso depende de la percepción del ojo humano, y esta varía como se puede observar en la Figura E.11 [48], muestra como varía la sensibilidad espectral de la vista humana en las condiciones fotópicas y escotópicas. El cambio es debido al efecto Purkinje, por el cual los colores rojos se ven muy oscuros en condiciones de poca luz.

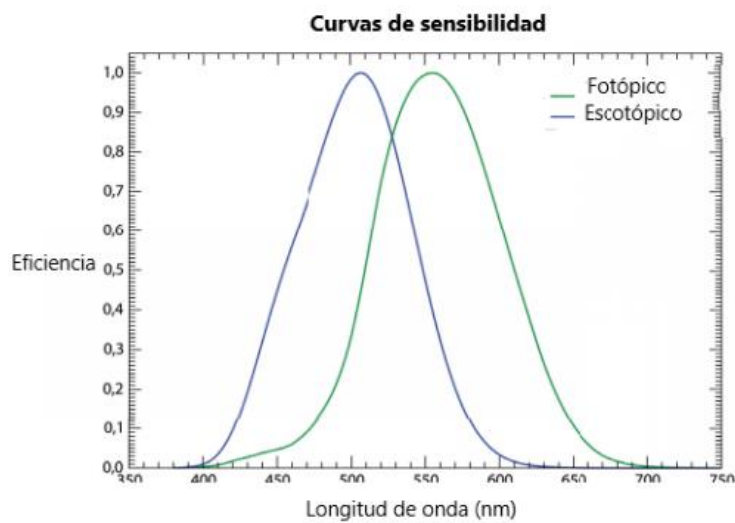


Figura E.11.- Curvas de sensibilidad espectral de la vista humana en términos de condiciones fotópicas y escotópicas.

Debido a que las condiciones de uso de luz artificial se encuentran en una situación escotópica o en una situación intermedia cercana a esta (mesópica), la luz blanca fría es más eficaz que la luz blanca cálida, ya que el espectro de color de la luz cálida posee una mayor cantidad de luz de color roja y menor cantidad de color azul que en la luz blanca fría.

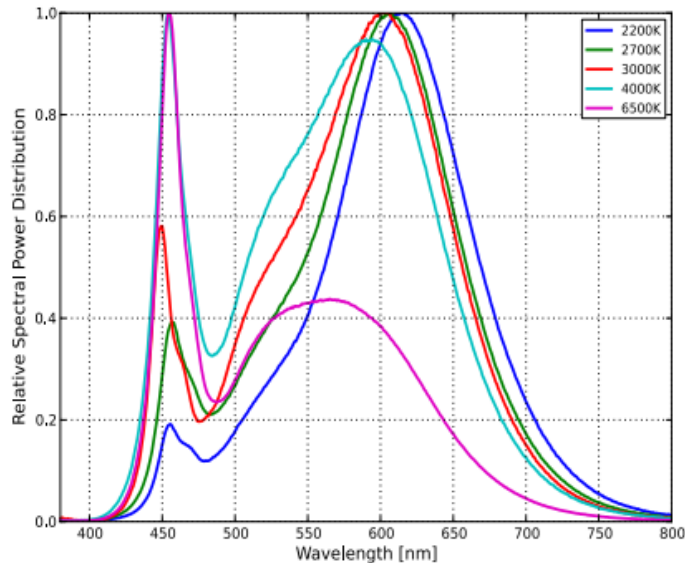


Figura E.12.- *Diferentes distribuciones espectrales según las diferentes temperaturas de color del modelo LUXEON 3030 2D de Lumiled.*

Las pérdidas debidas a la temperatura y la corriente de trabajo, siempre y cuando se diseñe la luminaria con una correcta disipación de calor y no se exceda en la corriente que atraviese los diodos, puede estimarse en aproximadamente en un 5%.

- Como ya se ha comentado anteriormente, para que los LEDs puedan funcionar correctamente es necesario que la tensión de entrada sea continua (en términos de corriente o tensión) y con niveles muy elevados de estabilidad. Por tanto, el uso del *driver* es totalmente necesario en las luminarias LEDs. Las pérdidas de rendimiento producidas se basarán en el consumo de este, que puede variar según su calidad y capacidad. Se estima que las pérdidas producidas por la fuente de alimentación son del orden del 8%.



Figura E.13.- Driver EBC-430S140DV(SV) de la marca Inventronics utilizado para la alimentación del módulo LED en el proyector.

- Como ya se ha comentado en el ensamblaje, el uso de lentes es muy habitual en proyectores y todo tipo de iluminación exterior para distribuir el flujo luminoso (modificando su curva fotométrica) según lo más conveniente que sea en cada caso. Según la ubicación de cada proyector en los campos de fútbol, es posible que sea necesario el uso de diferentes lentes por proyector y, con ello, variaciones en la eficacia de proyectores con módulos idénticos, pero con el uso de tipologías de lentes diferentes. Estas lentes producen pérdidas según la distribución luminosa que produzca debido a su geometría, siendo un caso habitual una pérdida del 7%. No obstante, las variaciones de eficacia producidas por el uso de diferentes lentes se comprobarán con la realización de ensayos en este subcapítulo en el *apartado 7.3.1.1*.

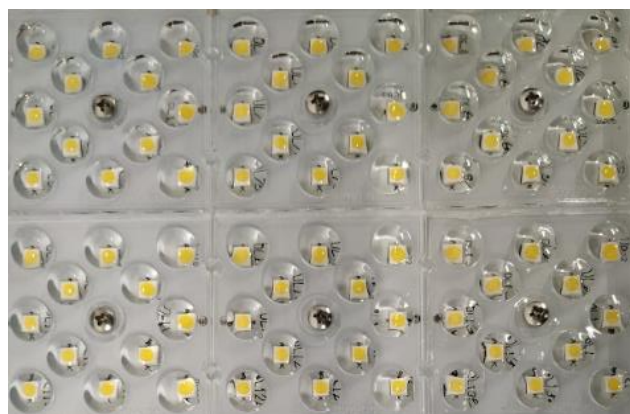


Figura E.14.- 6 ópticas de la marca Ledil en una sección del módulo del proyector Tapia.



- La geometría de las carcasas y el uso del cristal de protección de los LEDs de las luminarias provocan pérdidas muy variables según el espesor del cristal y la forma particular de la luminaria utilizada (ya que es capaz de “tapar” parcialmente el flujo luminoso, variando también de tal modo su distribución luminosa). En todo caso suele encontrarse en torno a un 8% de las pérdidas del flujo luminoso.



*Figura E.15.- Proyector Tapia de único módulo.*

Contemplando de forma global la eficacia en la luminaria, se pueden estimar de aproximadamente de un 25% de pérdidas de la eficacia de la luminaria respecto a los datos LED de fábrica. No obstante, para hallar de forma precisa el valor de eficacia final, será necesario un ensayo fotométrico del proyector con el uso de cada tipo de lente disponible a utilizar para obtener la eficacia real del proyector o luminaria particular.

#### **E.4.-Ensayo fotométrico: Fotogoniómetro**

**Instrumentación y procedimiento de ensayo:** La instrumentación necesaria para llevar a cabo este ensayo fotométrico es un fotogoniómetro o goniofotómetro, que consiste en un goniómetro y un fotosensor (el cual es un medidor de intensidad lumínica o luxómetro), con 1 o 2 ejes de rotación y fijo o móvil respectivamente, según la configuración del fotogoniómetro. Este se encuentra ubicado en una sala que minimiza en todo lo posible el efecto de contaminación cruzada lumínica (la cual es la iluminación debida por cualquier fuente ajena), de forma normalizada, el ensayo se lleva a cabo en un cuarto negro. Las

diferentes configuraciones del fotogoniómetro caracterizan los diferentes tipos validados que existen:

- El fotogoniómetro tipo A tiene eje horizontal fijo en el goniómetro, mientras que gira el eje vertical 360° y el fotosensor se mantiene fijo. La posibilidad de variar a otras posiciones de ángulo fijo del eje horizontal para realizar un nuevo giro de 360° del eje vertical móvil, provoca que pueda completarse la esfera de coordenadas y obtener así todos los datos de la intensidad luminosa para cualquier dirección.
- El fotogoniómetro tipo B es similar al anterior, sin embargo, el eje vertical del goniómetro es el eje fijo, mientras que el eje horizontal es el móvil, de modo que la esfera queda completada para el análisis.
- El fotogoniómetro tipo C consiste en que el fotosensor o un espejo móvil gira alrededor del eje vertical en un plano. Existen dos modos de fotogoniómetro tipo C: Un fotosensor móvil ubicado en una guía de media luna para desplazarse, o una configuración que consiste en un espejo que orbita alrededor de la luminaria.

El fotogoniómetro con el que se realizan los ensayos es el modelo GO-2000 de tipo A de la marca EVERFINE, el cual puede utilizar el sistema de coordenadas normalizados de CIE B- $\beta$  o CIE C-Y, según convenga con la geometría de cada luminaria a ensayar por el uso de diferentes sistemas de sujeción. Para el proyector de estudio se utilizará el sistema de coordenadas normalizado CIE C-Y con un único. El fotosensor mide la intensidad luminosa en las coordenadas que proporciona el goniómetro rotando la luminaria en la configuración descrita. Esta configuración precisa de un menor espacio de cuarto oscuro que el fotogoniómetro de tipo C. En este caso, la distancia entre goniómetro y fotosensor de 7,08 metros.

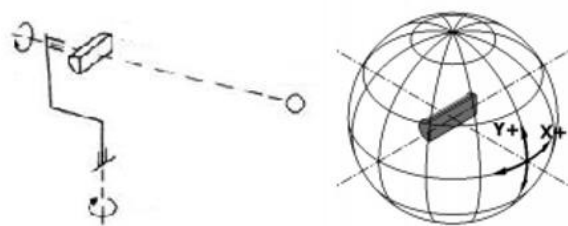


Figura E.16.- Configuración del fotogoniómetro.

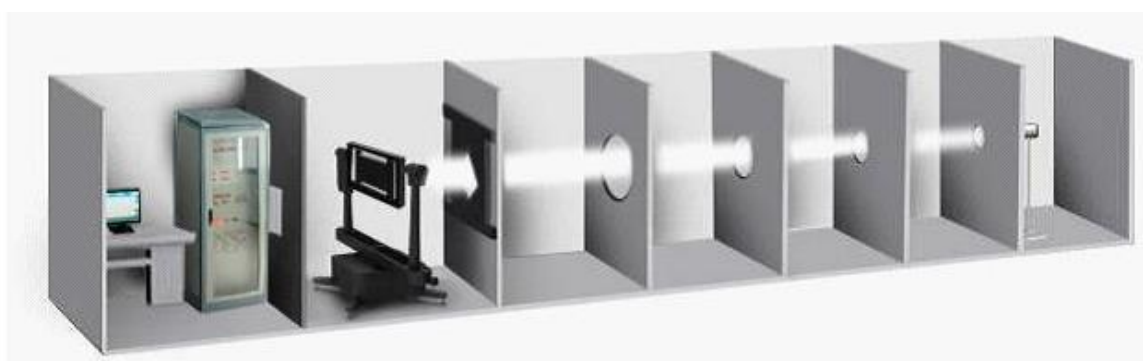


Figura E.17.- Fotogoniómetro GO-2000 de EVERFINE.

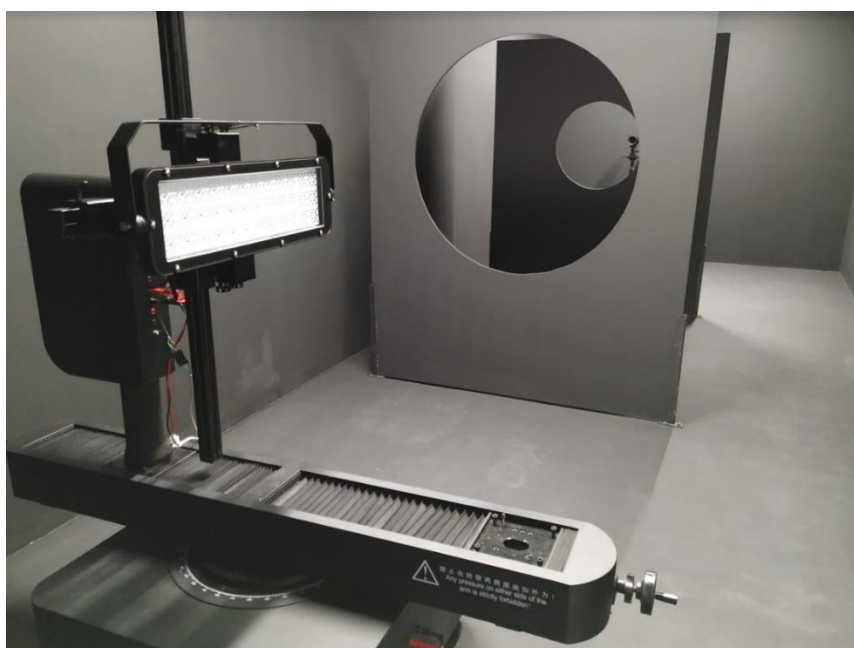


Figura E.18.- Fotogoniómetro del laboratorio con el proyector LED modelo Tapia de estudio montado.

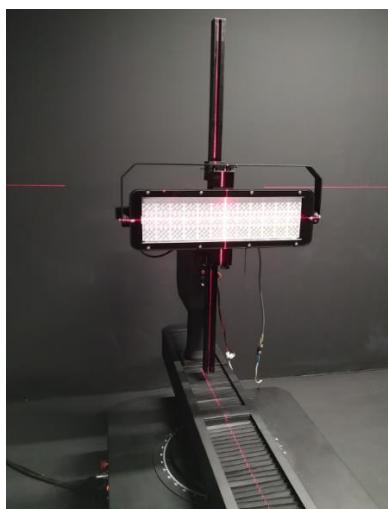
La *Tabla E.1* muestra los rangos e intervalos entre mediciones de flujo que se definen para la realización del ensayo en términos de su sistema de coordenadas C – Y, con el cual se define la esfera de coordenadas para la obtención de las curvas de distribución fotométrica.

Rangos e intervalos de medición definidos en los ensayos fotométricos	
Rango eje C	0 – 360º
Intervalo eje C	22,5º
Rango eje Y	0 – 180º
Intervalo eje Y	1º

*Tabla E.1.- Definición de esfera de coordenadas C-Y e intervalos de medición.*

**Monitorización de variables y calibración:** La norma UNE - EN 13032-4 describe las condiciones necesarias para normalizar el ensayo, de tal forma que puedan garantizarse unos resultados fiables y comparables bajo el mismo estándar.

Para garantizar una correcta obtención de curvas fotométricas, el posicionamiento preciso de la luminaria en el goniómetro respecto al fotosensor es indispensable, debido a esto, es necesario llevar a cabo un procedimiento de calibración para cada luminaria utilizada. La calibración consiste en la utilización de un láser calibrado para señalar la posición exacta de colocación de la luminaria real y así obtener unos resultados fiables.



*Figura E.19.- Calibración mediante laser del posicionamiento del proyector LED en el goniómetro.*

La monitorización de las variables eléctricas como son la tensión, frecuencia y corriente de suministro primarias, así como el factor de potencia y condiciones ambientales en términos de temperatura y humedad de la habitación negra donde se desarrollan las mediciones son estrictamente necesarias y debe de realizarse de forma continua durante todo el ensayo para garantizar que las condiciones del entorno y eléctricas se encuentran en todo momento bajo el marco aceptado en la norma.

Este hecho conlleva que el ensayo eléctrico de la luminaria se encuentre incluido en el ensayo fotométrico, garantizando que el funcionamiento eléctrico de la luminaria es adecuado en todo momento.



*Figura E.20.- Monitorización de variables eléctricas durante el ensayo fotométrico.*

Es conveniente destacar que, para obtener una eficacia real en los proyectores de ensayo, será necesario realizar un encendido de la luminaria previa de 30 minutos antes de la realización del ensayo fotométrico, ya que esto puede precalentar el proyector a las condiciones de trabajo reales y de tal modo afecta a la eficacia final del proyector.

## E.5.-Propiedades colorimétricas: Esfera Integradora o Esfera de Ulbricht.

**Instrumentación y procedimiento de ensayo:** El método de la Esfera Integradora de Ulbricht se emplea para medir las propiedades de la luz usando un sistema compuesto por la mencionada Esfera Integradora y un fotosensor o un espectrofotómetro, según las características de la luz que precise obtenerse del ensayo. Esta Esfera Integradora es hueca y puede variar su tamaño desde decenas de centímetros a varios metros de diámetro, según se requiera en su aplicación, además esta se encuentra pintada de blanco en su interior, que es donde se introduce la luminaria de estudio. La luz producida por esta rebota por todas las direcciones de tal forma que se dispersa homogéneamente hasta llegar al instrumento de medida, para garantizar la dispersión, se evita mediante el uso de deflectores la entrada directa de la luz en el instrumento de medida.

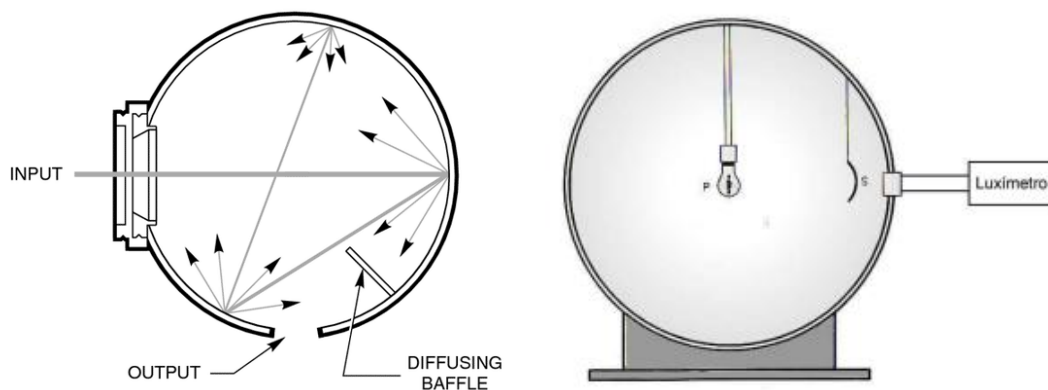
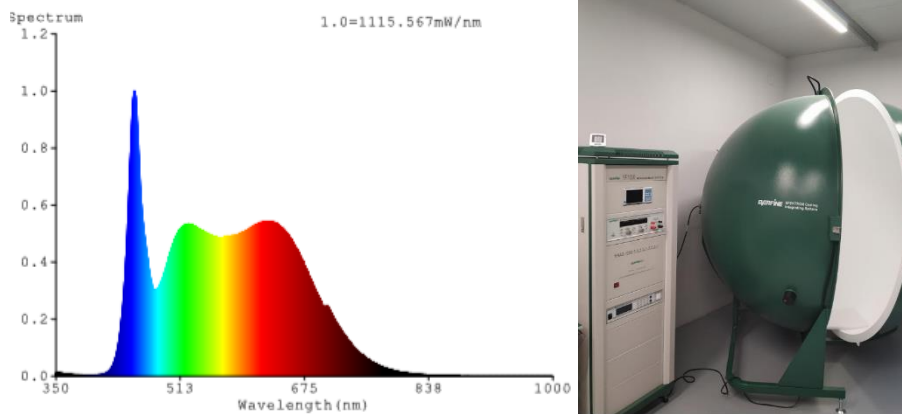


Figura E.21.- Funcionamiento de la Esfera Integradora de Ulbricht.

Para el caso que concierne a las propiedades colorimétricas, es necesario el uso de un espectrómetro como instrumento de medida, usa una graduación óptica o prima y un conjunto de sensores para dividir la energía entrante en diferentes longitudes de onda (en el rango de longitudes de onda perceptibles por el ojo humano). De esta forma, se separa la luz respecto a la longitud de onda registrando el espectro, obteniendo las características colorimétricas de la luz emitida por la luminaria ensayada.

Este sistema de Esfera Integrada es capaz de medir el flujo luminoso emitido, y con ella, la eficacia luminosa de la luminaria, de una forma mucho más rápida que con el uso del fotogoniómetro, además, el procedimiento es más simple, así como el equipamiento necesario. No obstante, la esfera integradora requiere de lámparas patrones de flujo, realización de calibraciones periódicas de la Constante K (propia de la esfera) y un estudio de la evolución de la constante para establecer la periodicidad con la que se debe repintar la Esfera.



*Figura E.22.- Esfera integradora del laboratorio de Luminalia.*

El ensayo se realiza con un sistema de Esfera Integradora modelo HAAS-2000 de la marca Everfine. El equipo está compuesto por una Esfera de Ulbricht de 2 metros de diámetro, un espectrómetro de rango 380-780 nm, una fuente de alimentación de CC, una fuente de alimentación de CA y un medidor de potencia. El equipo posee unas dimensiones y configuración adecuada para el tipo de luminarias LED que atañe y permite obtener los parámetros colorimétricos, además de la eficacia, para caracterizar la luz.



Figura E.23.- Esfera integradora.

En la actualidad, se están desarrollando nuevos ensayos para medir con precisión las características de las luminarias LED. El nuevo instrumento Gonio-Espectro radiómetro es capaz de analizar las variabilidades cromáticas y dispersión de color en cada ángulo Gamma de las coordenadas polares cuando se requiera. No obstante, como puede observarse en la *Figura E.24* utilizada para ilustrar la situación, se le conoce como luz blanca a un determinado rango de coordenadas dentro de una misma temperatura de color, y esta última posee un amplio rango de temperaturas frías válidas por normativa, atendiendo únicamente a que todos los proyectores posean la misma temperatura de color para una distribución homogénea de la misma en el campo. Por tanto, ante la tolerancia de la posición de coordenadas colorimétricas obtenidas en el ensayo de Esfera integradora de trabajo ( $\pm 0,00151$ ), estas variaciones cromáticas y dispersión de color son factores fuera del alcance del estudio, innecesario en el caso que atañe.

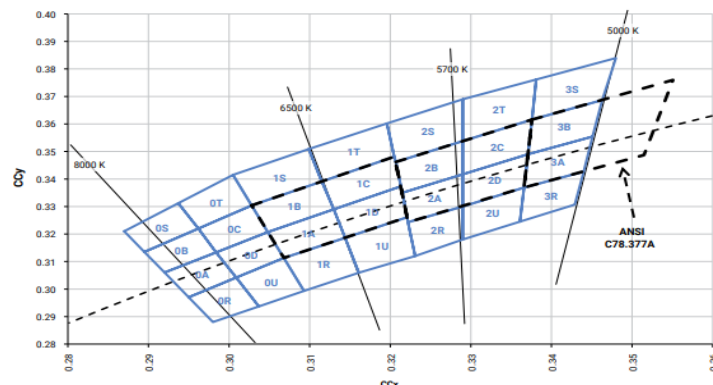


Figura E.24.- Diferentes regiones cromáticas de luz blanca para temperaturas frías del LED CREE XLamp XP-G3 White.



**Monitorización de variables y calibración:** Como en el caso del ensayo fotométrico, las variables eléctricas proporcionadas a la luminaria de ensayo deben de estar monitorizadas de forma continua. Además, como se ha comentado, la Esfera Integradora posee una Constante  $k$  particular de esta que varía con el uso, por tanto, es necesaria la realización de calibraciones mediante bombillas ANSI estandarizada. Las *Tablas E.2 y E.3* muestra la evolución real de la Constante  $k$  a lo largo del tiempo y sus efectos en la constante ante el repintado interior de una Esfera Integradora de idénticas dimensiones a la de propiedad de Luminalia para ilustrar esta necesidad de calibrado constante [49].

Tiempo (días)	k (lm/lx)
0	2.0554
724	2.1144
1145	2.1546
2017	2.2789
2411	2.3439
2624	2.3990

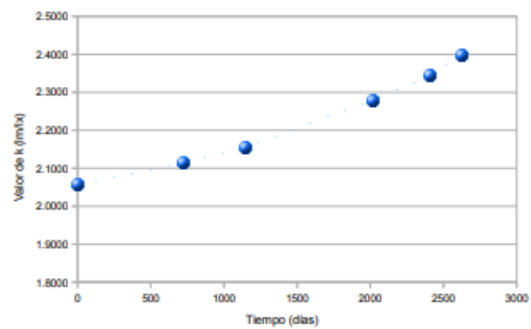


Tabla E.2.- Tabla y representación de la evolución a lo largo del tiempo de la constante  $K$  de una Esfera Integradora de 2 metros de diámetro.

Tiempo (días)	k (lm/lx)	Pintura
0	3.0504	
62	2.9992	
76	2.8660	1er mano
84	2.8737	2da mano
127	2.9251	
173	2.9458	

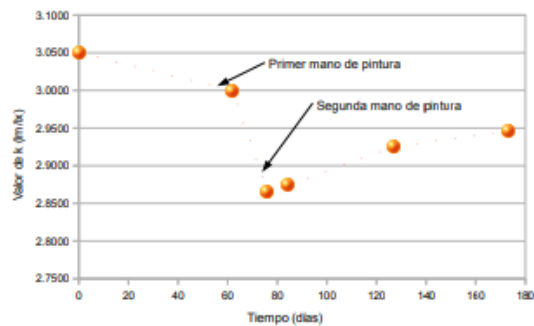


Tabla E.3.- Tabla y representación de los efectos sobre la constante  $k$  de una Esfera Integradora de 2 metros de diámetro.



Figura E.25.- Monitorización de variables eléctricas en la esfera integradora.

## E.6.-Normativa aplicable a los proyectores LED

A continuación, y a modo de resumen, se enumeran los diferentes marcados y certificados de la normativa aplicable para garantizar el cumplimiento técnico en términos generales (sin especificar el uso particular para campos de fútbol profesionales) de los proyectores LED para su uso como iluminación artificial:

<b>TABLA DE NORMATIVA APLICABLE</b>	
<b>Certificados generales</b>	
<b>Marcado CE</b>	Declaración de conformidad y expediente técnico tanto de la luminaria como de sus componentes
<b>Marcado Rohs</b>	No posee ningún material perjudicial para la salud
<b>Requisitos de Seguridad</b>	
<b>UNE-EN 60598-1</b>	Luminarias. Requisitos generales y ensayos
<b>UNE-EN 60598-2-5</b>	Luminarias. Requisitos particulares. Proyectores
<b>UNE-EN 62031</b>	Módulo LED para alumbrado general. Requisitos de seguridad
<b>UNE-EN 62471</b>	Seguridad fotobiológica de lámparas y aparatos que utilizan lámparas
<b>Compatibilidad electromagnética</b>	
<b>UNE-EN 61000-3-2</b>	Compatibilidad electromagnética (CEM). Límites para las emisiones de corriente armónica (equipos con corriente de entrada 16A por fase)

<b>UNE-EN 61000-3-3</b>	Compatibilidad electromagnética (CEM). Limitación de las variaciones de tensión, fluctuaciones de tensión y <i>flicker</i> en las redes públicas de suministro de baja tensión para equipos con corriente de entrada 16A por fase y no sujetos a una conexión condicional
<b>UNE-EN 61547</b>	Equipos para alumbrado de uso general. Requisitos de inmunidad CEM
<b>UNE-EN 55015</b>	Límites y métodos de medida de las características relativas a la perturbación radioeléctrica de los equipos de iluminación y similares
<b>Componentes del proyector</b>	
<b>UNE-EN 61347-2-13</b>	Dispositivos de control de lámpara. Parte 2-13: Requisitos particulares para dispositivos de control electrónicos alimentados con corriente continua o corriente alterna para módulos LED
<b>UNE-EN 62384</b>	Dispositivos de control electrónicos alimentados en corriente continua o corriente alterna para módulos LED. Requisitos de funcionamiento
<b>UNE-EN 62493</b>	Evaluación de los equipos de alumbrado con relación a la exposición humana a los campos electromagnéticos
<b>IEC 62717</b>	Módulos LED para iluminación general. Requisitos de funcionamiento
<b>Ensayos del proyector</b>	
<b>UNE-EN 13032-4</b>	Luz y alumbrado. Medición y presentación de datos fotométricos y colorimétricos. Parte 4: Lámparas LED, módulos y luminarias LED
<b>IEC 62475</b>	Ensayo de coordinación entre SPD y <i>driver</i> . Luminarias LED

Tabla E.4.- Tabla de normativa y certificados necesarios a cumplir por los proyectores LED.

## F.- Propuestas descartadas de la instalación de iluminación

Tal y como se comentó en el *subcapítulo 8.2*, nuevas disposiciones de las luminarias son necesarias para aumentar los niveles de iluminancia vertical a cámaras. Dos de las propuestas estudiadas son la colocación de disposiciones lineales bajo la segunda grada del estadio, donde se encuentran ubicadas las cámaras, o la colocación de nuevas disposiciones lineales en una segunda y hasta tercera línea para las gradas laterales, mientras que solamente se estudia la colocación de una única línea en la cubierta de fondo al tener una escasa profundidad. Las cuales se muestran a continuación en las *Figuras F.1 y F.2*.

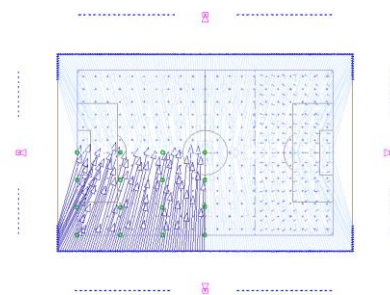


Figura F.1.- Propuesta con disposiciones lineales bajo segunda grada.

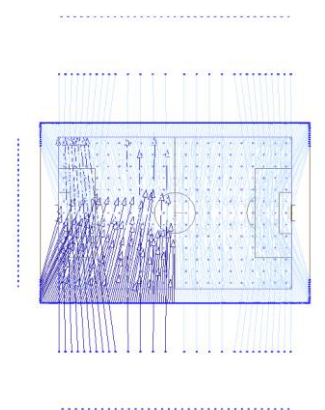


Figura F.2.- Propuesta con 3 disposiciones lineales en los laterales y disposición lineal en los fondos.

Con el uso de estas alternativas, es posible alcanzar tanto los valores de iluminancia vertical como la uniformidad necesaria para todas las cámaras, además de la ya lograda iluminancia horizontal. No obstante, estas son descartadas por diversas razones, en la primera alternativa la colocación de los proyectores con una aproximación excesiva a las cámaras de televisión puede tener efectos adversos para la retransmisión que no son analizados con el programa de cálculo Dialux. Además, estos lineales a media altura de las gradas dificultan la visualización del estadio y se encuentran más accesibles al espectador, conllevando con ello un riesgo de seguridad. Por otro lado, la segunda alternativa posee problemas con el tercer lineal de proyectores laterales, ya que, como se comentó anteriormente, la gran distancia que existe entre la disposición de luminarias y el terreno de juego, a pesar de proporcionar un ángulo mucho menos pronunciado de incidencia, hace que las pérdidas de flujo luminoso sean considerables y sea necesario un número de proyectores notablemente mayor que otras propuestas barajadas (del orden de 100000 Vatios más de potencia instalada). Además, el bajo ángulo de inclinación que posee el lineal hace que en el campo se produzca un deslumbramiento superior al permitido por normativa, con lo cual no es una solución factible.



Lista de puntos de cálculo GR

Nº	Designación	Posición [m]			Área del ángulo visual [°]				Max
		X	Y	Z	Inicio	Fin	Amplitud de paso	Inclinación	
1	Observador GR 1	0.000	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	45 <sup>2)</sup>
2	Observador GR 2	0.000	-11.333	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	45 <sup>2)</sup>
3	Observador GR 3	0.000	-22.333	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	44 <sup>2)</sup>
4	Observador GR 4	0.000	-34.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	40 <sup>2)</sup>
5	Observador GR 5	-17.333	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	52 <sup>2)</sup>
6	Observador GR 6	-17.333	-11.333	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	52 <sup>2)</sup>
7	Observador GR 7	-17.500	-22.666	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	51 <sup>2)</sup>
8	Observador GR 8	-17.333	-34.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	46 <sup>2)</sup>
9	Observador GR 9	-34.666	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	54 <sup>2)</sup>
10	Observador GR 10	-34.666	-11.333	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	54 <sup>2)</sup>
11	Observador GR 11	-34.666	-22.666	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	54 <sup>2)</sup>
12	Observador GR 12	-34.666	-34.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	48 <sup>2)</sup>
13	Observador GR 13	-52.500	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	55 <sup>2)</sup>
14	Observador GR 14	-52.500	-11.333	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	55 <sup>2)</sup>
15	Observador GR 15	-52.500	-22.666	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	54 <sup>2)</sup>
16	Observador GR 16	-52.500	-34.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	49 <sup>2)</sup>

2) La luminancia difusa equivalente del entorno que ha sido calculada presupone que el entorno presenta una reflexión completamente difusa (conforme a la norma EN 12464-2).

Figura F.3.- 2 de las propuestas analizadas: (1) lineales bajo a segunda grada, (2) valores de deslumbramiento con lineales al fondo de las gradas laterales.

## G.- Ensayos completos del proyector Tapia

### G.1.- Ensayos fotométricos

G.1.1.- Lentes tipo III

G.1.2.- Lentes tipo IV

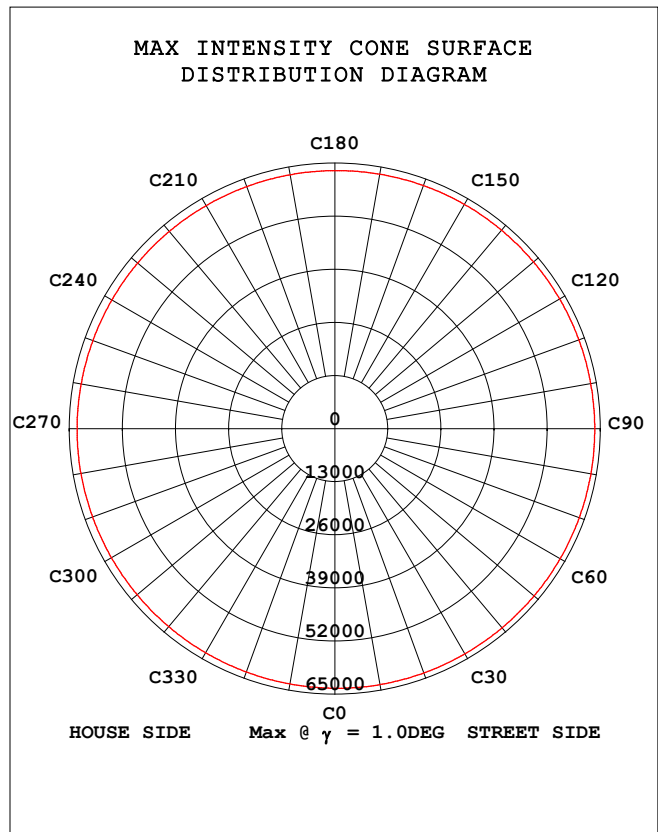
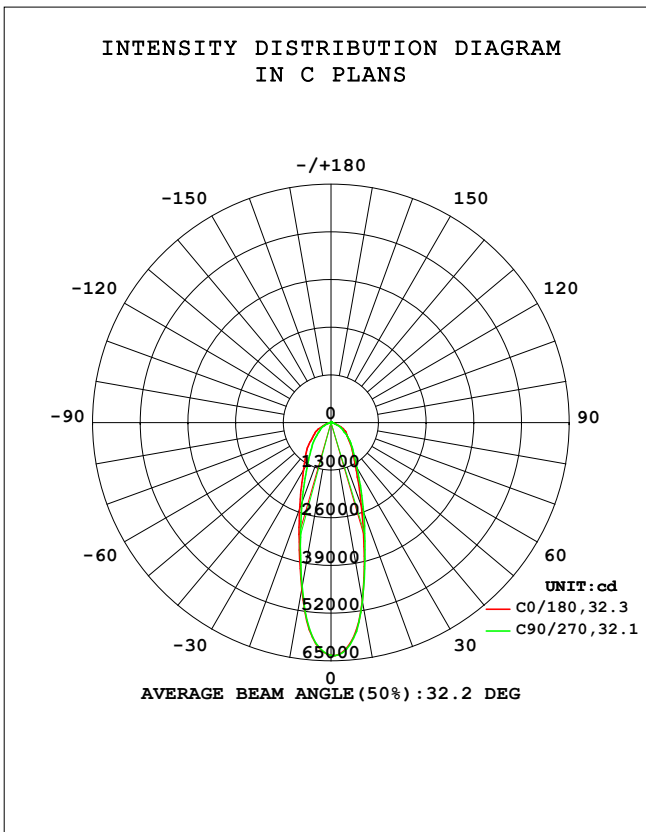
### G.2.- Ensayo colorimétrico

## H.- Estudio luminotécnico completo

**STREETLIGHT PHOTOMETRIC TEST REPORT**

Test:U:229.64V I:1.8990A P:428.32W PF:0.9822 Freq:49.99Hz Lamp Flux:44596x1 lm		
NAME: PROYECTOR TAPIA	TYPE:TAPIA 1 MÓDULO 400W	WEIGHT:
SPEC.:TAPIA 1 MÓDULO 400W L30x30	DIM.:	SERIAL No.:2PTA1M4005
MFR.: LUMINALIA	SUR.:	Shielding Angle:

DATA OF LAMP		PHOTOMETRIC DATA Eff: 104.12 lm/W			
MODEL	TAPIA	I <sub>max</sub> (cd)	63678	η street_up (%)	0.4
NOMINAL POWER (W)	400	LOR (%)	100.0	η street_down (%)	51.5
RATED VOLTAGE (V)	230	TOTAL FLUX (lm)	44596	η house_up (%)	0.4
NOMINAL FLUX (lm)	44596	MAXIMUM @ (C, γ )	68,1.0	η house_down (%)	47.7
LAMPS INSIDE	1	η up (%)	0.8	76 FLASHAREA (m2)	0.00100
TEST VOLTAGE (V)	230	η down (%)	99.2	SLI	19.894

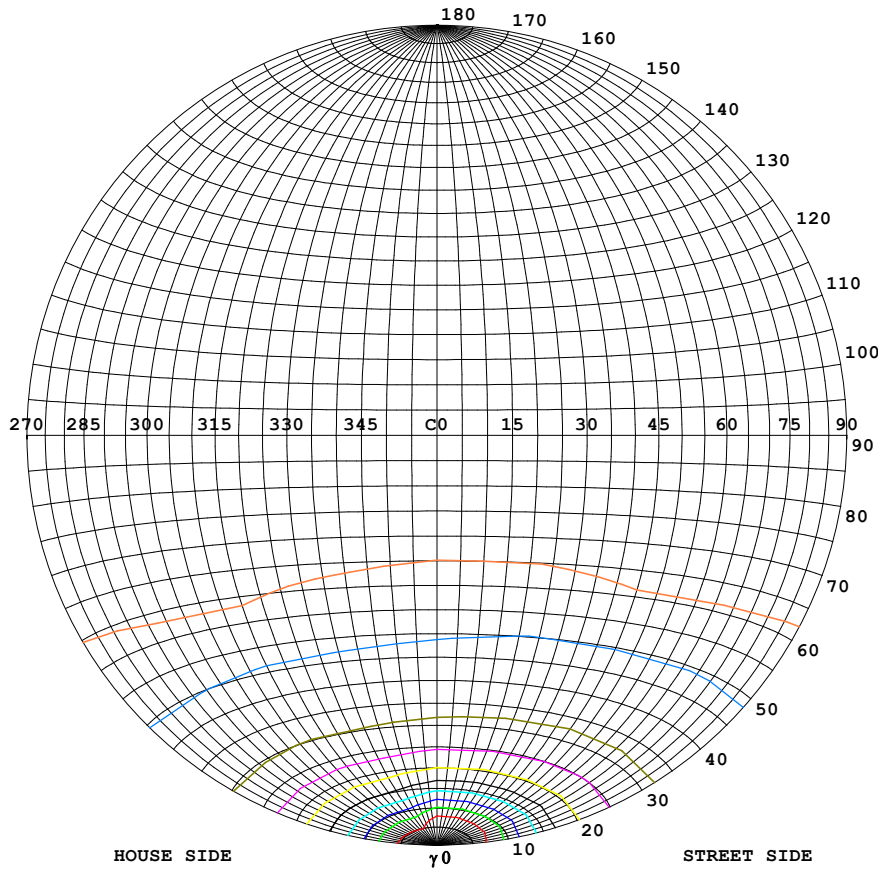


C Range: 0 - 360DEG  
 C Interval: 22.5DEG  
 Test Speed: HIGH  
 Temperature:25.3DEG  
 Operators:ENRIQUE  
 Test Date:10 May 2019

γ Range: 0 - 180DEG  
 γ Interval: 1.0DEG  
 Test System:EVERFINE GO-2000B\_V1 SYSTEM V2.0.400  
 Humidity:65.0%  
 Test Distance:7.080m [K=1.0000]  
 Remarks:

**STREETLIGHT ISOCANDELA DIAGRAM**

Test:U:229.64V I:1.8990A P:428.32W PF:0.9822 Freq:49.99Hz Lamp Flux:44596x1 lm		
NAME: PROYECTOR TAPIA	TYPE:TAPIA 1 MÓDULO 400W	WEIGHT:
SPEC.:TAPIA 1 MÓDULO 400W L30x30	DIM.:	SERIAL No.:2PTA1M4005
MFR.: LUMINALIA	SUR.:	Shielding Angle:



**Classification:**

IES:Type V - Very Short  
 CIE:Narrow - Short  
 IES:Cut-off  
 CIE:Full cut-off  
 Max.At80:10.05cd/klm  
 Max.At90:0.2488cd/klm  
 Max.80-90:10.05cd/klm  
 NRB 5101:Limited[1.7%]

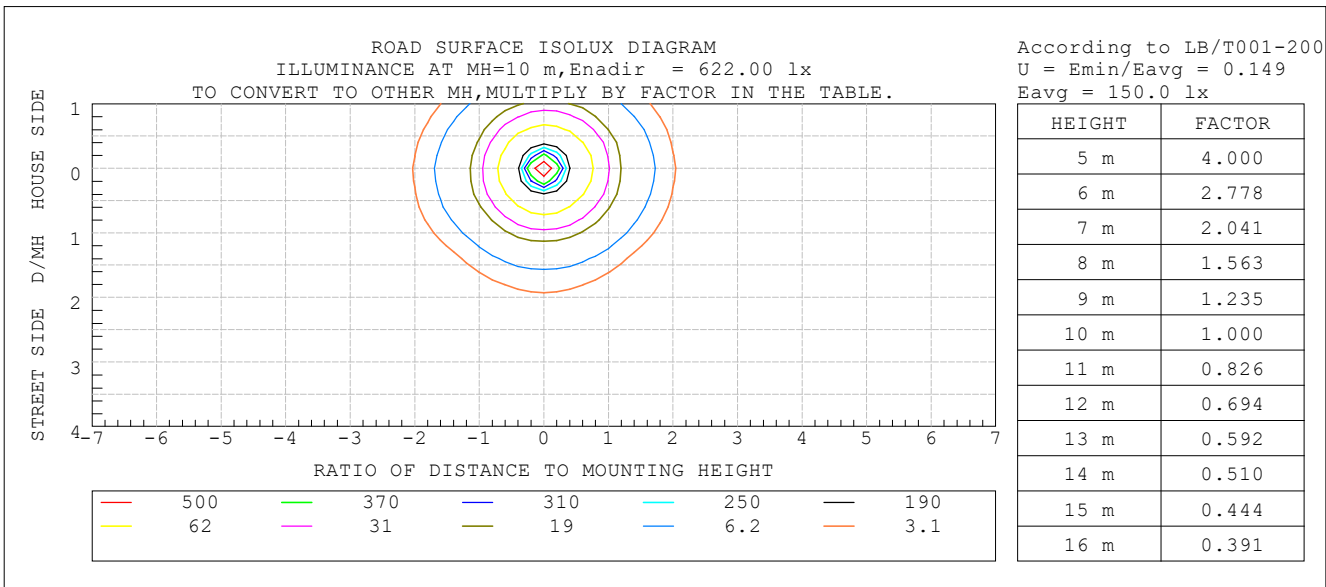
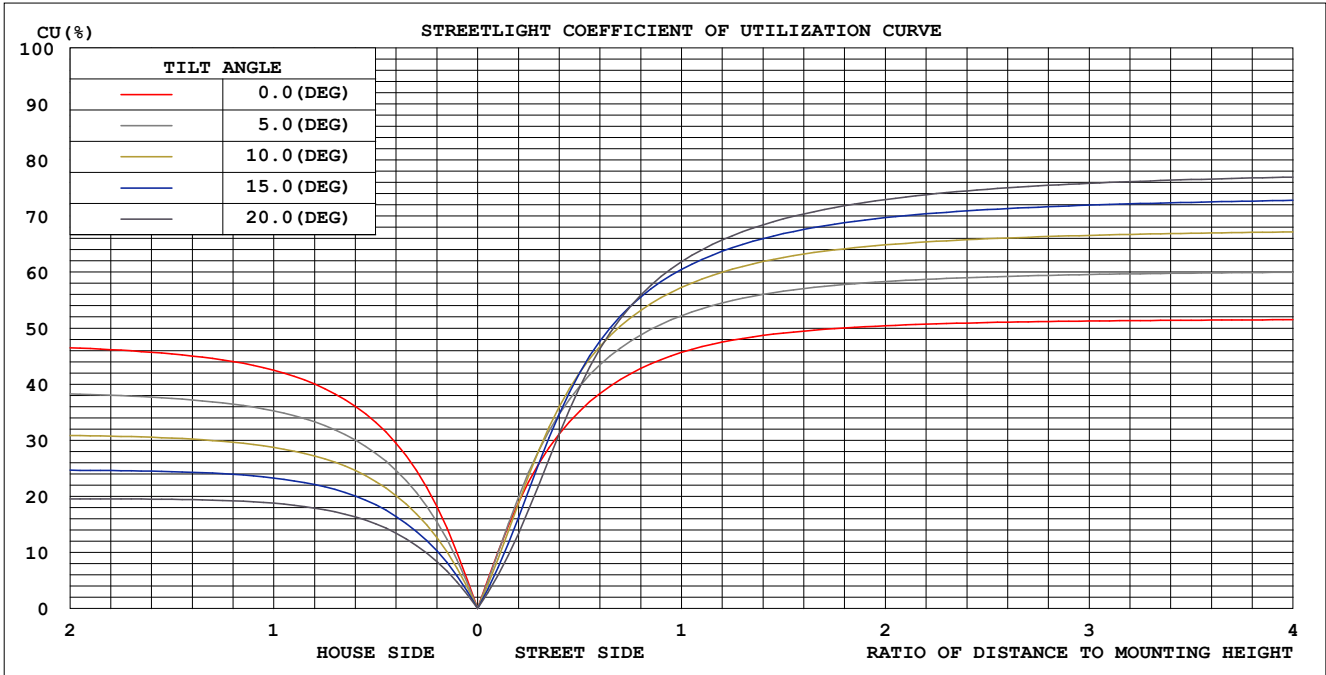
ISOCANDELA DIAGRAM	
UNIT	cd
Imax=100%	63678
90%	57311
80%	50943
70%	44575
60%	38207
50%	31839
40%	25471
30%	19104
20%	12736
10%	6368
5%	3184

C Range: 0 - 360DEG  
 C Interval: 22.5DEG  
 Test Speed: HIGH  
 Temperature:25.3DEG  
 Operators:ENRIQUE  
 Test Date:10 May 2019

$\gamma$  Range: 0 - 180DEG  
 $\gamma$  Interval: 1.0DEG  
 Test System:EVERFINE GO-2000B\_V1 SYSTEM V2.0.400  
 Humidity:65.0%  
 Test Distance:7.080m [K=1.0000]  
 Remarks:



**COEFFICIENT OF UTILIZATION CURVE  
AND ISOLUX DIAGRAM**



C Range: 0 - 360DEG  
C Interval: 22.5DEG  
Test Speed: HIGH  
Temperature: 25.3DEG  
Operators: ENRIQUE  
Test Date: 10 May 2019

γ Range: 0 - 180DEG  
γ Interval: 1.0DEG  
Test System: EVERFINE GO-2000B\_V1 SYSTEM V2.0.400  
Humidity: 65.0%  
Test Distance: 7.080m [K=1.0000]  
Remarks:

ZONAL FLUX DIAGRAM

Test:U:229.64V I:1.8990A P:428.32W PF:0.9822 Freq:49.99Hz Lamp Flux:44596x1 lm		
NAME: PROYECTOR TAPIA	TYPE:TAPIA 1 MÓDULO 400W	WEIGHT:
SPEC.:TAPIA 1 MÓDULO 400W L30x30	DIM.:	SERIAL No.:2PTA1M4005
MFR.: LUMINALIA	SUR.:	Shielding Angle:

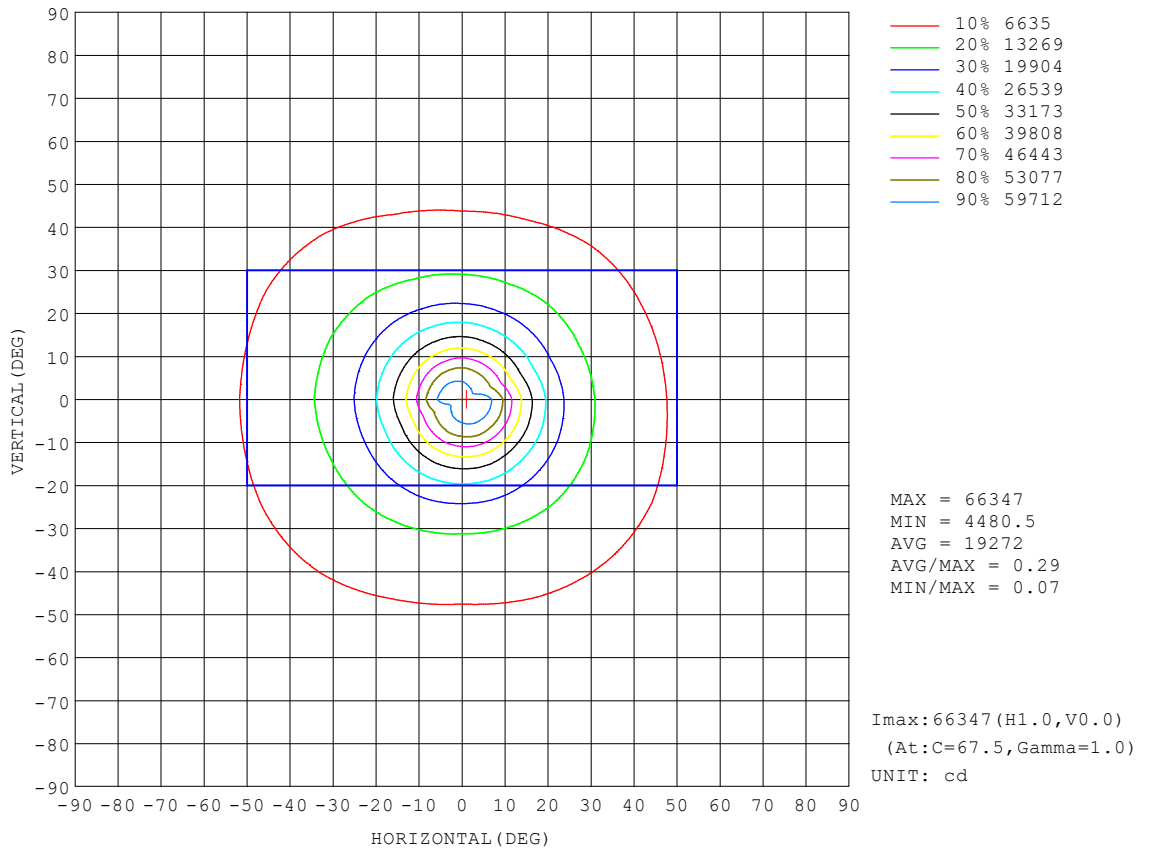
$\gamma$	C0	C45	C90	C135	C180	C225	C270	C315	$\gamma$	$\Phi$ zone	$\Phi$ total	%lum,lamp
10	4934	5005	4954	4867	4620	4530	4551	4689	0- 10	5309	5309	11.9,11.9
20	2447	2548	2617	2663	2524	2426	2317	2372	10- 20	9592	14901	33.4,33.4
30	1326	1418	1424	1553	1504	1422	1263	1332	20- 30	8562	23463	52.6,52.6
40	875.7	932.6	916.1	1044	1051	943.7	792.8	856.2	30- 40	7101	30564	68.5,68.5
50	587.1	612.0	586.1	694.8	682.0	596.9	474.8	551.5	40- 50	5864	36428	81.7,81.7
60	441.4	338.9	353.5	370.1	459.9	307.7	314.9	299.7	50- 60	4242	40670	91.2,91.2
70	178.6	135.7	155.0	148.7	166.4	114.7	121.8	122.2	60- 70	2542	43212	96.9,96.9
80	38.46	37.13	34.58	40.15	32.84	24.45	23.83	32.09	70- 80	896.7	44108	98.9,98.9
90	1.009	1.032	1.013	0.8299	0.8919	0.7776	0.7416	0.8199	80- 90	128.4	44237	99.2,99.2
100	1.726	1.384	1.194	1.366	1.561	1.440	1.350	1.550	90-100	11.88	44248	99.2,99.2
110	2.896	2.425	2.071	2.323	2.531	2.423	2.310	2.642	100-110	20.30	44269	99.3,99.3
120	4.443	3.850	3.318	3.643	3.890	3.782	3.676	4.152	110-120	30.74	44300	99.3,99.3
130	6.607	5.928	5.347	5.672	6.023	5.886	5.880	6.382	120-130	43.11	44343	99.4,99.4
140	9.691	9.108	8.627	8.871	9.284	9.230	9.324	9.746	130-140	57.83	44400	99.6,99.6
150	13.03	12.78	12.50	12.61	12.85	13.08	13.32	13.59	140-150	69.59	44470	99.7,99.7
160	15.21	15.18	15.13	15.14	15.13	15.42	15.83	15.96	150-160	66.06	44536	99.9,99.9
170	15.93	15.72	15.99	15.90	15.88	15.85	16.30	16.23	160-170	44.65	44581	100,100
180	16.16	15.80	16.34	16.04	16.33	15.92	16.46	16.12	170-180	15.28	44596	100,100
DEG	LUMINOUS INTENSITY: $\mu$ A10cd								UNIT:lm			

C Range: 0 - 360DEG  
 C Interval: 22.5DEG  
 Test Speed: HIGH  
 Temperature:25.3DEG  
 Operators:ENRIQUE  
 Test Date:10 May 2019

$\gamma$  Range: 0 - 180DEG  
 $\gamma$  Interval: 1.0DEG  
 Test System:EVERFINE GO-2000B\_V1 SYSTEM V2.0.400  
 Humidity:65.0%  
 Test Distance:7.080m [K=1.0000]  
 Remarks:

**ISOCANDELA DIAGRAM**

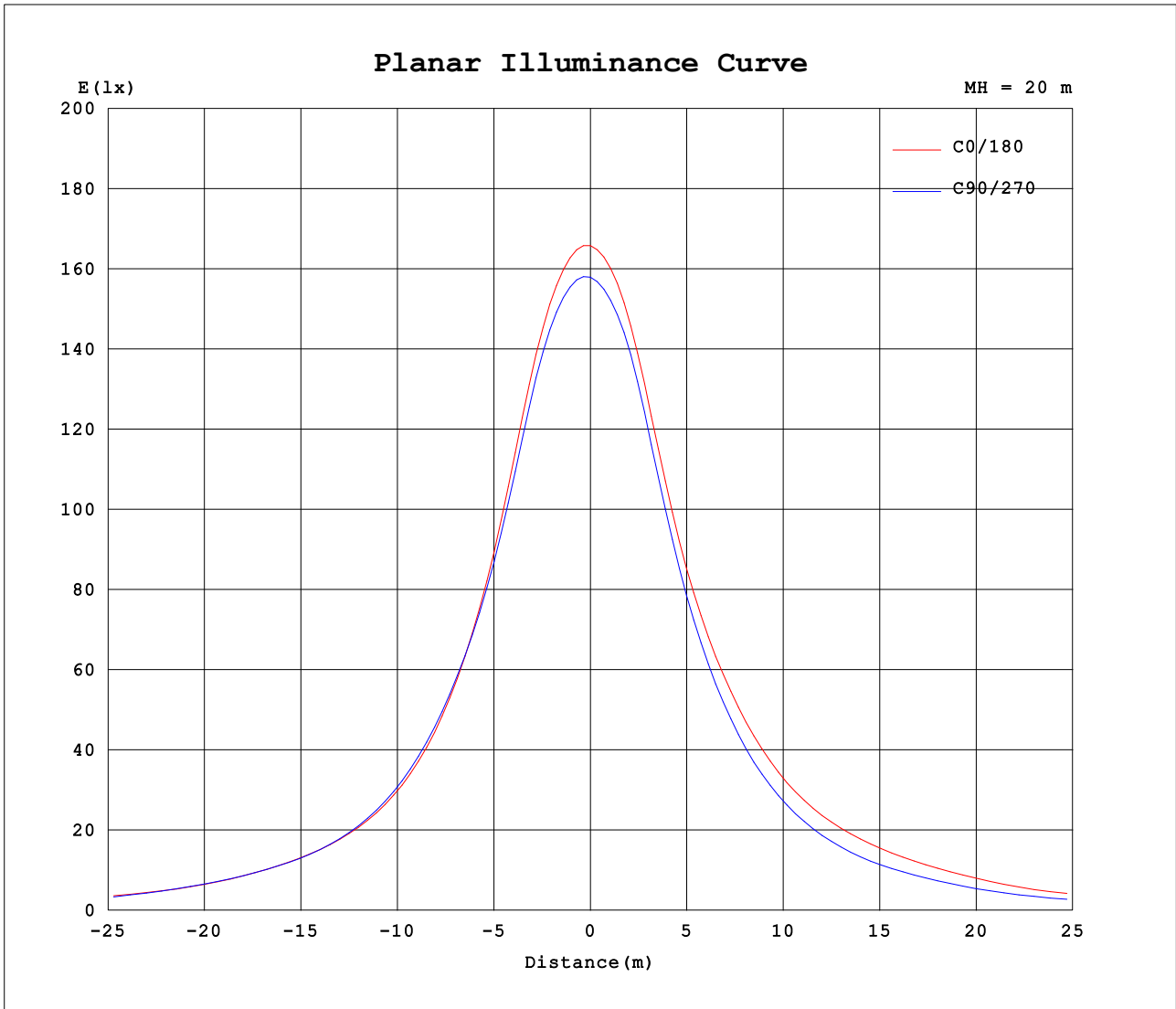
Test:U:229.64V I:1.8990A P:428.32W PF:0.9822 Freq:49.99Hz Lamp Flux:44596x1 lm		
NAME: PROYECTOR TAPIA	TYPE:TAPIA 1 MÓDULO 400W	WEIGHT:
SPEC.:TAPIA 1 MÓDULO 400W L30x30	DIM.:	SERIAL No.:2PTA1M4005
MFR.: LUMINALIA	SUR.:	Shielding Angle:



C Range: 0 - 360DEG  
 C Interval: 22.5DEG  
 Test Speed: HIGH  
 Temperature:25.3DEG  
 Operators:ENRIQUE  
 Test Date:10 May 2019

γ Range: 0 - 180DEG  
 γ Interval: 1.0DEG  
 Test System:EVERFINE GO-2000B\_V1 SYSTEM V2.0.400  
 Humidity:65.0%  
 Test Distance:7.080m [K=1.0000]  
 Remarks:

**Planar Illuminance Curve**



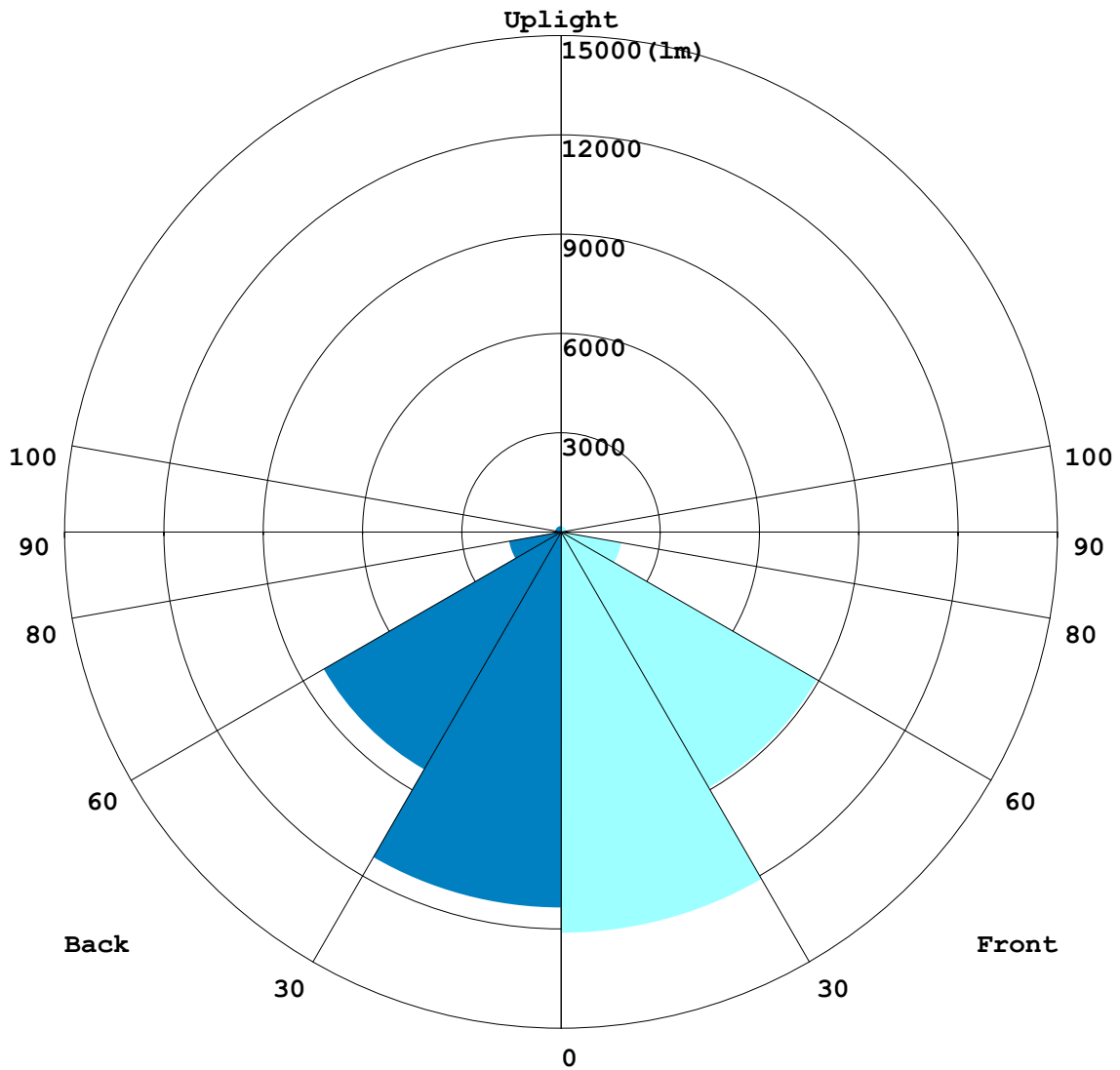
C Range: 0 - 360DEG  
 C Interval: 22.5DEG  
 Test Speed: HIGH  
 Temperature: 25.3DEG  
 Operators: ENRIQUE  
 Test Date: 10 May 2019

γ Range: 0 - 180DEG  
 γ Interval: 1.0DEG  
 Test System: EVERFINE GO-2000B\_V1 SYSTEM V2.0.400  
 Humidity: 65.0%  
 Test Distance: 7.080m [K=1.0000]  
 Remarks:

**LCS REPORT**

Test:U:229.64V I:1.8990A P:428.32W PF:0.9822 Freq:49.99Hz Lamp Flux:44596x1 lm		
NAME: PROYECTOR TAPIA	TYPE:TAPIA 1 MÓDULO 400W	WEIGHT:
SPEC.:TAPIA 1 MÓDULO 400W L30x30	DIM.:	SERIAL No.:2PTA1M4005
MFR.: LUMINALIA	SUR.:	Shielding Angle:

**LUMINAIRE CLASSIFICATION SYSTEM(LCS) GRAPH**



C Range: 0 - 360DEG  
 C Interval: 22.5DEG  
 Test Speed: HIGH  
 Temperature:25.3DEG  
 Operators:ENRIQUE  
 Test Date:10 May 2019

$\gamma$  Range: 0 - 180DEG  
 $\gamma$  Interval: 1.0DEG  
 Test System:EVERFINE GO-2000B\_V1 SYSTEM V2.0.400  
 Humidity:65.0%  
 Test Distance:7.080m [K=1.0000]  
 Remarks:

**BUG REPORT**

Test:U:229.64V I:1.8990A P:428.32W PF:0.9822 Freq:49.99Hz Lamp Flux:44596x1 lm		
NAME: PROYECTOR TAPIA	TYPE:TAPIA 1 MÓDULO 400W	WEIGHT:
SPEC.:TAPIA 1 MÓDULO 400W L30x30	DIM.:	SERIAL No.:2PTA1M4005
MFR.: LUMINALIA	SUR.:	Shielding Angle:

**IESNA Luminaire Flux Distribution Table:**

Zone	Lumens	Luminaire %
FL - Front-Low(0-30)	12113	27.2
FM - Front-Medium(30-60)	8923.9	20.0
FH - Front-High(60-80)	1848.7	4.1
FVH - Front-Very High(80-90)	76.681	0.2
<b>Total Forward Light</b>	<b>23139</b>	<b>51.9</b>

BL - Back-Low(0-30)	11350	25.5
BM - Back-Medium(30-60)	8282.9	18.6
BH - Back-High(60-80)	1589.7	3.6
BVH - Back-Very High(80-90)	51.708	0.1
<b>Total Back Light</b>	<b>21457</b>	<b>48.1</b>

UL - Uplight-Low(90-100)	11.881	0.0
UH - Uplight-High(100-180)	347.57	0.8
<b>Total Up Light</b>	<b>359.45</b>	<b>0.8</b>

<b>BUG(Back,Up,Glare) Rating</b>	<b>B5-U3-G2</b>
----------------------------------	-----------------

Zone	Downward Lumens	Upward Lumens	Total Lumens
House Side	21274	182.65	21457
Street Side	22962	176.8	23139

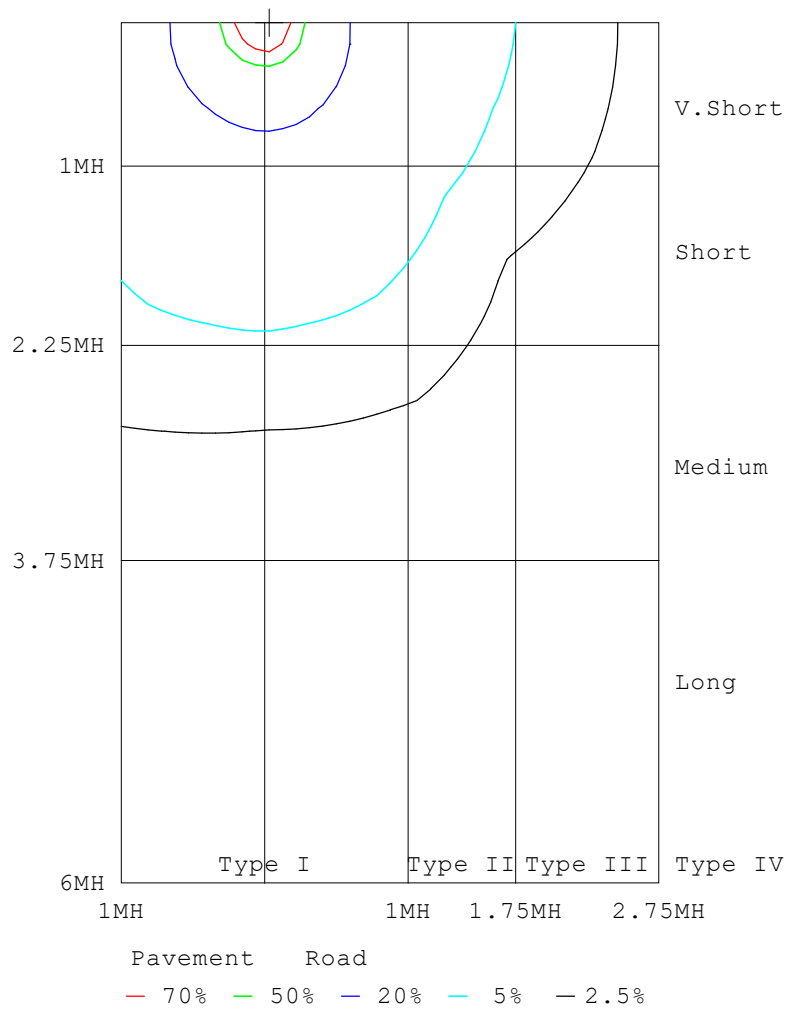
C Range: 0 - 360DEG  
 C Interval: 22.5DEG  
 Test Speed: HIGH  
 Temperature:25.3DEG  
 Operators:ENRIQUE  
 Test Date:10 May 2019

γ Range: 0 - 180DEG  
 γ Interval: 1.0DEG  
 Test System:EVERFINE GO-2000B\_V1 SYSTEM V2.0.400  
 Humidity:65.0%  
 Test Distance:7.080m [K=1.0000]  
 Remarks:

**ROAD ISOCANDELA REPORT**

Test:U:229.64V I:1.8990A P:428.32W PF:0.9822 Freq:49.99Hz Lamp Flux:44596x1 lm		
NAME: PROYECTOR TAPIA	TYPE:TAPIA 1 MÓDULO 400W	WEIGHT:
SPEC.:TAPIA 1 MÓDULO 400W L30x30	DIM.:	SERIAL No.:2PTA1M4005
MFR.: LUMINALIA	SUR.:	Shielding Angle:

ROAD SURFACE ISOCANDELA DIAGRAM



C Range: 0 - 360DEG  
 C Interval: 22.5DEG  
 Test Speed: HIGH  
 Temperature:25.3DEG  
 Operators:ENRIQUE  
 Test Date:10 May 2019

$\gamma$  Range: 0 - 180DEG  
 $\gamma$  Interval: 1.0DEG  
 Test System:EVERFINE GO-2000B\_V1 SYSTEM V2.0.400  
 Humidity:65.0%  
 Test Distance:7.080m [K=1.0000]  
 Remarks:

LUMINOUS DISTRIBUTION INTENSITY DATA

Test:U:229.64V I:1.8990A P:428.32W PF:0.9822 Freq:49.99Hz Lamp Flux:44596x1 lm		
NAME: PROYECTOR TAPIA	TYPE:TAPIA 1 MÓDULO 400W	WEIGHT:
SPEC.:TAPIA 1 MÓDULO 400W L30x30	DIM.:	SERIAL No.:2PTA1M4005
MFR.: LUMINALIA	SUR.:	Shielding Angle:

Table--1

UNIT:  $\mu$ Á10cd

C (DEG) \ $\gamma$ (DEG)	0	22.5	45	67.5	90	112.5	135	157.5	180	202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5			
0	6352	6352	6352	6352	6352	6352	6352	6352	6352	6352	6352	6352	6352	6352	6352	6352			
5	6043	6093	6103	6108	6072	6056	6008	5963	5874	5834	5837	5834	5864	5885	5931	5976			
10	4934	5017	5005	5016	4954	4945	4867	4802	4620	4542	4530	4507	4551	4587	4689	4788			
15	3496	3573	3586	3611	3593	3601	3578	3537	3370	3308	3281	3240	3236	3241	3319	3420			
20	2447	2527	2548	2598	2617	2653	2663	2667	2524	2478	2426	2349	2317	2312	2372	2437			
25	1755	1827	1865	1898	1905	1974	2013	2033	1918	1892	1837	1736	1684	1689	1748	1791			
30	1326	1389	1418	1424	1424	1489	1553	1587	1504	1482	1422	1308	1263	1268	1332	1370			
35	1060	1107	1127	1128	1114	1177	1250	1301	1242	1213	1137	1034	978	997	1050	1090			
40	876	916	933	924	916	961	1044	1101	1051	1017	944	830	793	799	856	891			
45	705	759	768	762	751	791	866	925	872	847	767	666	621	642	695	728			
50	587	621	612	609	586	628	695	741	682	668	597	505	475	496	551	598			
55	512	515	466	453	436	468	526	582	564	518	435	378	372	381	412	493			
60	441	422	339	336	354	349	370	456	460	410	308	303	315	304	300	396			
65	308	304	235	256	261	257	250	319	297	277	193	213	211	215	200	275			
70	179	196	136	160	155	165	149	201	166	167	115	123	122	127	122	174			
75	87.5	105	78.3	89.8	78.5	92.8	85.5	108	79.7	79.8	62.1	64.0	59.2	70.1	70.7	94.6			
80	38.5	40.5	37.1	36.5	34.6	37.8	40.2	44.8	32.8	29.0	24.4	22.6	23.8	26.9	32.1	41.1			
85	10.3	11.5	10.6	10.7	10.4	11.2	11.7	12.3	6.90	6.22	4.92	4.66	5.28	6.59	8.20	11.3			
90	1.01	1.11	1.03	1.10	1.01	0.99	0.83	0.84	0.89	0.86	0.78	0.74	0.74	0.76	0.82	0.92			
95	1.27	1.15	1.00	0.90	0.89	0.90	1.00	1.13	1.19	1.16	1.07	1.01	1.00	1.04	1.14	1.26			
100	1.73	1.58	1.38	1.22	1.19	1.22	1.37	1.53	1.56	1.53	1.44	1.36	1.35	1.41	1.55	1.70			
105	2.27	2.10	1.86	1.65	1.59	1.63	1.81	2.00	2.01	1.98	1.90	1.80	1.79	1.87	2.05	2.23			
110	2.90	2.70	2.42	2.16	2.07	2.12	2.32	2.54	2.53	2.51	2.42	2.32	2.31	2.42	2.64	2.84			
115	3.61	3.40	3.08	2.75	2.63	2.68	2.92	3.18	3.14	3.12	3.04	2.92	2.92	3.06	3.33	3.55			
120	4.44	4.20	3.85	3.48	3.32	3.37	3.64	3.94	3.89	3.86	3.78	3.66	3.68	3.85	4.15	4.37			
125	5.42	5.17	4.78	4.39	4.20	4.24	4.54	4.88	4.82	4.79	4.71	4.60	4.64	4.84	5.15	5.37			
130	6.61	6.36	5.93	5.54	5.35	5.38	5.67	6.08	6.02	5.98	5.89	5.80	5.88	6.07	6.38	6.61			
135	8.03	7.80	7.37	7.00	6.81	6.85	7.12	7.57	7.51	7.50	7.40	7.34	7.45	7.62	7.92	8.13			
140	9.69	9.49	9.11	8.77	8.63	8.64	8.87	9.31	9.28	9.30	9.23	9.21	9.32	9.48	9.75	9.89			
145	11.4	11.3	11.0	10.8	10.6	10.6	10.8	11.1	11.1	11.2	11.2	11.2	11.4	11.5	11.7	11.8			
150	13.0	13.0	12.8	12.6	12.5	12.5	12.6	12.8	12.9	12.9	13.1	13.1	13.3	13.4	13.6	13.5			
155	14.3	14.3	14.2	14.2	14.1	14.1	14.1	14.2	14.2	14.3	14.5	14.6	14.8	14.9	15.1	14.9			
160	15.2	15.3	15.2	15.2	15.1	15.2	15.1	15.1	15.1	15.1	15.4	15.6	15.8	15.8	16.0	15.9			
165	15.7	15.8	15.6	15.7	15.7	15.9	15.7	15.6	15.6	15.4	15.8	16.0	16.2	16.1	16.3	16.3			
170	15.9	15.9	15.7	15.9	16.0	16.2	15.9	15.8	15.9	15.5	15.9	16.2	16.3	16.0	16.2	16.3			
175	16.0	16.0	15.8	16.0	16.2	16.3	15.9	15.9	16.1	15.6	15.8	16.2	16.3	16.0	16.1	16.3			
180	16.2	16.0	15.8	16.2	16.3	16.3	16.0	16.2	16.3	15.9	15.9	16.1	16.5	16.2	16.1	16.2			

C Range: 0 - 360DEG  
 C Interval: 22.5DEG  
 Test Speed: HIGH  
 Temperature:25.3DEG  
 Operators:ENRIQUE  
 Test Date:10 May 2019

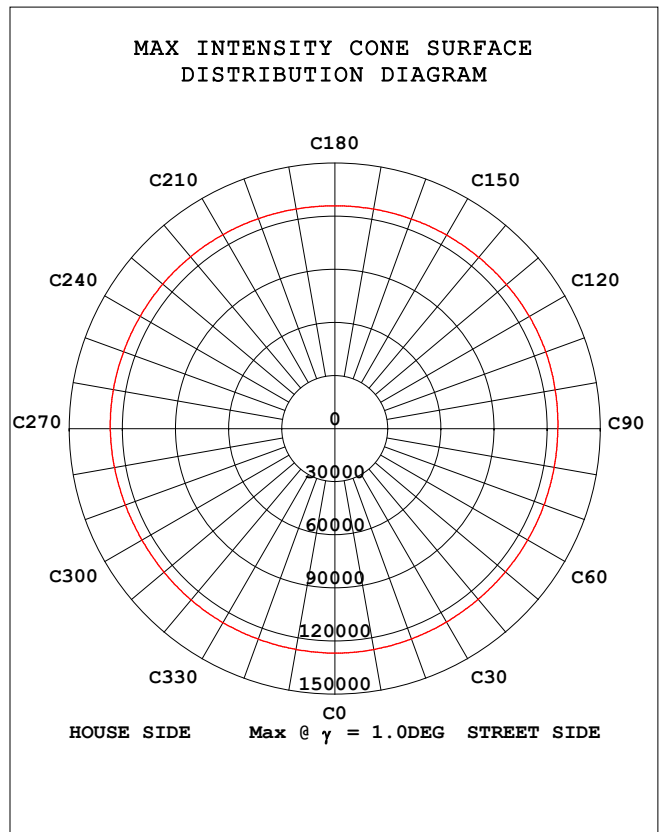
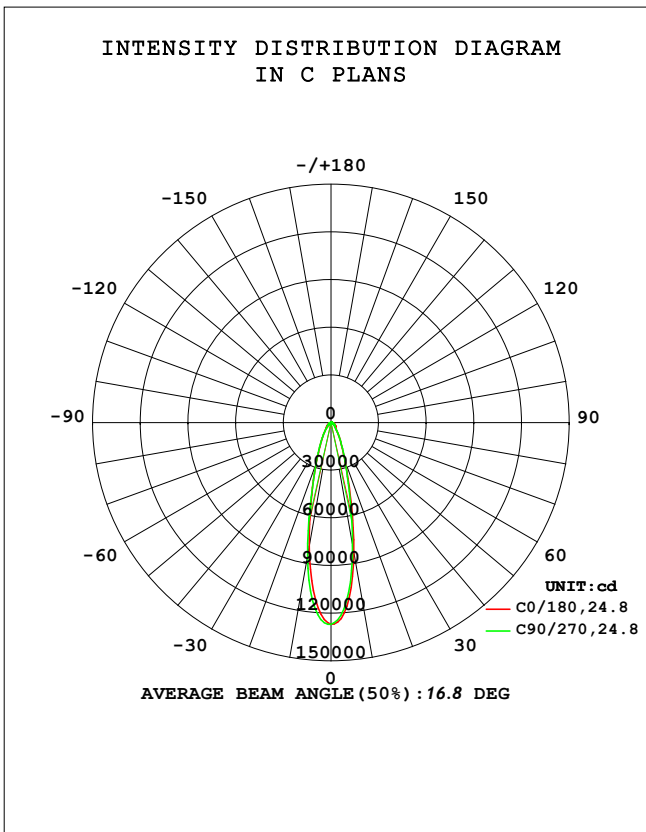
$\gamma$  Range: 0 - 180DEG  
 $\gamma$  Interval: 1.0DEG  
 Test System:EVERFINE GO-2000B\_V1 SYSTEM V2.0.400  
 Humidity:65.0%  
 Test Distance:7.080m [K=1.0000]  
 Remarks:



**STREETLIGHT PHOTOMETRIC TEST REPORT**

Test:U:229.74V I:1.8908A P:428.3W PF:0.9823 Freq:0Hz Lamp Flux:44496.1x1		
Im NAME: PROYECTOR TAPIA	TYPE:TAPIA 1 MÓDULO 400	WEIGHT:9
SPEC.:LENTEs 15 APERTURA	DIM.:	SERIAL No.:PT4324255
MFR.: LUMINALIA	SUR.:	Shielding Angle:120

DATA OF LAMP		PHOTOMETRIC DATA Eff: 103.89 lm/W			
MODEL	TAPIA 1M 400W	Imax(cd)	127064	$\eta$ street_up(%)	0.4
NOMINAL POWER(W)	400	LOR(%)	100.0	$\eta$ street_down(%)	49.4
RATED VOLTAGE(V)	230	TOTAL FLUX(lm)	44496	$\eta$ house_up(%)	0.4
NOMINAL FLUX(lm)	44496.1	MAXIMUM @ (C, $\gamma$ )	248,1.0	$\eta$ house_down(%)	49.8
LAMPS INSIDE	1	$\eta$ up(%)	0.8	76 FLASHAREA(m2)	0.00100
TEST VOLTAGE(V)	230	$\eta$ down(%)	99.2	SLI	20.240

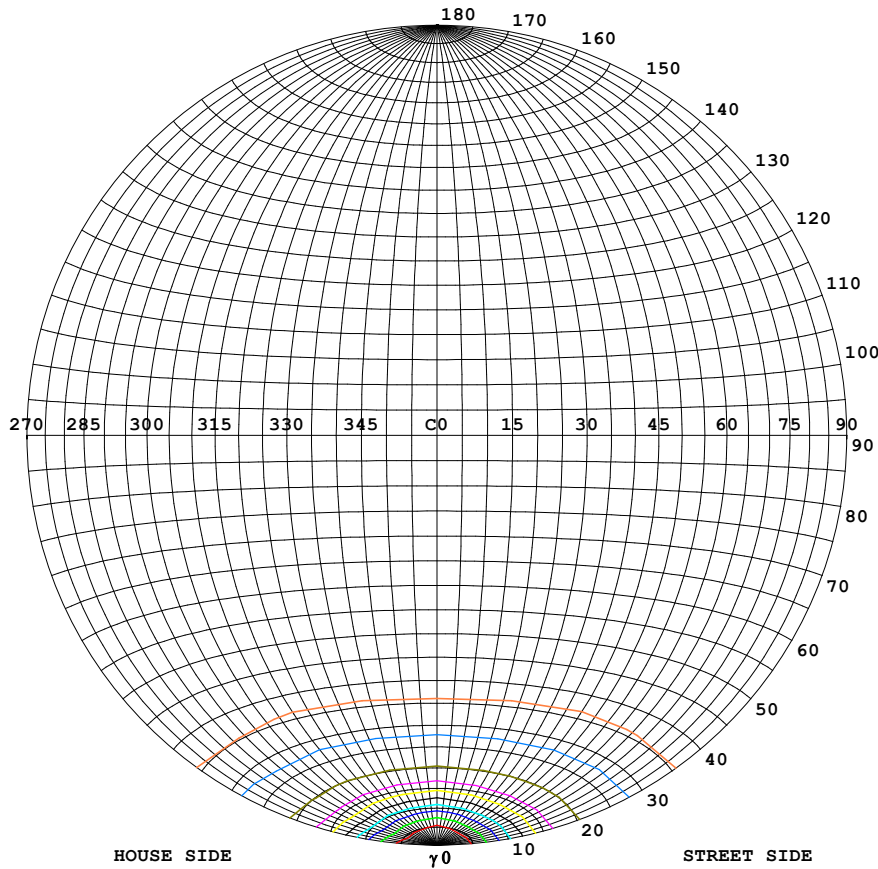


C Range: 0 - 360DEG  
 C Interval: 22.5DEG  
 Test Speed: HIGH  
 Temperature:25.3DEG  
 Operators:ENRIQUE  
 Test Date:20 June 2019

$\gamma$  Range: 0 - 180DEG  
 $\gamma$  Interval: 1.0DEG  
 Test System:EVERFINE GO-2000B\_V1 SYSTEM V2.0.400  
 Humidity:65.0%  
 Test Distance:7.080m [K=1.0000]  
 Remarks:

**STREETLIGHT ISOCANDELA DIAGRAM**

Test:U:229.74V I:1.8908A P:426.71W PF:0.9823 Freq:0Hz Lamp Flux:43904.4x1 lm		
NAME: PROYECTOR TAPIA	TYPE:TAPIA 1 MÓDULO 400	WEIGHT:9
SPEC.:LENTEs 15 APERTURA	DIM.:	SERIAL No.:PT4324255
MFR.: LUMINALIA	SUR.:	Shielding Angle:120



**Classification:**

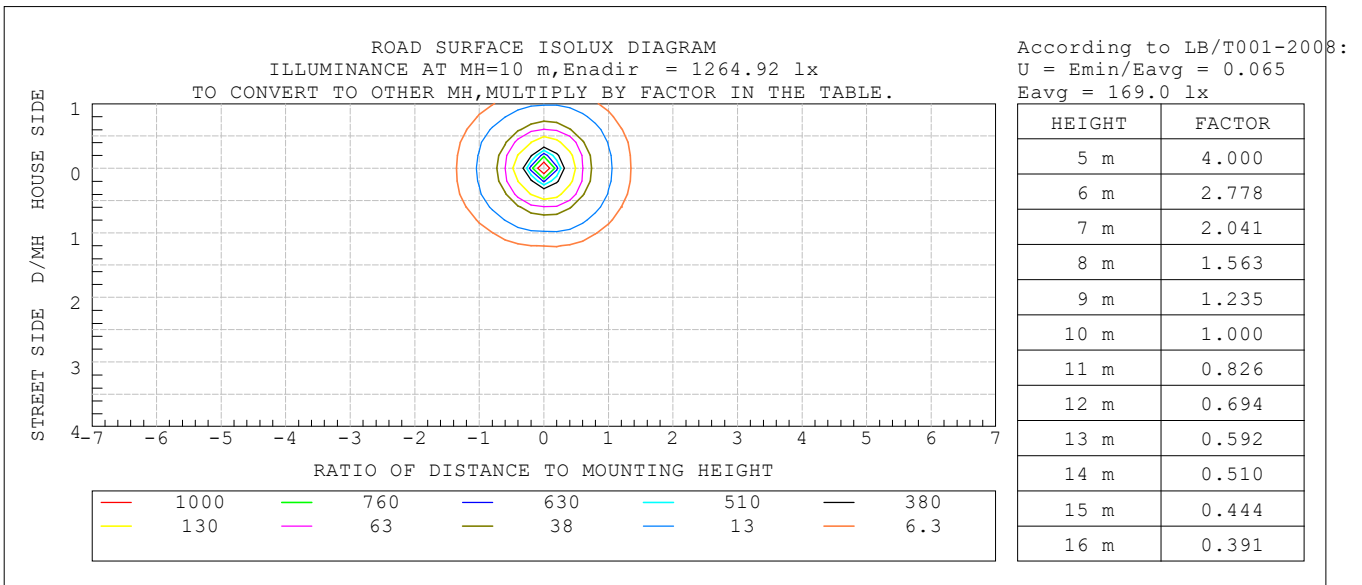
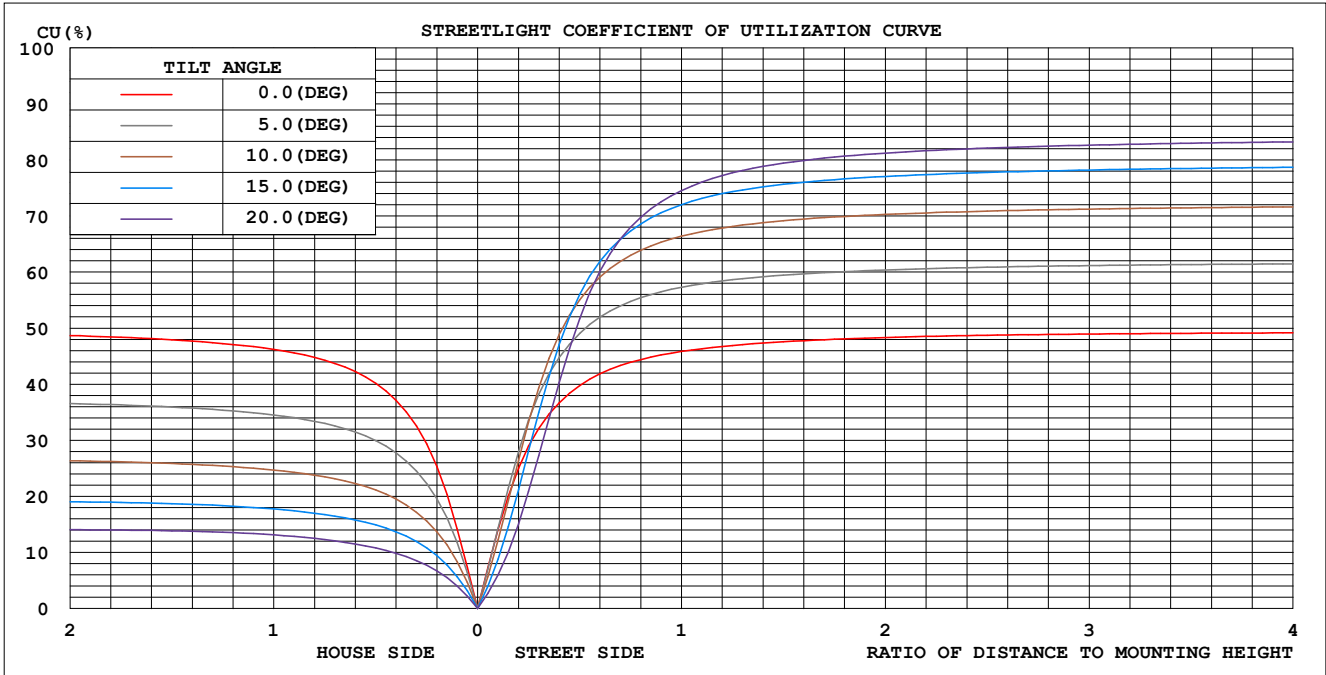
IES:Type V - Very Short  
 CIE:Narrow - Short  
 IES:Cut-off  
 CIE:Full cut-off  
 Max.At80:12.33cd/klm  
 Max.At90:0.2673cd/klm  
 Max.80-90:12.33cd/klm  
 NRB 5101:Limited[1.9%]

ISOCANDELA DIAGRAM	
UNIT	cd
Imax=100%	127064
90%	114357
80%	101651
70%	88945
60%	76238
50%	63532
40%	50825
30%	38119
20%	25413
10%	12706
5%	6353

C Range: 0 - 360DEG  
 C Interval: 22.5DEG  
 Test Speed: HIGH  
 Temperature:25.3DEG  
 Operators:ENRIQUE  
 Test Date:20 June 2019

$\gamma$  Range: 0 - 180DEG  
 $\gamma$  Interval: 1.0DEG  
 Test System:EVERFINE GO-2000B\_V1 SYSTEM V2.0.400  
 Humidity:65.0%  
 Test Distance:7.080m [K=1.0000]  
 Remarks:

**COEFFICIENT OF UTILIZATION CURVE  
AND ISOLUX DIAGRAM**



C Range: 0 - 360DEG  
 C Interval: 22.5DEG  
 Test Speed: HIGH  
 Temperature: 25.3DEG  
 Operators: ENRIQUE  
 Test Date: 20 June 2019

$\gamma$  Range: 0 - 180DEG  
 $\gamma$  Interval: 1.0DEG  
 Test System: EVERFINE GO-2000B\_V1 SYSTEM V2.0.400  
 Humidity: 65.0%  
 Test Distance: 7.080m [K=1.0000]  
 Remarks:

**ZONAL FLUX DIAGRAM**

Test:U:229.74V I:1.8908A P:426.71W PF:0.9823 Freq:0Hz Lamp Flux:43904.4x1 lm		
NAME: PROYECTOR TAPIA	TYPE:TAPIA 1 MÓDULO 400	WEIGHT:9
SPEC.:LENTEs 15 APERTURA	DIM.:	SERIAL No.:PT4324255
MFR.: LUMINALIA	SUR.:	Shielding Angle:120

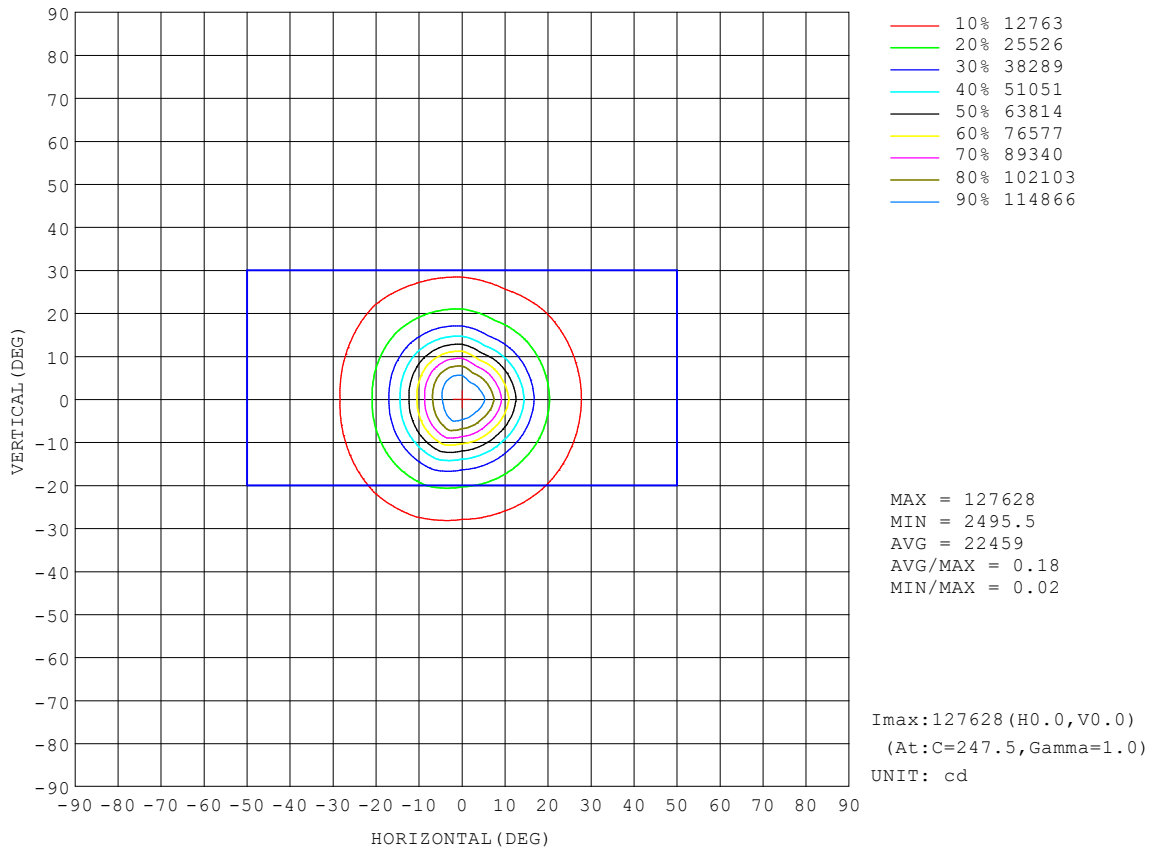
γ	C0	C45	C90	C135	C180	C225	C270	C315	γ	Φ zone	Φ total	%lum,lamp
10	829.0	758.3	788.0	843.6	793.2	860.6	853.7	787.3	0- 10	9843	9843	22.4,22.4
20	263.0	252.3	263.2	297.9	277.3	299.6	279.1	257.6	10- 20	13280	23123	52.7,52.7
30	105.5	106.2	105.9	122.3	110.2	122.6	110.4	106.7	20- 30	7995	31118	70.9,70.9
40	48.35	50.25	45.19	57.70	50.43	57.08	45.71	50.27	30- 40	4669	35787	81.5,81.5
50	35.38	30.91	24.35	33.00	34.68	33.52	24.12	30.21	40- 50	3031	38819	88.4,88.4
60	20.90	19.08	17.14	19.34	19.55	20.04	17.18	18.89	50- 60	2170	40988	93.4,93.4
70	13.10	11.13	10.56	11.66	12.03	12.21	11.20	11.29	60- 70	1515	42504	96.8,96.8
80	5.415	4.017	3.445	4.600	5.026	5.170	4.237	4.357	70- 80	847.0	43351	98.7,98.7
90	0.0629	0.0578	0.0501	0.0570	0.0592	0.1173	0.0596	0.0534	80- 90	192.0	43543	99.2,99.2
100	0.1024	0.0974	0.0816	0.0891	0.0977	0.0856	0.0747	0.0895	90-100	7.741	43551	99.2,99.2
110	0.1686	0.1589	0.1326	0.1427	0.1525	0.1359	0.1209	0.1472	100-110	12.12	43563	99.2,99.2
120	0.2923	0.2746	0.2337	0.2393	0.2549	0.2283	0.2149	0.2597	110-120	18.86	43582	99.3,99.3
130	0.5595	0.5324	0.4601	0.4530	0.4968	0.4375	0.4318	0.5150	120-130	31.26	43613	99.3,99.3
140	1.057	1.057	0.9711	0.9203	1.002	0.9218	0.9329	1.050	130-140	54.64	43667	99.5,99.5
150	1.618	1.667	1.613	1.540	1.613	1.598	1.627	1.703	140-150	81.65	43749	99.6,99.6
160	1.877	1.919	1.923	1.880	1.920	1.985	2.006	2.000	150-160	83.66	43833	99.8,99.8
170	1.828	1.796	1.852	1.826	1.861	1.898	1.943	1.859	160-170	54.46	43887	100,100
180	1.804	1.734	1.799	1.739	1.811	1.739	1.807	1.739	170-180	17.24	43904	100,100
DEG	LUMINOUS INTENSITY: ;Á100cd									UNIT:lm		

C Range: 0 - 360DEG  
 C Interval: 22.5DEG  
 Test Speed: HIGH  
 Temperature:25.3DEG  
 Operators:ENRIQUE  
 Test Date:20 June 2019

γ Range: 0 - 180DEG  
 γ Interval: 1.0DEG  
 Test System:EVERFINE GO-2000B\_V1 SYSTEM V2.0.400  
 Humidity:65.0%  
 Test Distance:7.080m [K=1.0000]  
 Remarks:

**ISOCANDELA DIAGRAM**

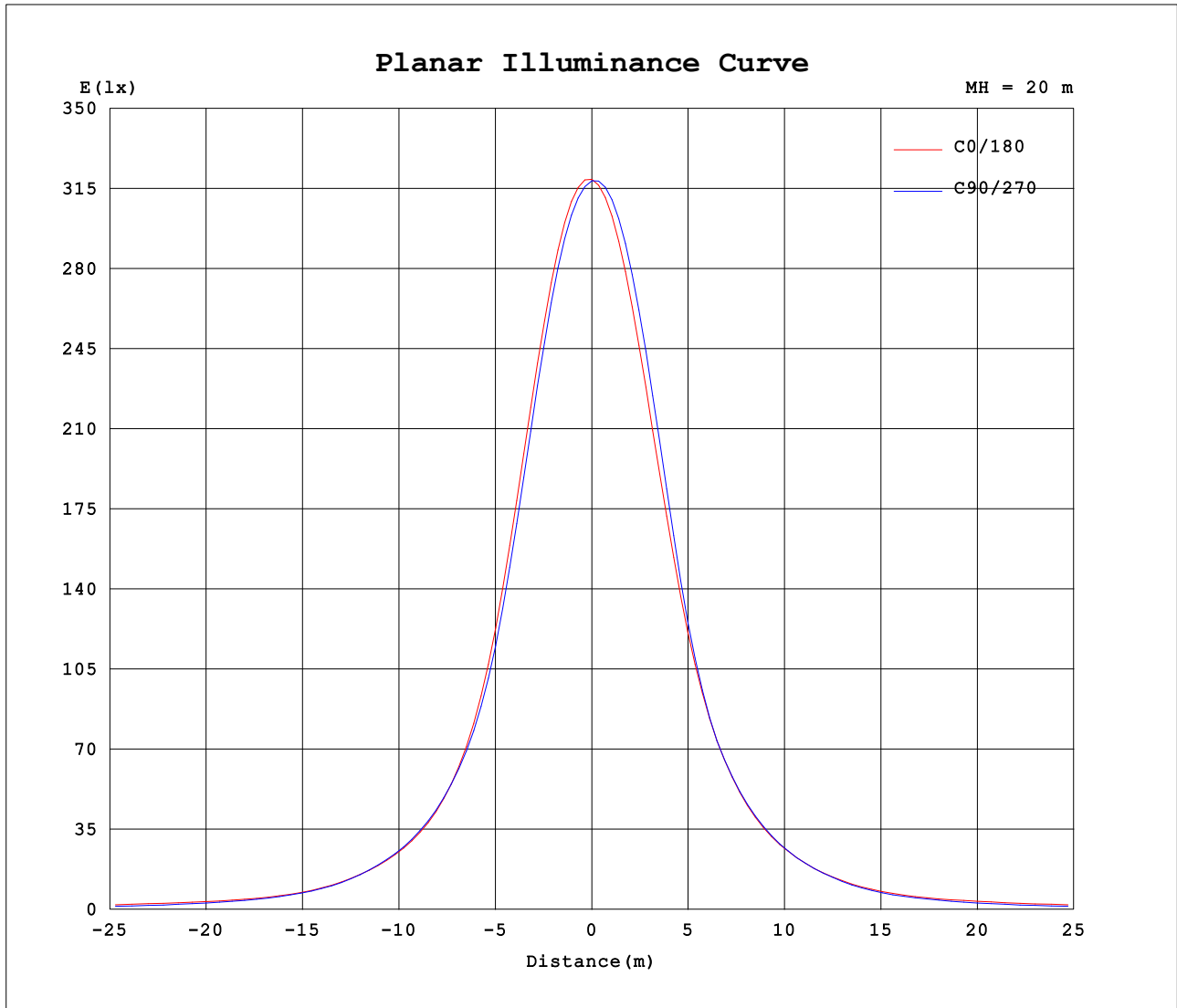
Test:U:229.74V I:1.8908A P:426.71W PF:0.9823 Freq:0Hz Lamp Flux:43904.4x1 lm		
NAME: PROYECTOR TAPIA	TYPE:TAPIA 1 MÓDULO 400	WEIGHT:9
SPEC.:LENTEs 15 APERTURA	DIM.:	SERIAL No.:PT4324255
MFR.: LUMINALIA	SUR.:	Shielding Angle:120



C Range: 0 - 360DEG  
 C Interval: 22.5DEG  
 Test Speed: HIGH  
 Temperature:25.3DEG  
 Operators:ENRIQUE  
 Test Date:20 June 2019

γ Range: 0 - 180DEG  
 γ Interval: 1.0DEG  
 Test System:EVERFINE GO-2000B\_V1 SYSTEM V2.0.400  
 Humidity:65.0%  
 Test Distance:7.080m [K=1.0000]  
 Remarks:

**Planar Illuminance Curve**



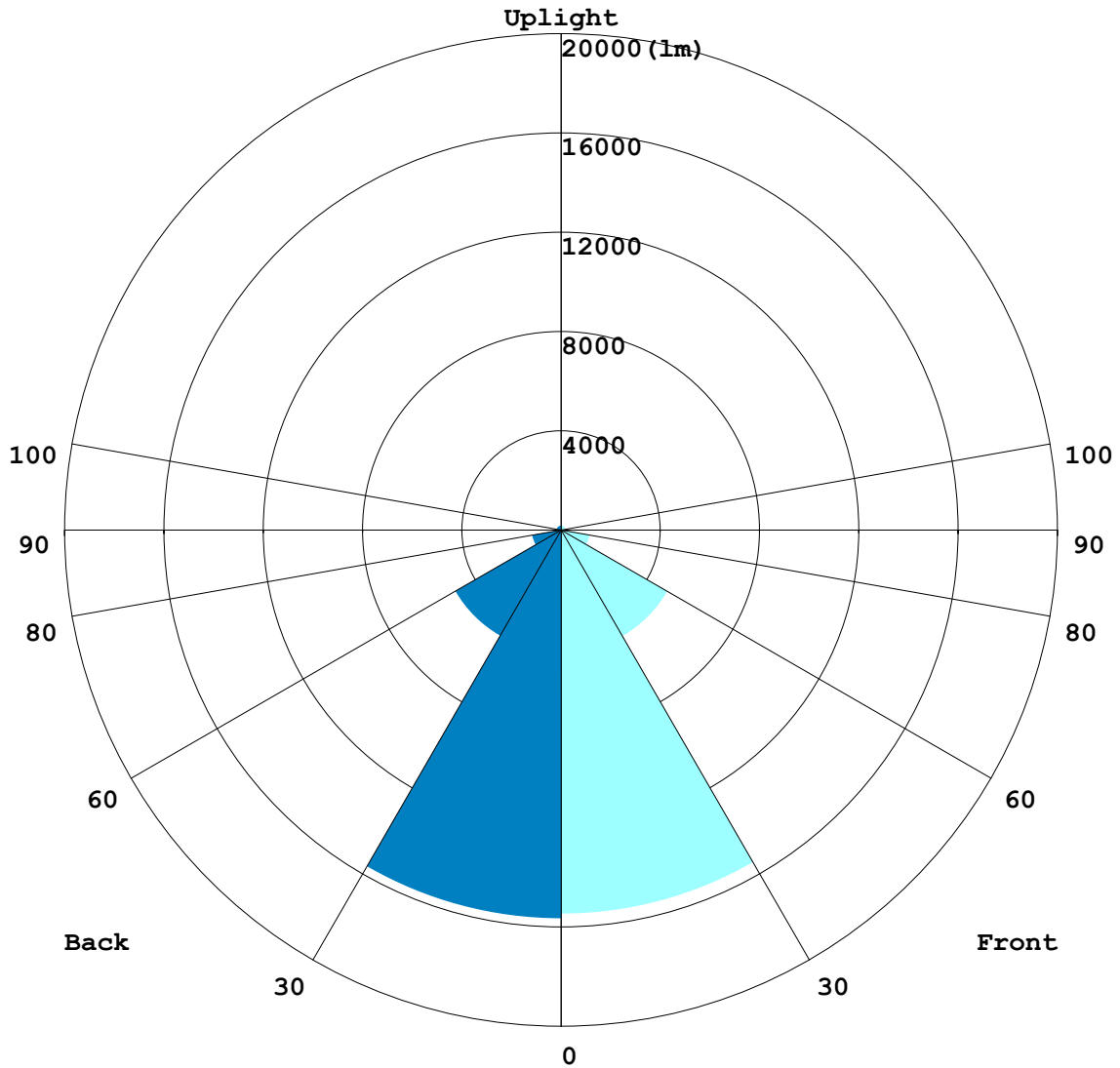
C Range: 0 - 360DEG  
 C Interval: 22.5DEG  
 Test Speed: HIGH  
 Temperature: 25.3DEG  
 Operators: ENRIQUE  
 Test Date: 20 June 2019

γ Range: 0 - 180DEG  
 γ Interval: 1.0DEG  
 Test System: EVERFINE GO-2000B\_V1 SYSTEM V2.0.400  
 Humidity: 65.0%  
 Test Distance: 7.080m [K=1.0000]  
 Remarks:

**LCS REPORT**

Test:U:229.74V I:1.8908A P:426.71W PF:0.9823 Freq:0Hz Lamp Flux:43904.4x1 lm		
NAME: PROYECTOR TAPIA	TYPE:TAPIA 1 MÓDULO 400	WEIGHT:9
SPEC.:LENTEs 15 APERTURA	DIM.:	SERIAL No.:PT4324255
MFR.: LUMINALIA	SUR.:	Shielding Angle:120

**LUMINAIRE CLASSIFICATION SYSTEM(LCS) GRAPH**



C Range: 0 - 360DEG  
 C Interval: 22.5DEG  
 Test Speed: HIGH  
 Temperature:25.3DEG  
 Operators:ENRIQUE  
 Test Date:20 June 2019

$\gamma$  Range: 0 - 180DEG  
 $\gamma$  Interval: 1.0DEG  
 Test System:EVERFINE GO-2000B\_V1 SYSTEM V2.0.400  
 Humidity:65.0%  
 Test Distance:7.080m [K=1.0000]  
 Remarks:

**BUG REPORT**

Test:U:229.74V I:1.8908A P:426.71W PF:0.9823 Freq:0Hz Lamp Flux:43904.4x1 lm		
NAME: PROYECTOR TAPIA	TYPE:TAPIA 1 MÓDULO 400	WEIGHT:9
SPEC.:LENTEs 15 APERTURA	DIM.:	SERIAL No.:PT4324255
MFR.: LUMINALIA	SUR.:	Shielding Angle:120

**IESNA Luminaire Flux Distribution Table:**

Zone	Lumens	Luminaire %
FL - Front-Low(0-30)	15465	35.2
FM - Front-Medium(30-60)	4949.2	11.3
FH - Front-High(60-80)	1176	2.7
FVH - Front-Very High(80-90)	90.885	0.2
<b>Total Forward Light</b>	<b>21862</b>	<b>49.8</b>

BL - Back-Low(0-30)	15653	35.7
BM - Back-Medium(30-60)	4920.9	11.2
BH - Back-High(60-80)	1186.3	2.7
BVH - Back-Very High(80-90)	101.1	0.2
<b>Total Back Light</b>	<b>22042</b>	<b>50.2</b>

UL - Uplight-Low(90-100)	7.7406	0.0
UH - Uplight-High(100-180)	353.88	0.8
<b>Total Up Light</b>	<b>361.62</b>	<b>0.8</b>

<b>BUG(Back,Up,Glare) Rating</b>	<b>B5-U3-G2</b>
----------------------------------	-----------------

Zone	Downward Lumens	Upward Lumens	Total Lumens
House Side	21861	180.9	22042
Street Side	21681	180.72	21862

C Range: 0 - 360DEG  
 C Interval: 22.5DEG  
 Test Speed: HIGH  
 Temperature:25.3DEG  
 Operators:ENRIQUE  
 Test Date:20 June 2019

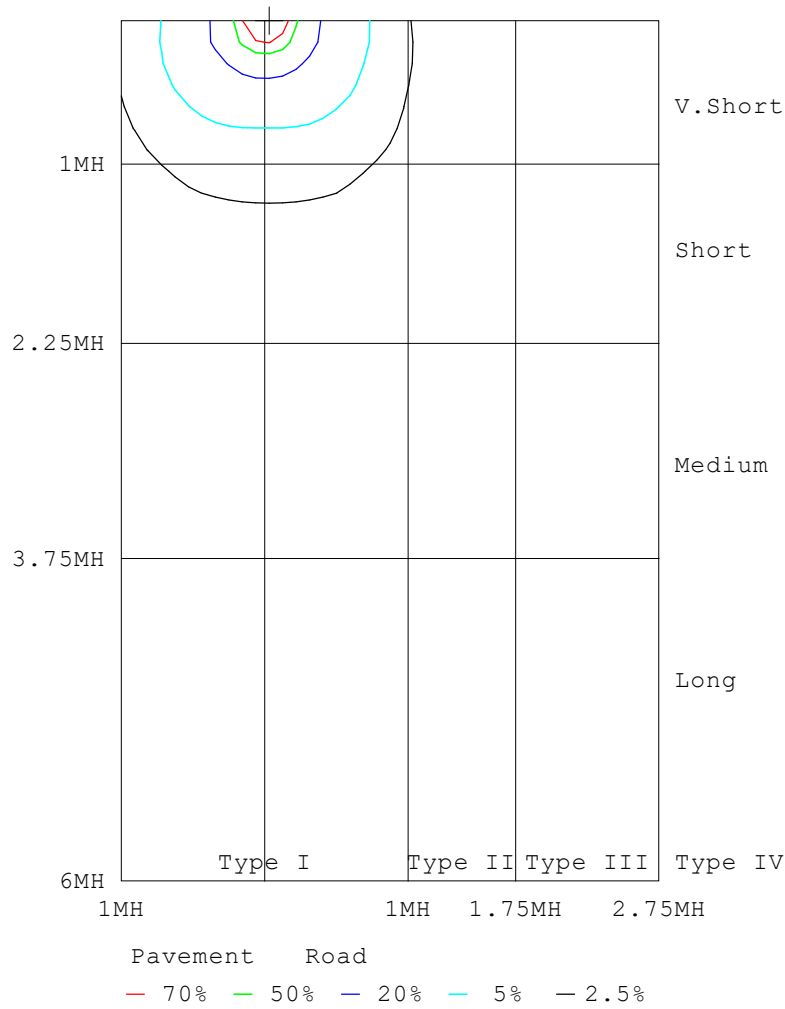
γ Range: 0 - 180DEG  
 γ Interval: 1.0DEG  
 Test System:EVERFINE GO-2000B\_V1 SYSTEM V2.0.400  
 Humidity:65.0%  
 Test Distance:7.080m [K=1.0000]  
 Remarks:



**ROAD ISOCANDELA REPORT**

Test:U:229.74V I:1.8908A P:426.71W PF:0.9823 Freq:0Hz Lamp Flux:43904.4x1 lm		
NAME: PROYECTOR TAPIA	TYPE:TAPIA 1 MÓDULO 400	WEIGHT:9
SPEC.:LENTEs 15 APERTURA	DIM.:	SERIAL No.:PT4324255
MFR.: LUMINALIA	SUR.:	Shielding Angle:120

ROAD SURFACE ISOCANDELA DIAGRAM



C Range: 0 - 360DEG  
 C Interval: 22.5DEG  
 Test Speed: HIGH  
 Temperature:25.3DEG  
 Operators:ENRIQUE  
 Test Date:20 June 2019

γ Range: 0 - 180DEG  
 γ Interval: 1.0DEG  
 Test System:EVERFINE GO-2000B\_V1 SYSTEM V2.0.400  
 Humidity:65.0%  
 Test Distance:7.080m [K=1.0000]  
 Remarks:

LUMINOUS DISTRIBUTION INTENSITY DATA

Test:U:229.74V I:1.8908A P:426.71W PF:0.9823 Freq:0Hz Lamp Flux:43904.4x1 lm		
NAME: PROYECTOR TAPIA	TYPE:TAPIA 1 MÓDULO 400	WEIGHT:9
SPEC.:LENTEs 15 APERTURA	DIM.:	SERIAL No.:PT4324255
MFR.: LUMINALIA	SUR.:	Shielding Angle:120

Table--1

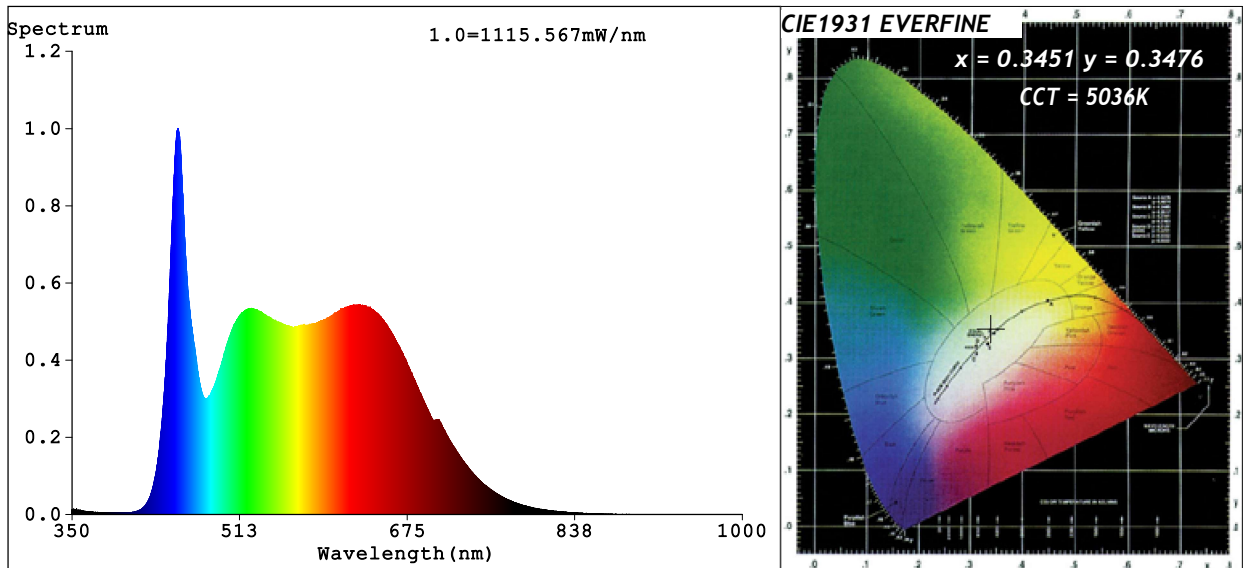
UNIT: ¡Á100cd

C (DEG) \ y (DEG)	0	22.5	45	67.5	90	112.5	135	157.5	180	202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5			
0	1269	1269	1269	1269	1269	1269	1269	1269	1269	1269	1269	1269	1269	1269	1269	1269			
5	1159	1136	1114	1116	1130	1177	1156	1136	1121	1145	1172	1181	1173	1120	1133	1145			
10	829	793	758	765	788	873	844	818	793	822	861	868	854	766	787	805			
15	473	449	429	431	447	516	505	491	473	494	515	508	486	427	444	459			
20	263	257	252	255	263	300	298	288	277	289	300	291	279	251	258	261			
25	160	159	159	160	164	186	186	179	170	178	186	179	173	157	162	162			
30	105	105	106	105	106	119	122	117	110	116	123	115	110	102	107	106			
35	69.0	70.0	71.1	67.7	67.3	77.4	82.5	78.0	72.0	77.6	82.1	74.6	68.6	65.4	70.9	70.7			
40	48.3	50.2	50.2	47.5	45.2	52.6	57.7	55.2	50.4	54.6	57.1	49.9	45.7	45.3	50.3	50.3			
45	39.8	40.6	39.0	34.8	32.9	38.5	43.1	43.2	40.9	43.1	43.2	37.1	32.9	32.9	38.4	40.4			
50	35.4	35.2	30.9	26.0	24.3	28.2	33.0	35.2	34.7	35.5	33.5	27.3	24.1	24.4	30.2	34.6			
55	26.5	27.2	24.0	20.8	20.2	21.7	24.7	27.4	25.9	27.8	25.6	21.3	20.0	20.0	23.4	27.0			
60	20.9	21.0	19.1	17.1	17.1	17.9	19.3	19.8	19.6	20.3	20.0	17.6	17.2	16.8	18.9	20.9			
65	17.1	16.7	15.1	13.9	14.0	14.7	15.5	15.6	16.0	16.2	16.0	14.5	14.4	13.7	15.2	16.6			
70	13.1	12.4	11.1	10.5	10.6	11.4	11.7	11.9	12.0	12.4	12.2	11.4	11.2	10.5	11.3	12.4			
75	9.16	8.44	7.36	7.11	7.12	7.98	7.87	8.24	8.54	8.67	8.42	8.16	7.88	7.19	7.61	8.50			
80	5.42	4.85	4.02	3.55	3.44	4.39	4.60	4.86	5.03	5.18	5.17	4.69	4.24	3.75	4.36	4.96			
85	2.09	1.68	0.93	0.63	0.77	1.39	1.52	1.80	1.83	2.03	1.99	1.57	1.31	0.79	1.30	1.78			
90	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.12	0.09	0.06	0.05	0.05	0.06			
95	0.08	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07			
100	0.10	0.10	0.10	0.09	0.08	0.08	0.09	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.07	0.08	0.09	0.09			
105	0.13	0.13	0.12	0.11	0.10	0.10	0.11	0.12	0.12	0.12	0.11	0.10	0.09	0.11	0.11	0.12			
110	0.17	0.17	0.16	0.14	0.13	0.13	0.14	0.16	0.15	0.15	0.14	0.12	0.12	0.14	0.15	0.15			
115	0.22	0.22	0.21	0.19	0.17	0.17	0.18	0.20	0.19	0.19	0.17	0.16	0.16	0.18	0.19	0.20			
120	0.29	0.29	0.27	0.25	0.23	0.22	0.24	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.25	0.26	0.27			
125	0.40	0.39	0.38	0.35	0.32	0.30	0.32	0.35	0.35	0.33	0.31	0.30	0.30	0.35	0.36	0.37			
130	0.56	0.56	0.53	0.49	0.46	0.42	0.45	0.50	0.50	0.47	0.44	0.42	0.43	0.50	0.51	0.52			
135	0.78	0.78	0.76	0.72	0.67	0.61	0.65	0.70	0.72	0.68	0.64	0.62	0.64	0.73	0.75	0.75			
140	1.06	1.07	1.06	1.02	0.97	0.89	0.92	0.98	1.00	0.97	0.92	0.91	0.93	1.04	1.05	1.04			
145	1.35	1.37	1.38	1.35	1.31	1.22	1.23	1.28	1.32	1.29	1.26	1.26	1.29	1.40	1.39	1.36			
150	1.62	1.64	1.67	1.65	1.61	1.53	1.54	1.55	1.61	1.61	1.60	1.60	1.63	1.72	1.70	1.66			
155	1.80	1.82	1.85	1.85	1.82	1.77	1.76	1.75	1.82	1.84	1.86	1.86	1.88	1.93	1.92	1.87			
160	1.88	1.89	1.92	1.93	1.92	1.90	1.88	1.84	1.92	1.94	1.98	1.99	2.01	2.01	2.00	1.95			
165	1.87	1.87	1.88	1.90	1.92	1.93	1.89	1.83	1.92	1.93	1.99	2.01	2.02	1.98	1.96	1.93			
170	1.83	1.81	1.80	1.81	1.85	1.88	1.83	1.77	1.86	1.84	1.90	1.95	1.94	1.88	1.86	1.85			
175	1.79	1.76	1.73	1.74	1.79	1.82	1.76	1.72	1.81	1.76	1.79	1.84	1.86	1.78	1.76	1.78			
180	1.80	1.76	1.73	1.77	1.80	1.78	1.74	1.74	1.81	1.75	1.74	1.76	1.81	1.78	1.74	1.74			

C Range: 0 - 360DEG  
 C Interval: 22.5DEG  
 Test Speed: HIGH  
 Temperature:25.3DEG  
 Operators:ENRIQUE  
 Test Date:20 June 2019

y Range: 0 - 180DEG  
 y Interval: 1.0DEG  
 Test System:EVERFINE GO-2000B\_V1 SYSTEM V2.0.400  
 Humidity:65.0%  
 Test Distance:7.080m [K=1.0000]  
 Remarks:

**Spectrum Test Report**



**Color Parameters:**

Chromaticity Coordinate: $x=0.3451$   $y=0.3476$ / $u'=0.2129$   $v'=0.4827$   
 CCT=5036K(Duv=-0.0020) Dominant WL:Ld =575.6nm Purity=7.8%  
 Ratio:R=18.5% G=76.0% B=5.5%; Peak WL:Lp=452.9nm FWHM=22.1nm  
 Render Index:Ra=97.1 CRI=94.8 AvgR=94.7  
 R1 =96 R2 =99 R3 =96 R4 =98 R5 =97 R6 =96 R7 =99  
 R8 =96 R9 =90 R10=99 R11=94 R12=73 R13=97 R14=98 R15=94

**Photo Parameters:**

Flux = 40656 lm Eff. : 94.95 lm/W Fe = 156.1 W

**Electrical parameters:**

V = 230.10 V I = 1.896 A P = 428.2 W PF = 0.9818  
 LEVEL:OUT WHITE:ANSI\_5000K

Status: Integral T = 56 ms Ip = 50815 (78%)

Model:LINEAL 155W ESPECTRO AA  
 Tester:MARIO  
 Temperature:25.3Deg  
 Manufacturer:LUMINALIA

Number:15  
 Date:2019-06-20 16:43:54  
 Humidity:65.0%  
 Remarks:---

## **Estudio luminotécnico Carlos Tartiere**

Contacto:  
N° de encargo:  
Empresa:  
N° de cliente:

Fecha: 12.06.2019  
Proyecto elaborado por: Enrique Rivas Díaz

## Índice

**Estudio luminotécnico Carlos Tartiere**

Portada del proyecto	1
Índice	2
<b>Carlos Tartiere</b>	
Datos de planificación	4
Lista de luminarias	5
Cámaras de televisión (lista de coordenadas)	6
Trama de cálculo (lista de coordenadas)	8
Observador GR (sumario de resultados)	10
Rendering (procesado) en 3D	12
Rendering (procesado) de colores falsos	13
<b>Carlos Tartiere</b>	
<b>Superficies exteriores</b>	
<b>Trama de cálculo Terreno de Juego Completo</b>	
Resumen	14
Isolíneas (E, horizontal)	15
Gama de grises (E, horizontal)	16
Gráfico de valores (E, horizontal)	17
Protocolo de medición (E, horizontal)	18
Isolíneas (E, cámara)	19
Gama de grises (E, cámara)	23
Gráfico de valores (E, cámara)	27
Protocolo de medición (E, cámara)	31
<b>Carlos Tartiere</b>	
<b>Superficies exteriores</b>	
<b>Trama de cálculo Fondo Norte</b>	
Resumen	35
Isolíneas (E, cámara)	36
Gama de grises (E, cámara)	38
Gráfico de valores (E, cámara)	40
Protocolo de medición (E, cámara)	42
<b>Carlos Tartiere</b>	
<b>Superficies exteriores</b>	
<b>Trama de cálculo Fondo Sur</b>	
Resumen	44
Isolíneas (E, cámara)	45
Gama de grises (E, cámara)	47
Gráfico de valores (E, cámara)	49
Protocolo de medición (E, cámara)	51
<b>Carlos Tartiere</b>	
<b>Superficies exteriores</b>	
<b>Trama de cálculo Cámara Lateral 1</b>	
Resumen	53
Isolíneas (E, cámara)	54
Gama de grises (E, cámara)	55
Gráfico de valores (E, cámara)	56
Protocolo de medición (E, cámara)	57
<b>Carlos Tartiere</b>	
<b>Superficies exteriores</b>	
<b>Trama de cálculo Cámara Lateral 2</b>	
Resumen	58
Isolíneas (E, cámara)	59
Gama de grises (E, cámara)	60
Gráfico de valores (E, cámara)	61



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
Teléfono 699812451  
Fax  
e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

## Índice

Protocolo de medición (E, cámara)

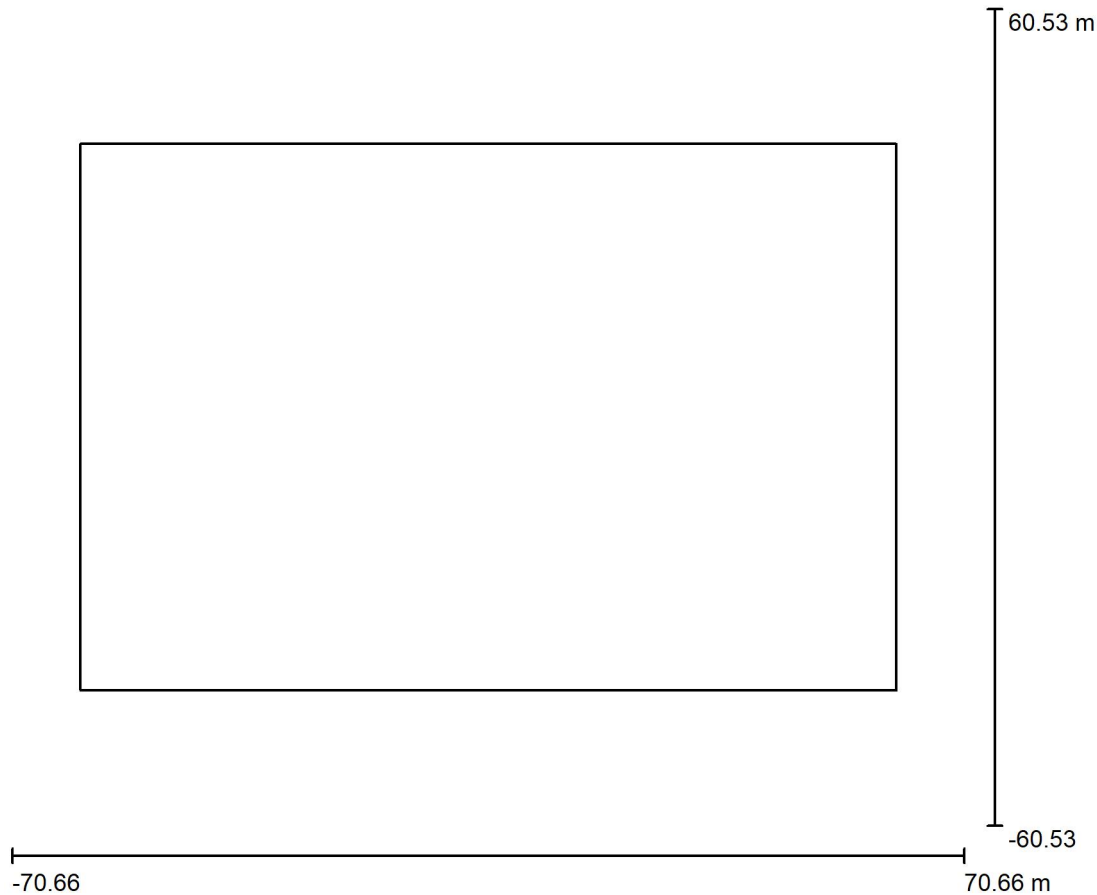
62



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Datos de planificación**



Factor mantenimiento: 0.90, ULR (Upward Light Ratio): 5.5%

Escala 1:1123

**Lista de piezas - Luminarias**

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ (Luminaria) [lm]	Φ (Lámparas) [lm]	P [W]
1	210	LUMINALIA PROYECTOR TAPIA 1 MÓDULOS 425W 5000K PROYECTOR TAPIA 1 MÓDULOS 425W 5000K (1.000)	44218	44834	428.3
2	92	LUMINALIA PROYECTOR TAPIA 2 MÓDULOS 850W 5000K L30 PROYECTOR TAPIA 2 MÓDULOS 850W 5000K L30 (1.000)	89164	89193	856.6
3	152	LUMINALIA PROYECTOR TAPIA 2 MÓDULOS 850W 5000K PROYECTOR TAPIA 2 MÓDULOS 850W 5000K (1.000)	88436	89667	856.6
Total:			30931084	Total: 31250166	298956.2



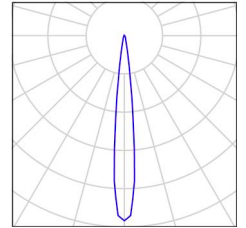
Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Lista de luminarias**

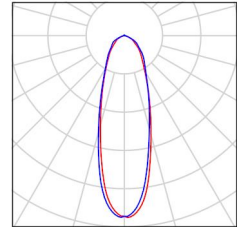
210 Pieza LUMINALIA PROYECTOR TAPIA 1 MÓDULOS 425W 5000K PROYECTOR TAPIA 1 MÓDULOS 425W 5000K  
 N° de artículo: PROYECTOR TAPIA 1 MÓDULOS 425W 5000K  
 Flujo luminoso (Luminaria): 44218 lm  
 Flujo luminoso (Lámparas): 44834 lm  
 Potencia de las luminarias: 428.3 W  
 Clasificación luminarias según CIE: 100  
 Código CIE Flux: 91 96 99 100 99  
 Lámpara: 1 x PROYECTOR TAPIA 1 MÓDULOS 425W 5000K (Factor de corrección 1.000).

Dispone de una imagen de la luminaria en nuestro catálogo de luminarias.



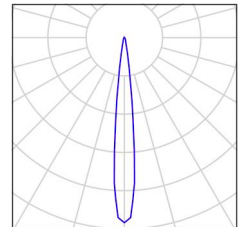
92 Pieza LUMINALIA PROYECTOR TAPIA 2 MÓDULOS 850W 5000K L30 PROYECTOR TAPIA 2 MÓDULOS 850W 5000K L30  
 N° de artículo: PROYECTOR TAPIA 2 MÓDULOS 850W 5000K L30  
 Flujo luminoso (Luminaria): 89164 lm  
 Flujo luminoso (Lámparas): 89193 lm  
 Potencia de las luminarias: 856.6 W  
 Clasificación luminarias según CIE: 99  
 Código CIE Flux: 71 92 99 99 100  
 Lámpara: 1 x PROYECTOR TAPIA 2 MÓDULOS 850W 5000K L30 (Factor de corrección 1.000).

Dispone de una imagen de la luminaria en nuestro catálogo de luminarias.



152 Pieza LUMINALIA PROYECTOR TAPIA 2 MÓDULOS 850W 5000K PROYECTOR TAPIA 2 MÓDULOS 850W 5000K  
 N° de artículo: PROYECTOR TAPIA 2 MÓDULOS 850W 5000K  
 Flujo luminoso (Luminaria): 88436 lm  
 Flujo luminoso (Lámparas): 89667 lm  
 Potencia de las luminarias: 856.6 W  
 Clasificación luminarias según CIE: 100  
 Código CIE Flux: 91 96 99 100 99  
 Lámpara: 1 x PROYECTOR TAPIA 2 MÓDULOS 850W 5000K (Factor de corrección 1.000).

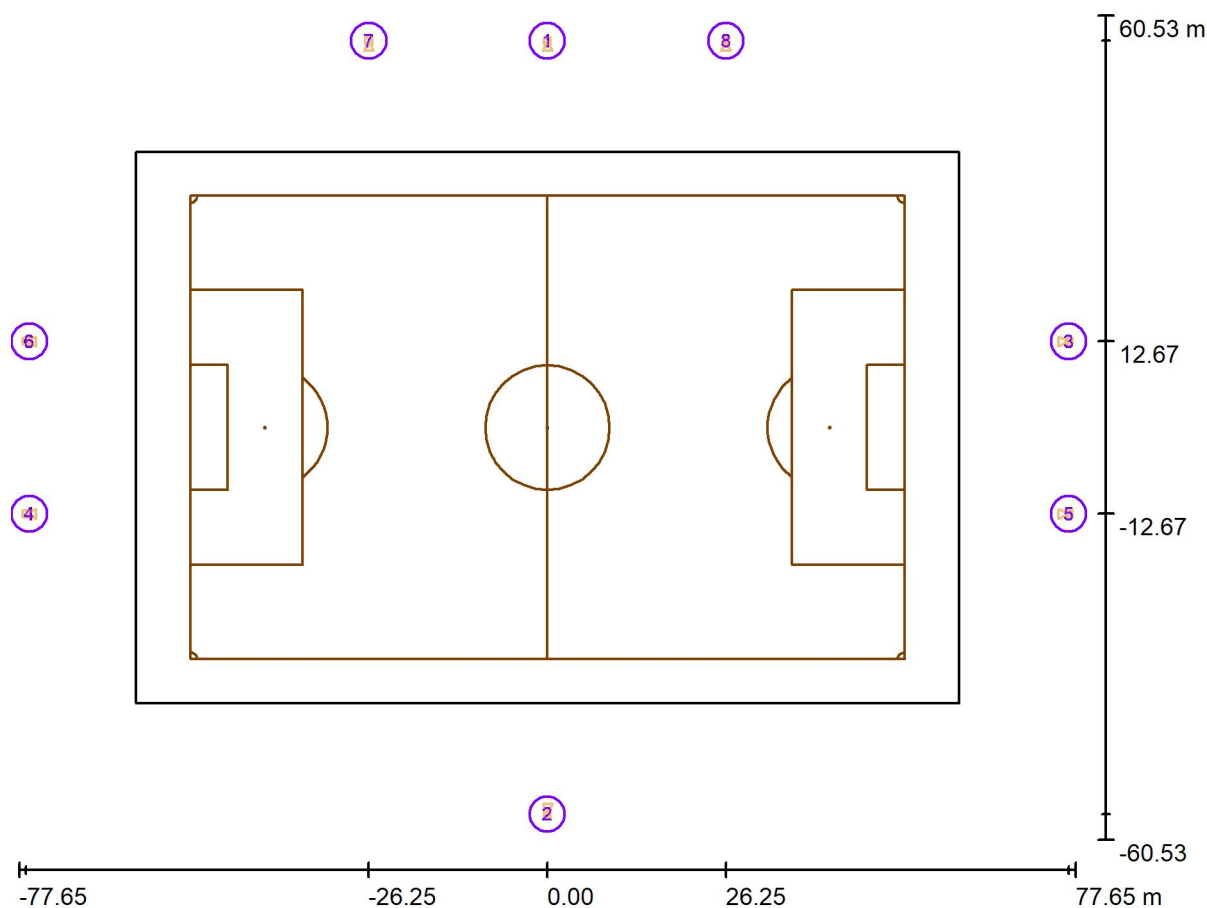
Dispone de una imagen de la luminaria en nuestro catálogo de luminarias.







### Carlos Tartiere / Cámaras de televisión (lista de coordenadas)



Escala 1 : 1111

#### Lista de cámaras de televisión

N°	Designación	Posición [m]		
		X	Y	Z
1	Cámara de televisión 1 Principal	0.000	56.800	14.000
2	Cámara de televisión 2 Opuesta	0.000	-56.800	11.500
3	Cámara de televisión 3 Fondo Norte 1	76.650	12.666	11.500
4	Cámara de televisión 4 Fondo Sur 1	-76.650	-12.666	11.500



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
Teléfono 699812451  
Fax  
e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

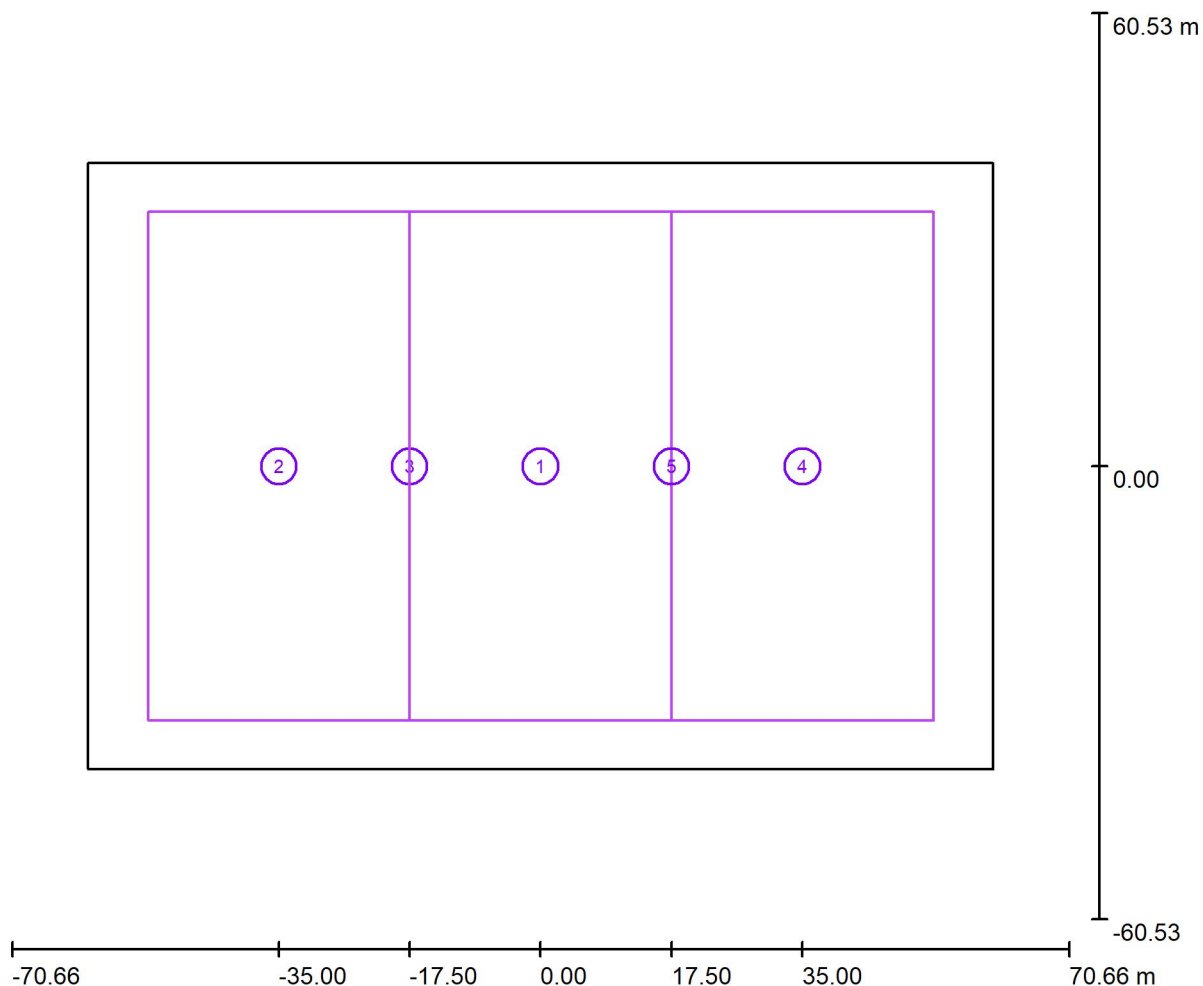
## Carlos Tartiere / Cámaras de televisión (lista de coordenadas)

### Lista de cámaras de televisión

N°	Designación	Posición [m]		
		X	Y	Z
5	Cámara de televisión 5 Fondo Norte 2	76.650	-12.666	11.500
6	Cámara de televisión 6 Fondo Sur 2	-76.650	12.666	11.500
7	Cámara de televisión 7 Lateral 1	-26.250	56.800	11.500
8	Cámara de televisión 8 Lateral 2	26.250	56.800	11.500



### Carlos Tartiere / Trama de cálculo (lista de coordenadas)



Escala 1 : 1011

#### Lista de tramas de cálculo

N°	Designación	Posición [m]			Tamaño [m]		Rotación [°]		
		X	Y	Z	L	A	X	Y	Z
1	Trama de cálculo Terreno de Juego Completo	0.000	0.000	0.000	105.000	68.000	0.0	0.0	0.0
2	Trama de cálculo Fondo Sur	-35.000	0.000	0.000	35.000	68.000	0.0	0.0	0.0
3	Trama de cálculo Lateral 1	-17.500	0.000	0.000	70.000	68.000	0.0	0.0	0.0
4	Trama de cálculo Fondo Norte	35.000	0.000	0.000	35.000	68.000	0.0	0.0	0.0



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
Teléfono 699812451  
Fax  
e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

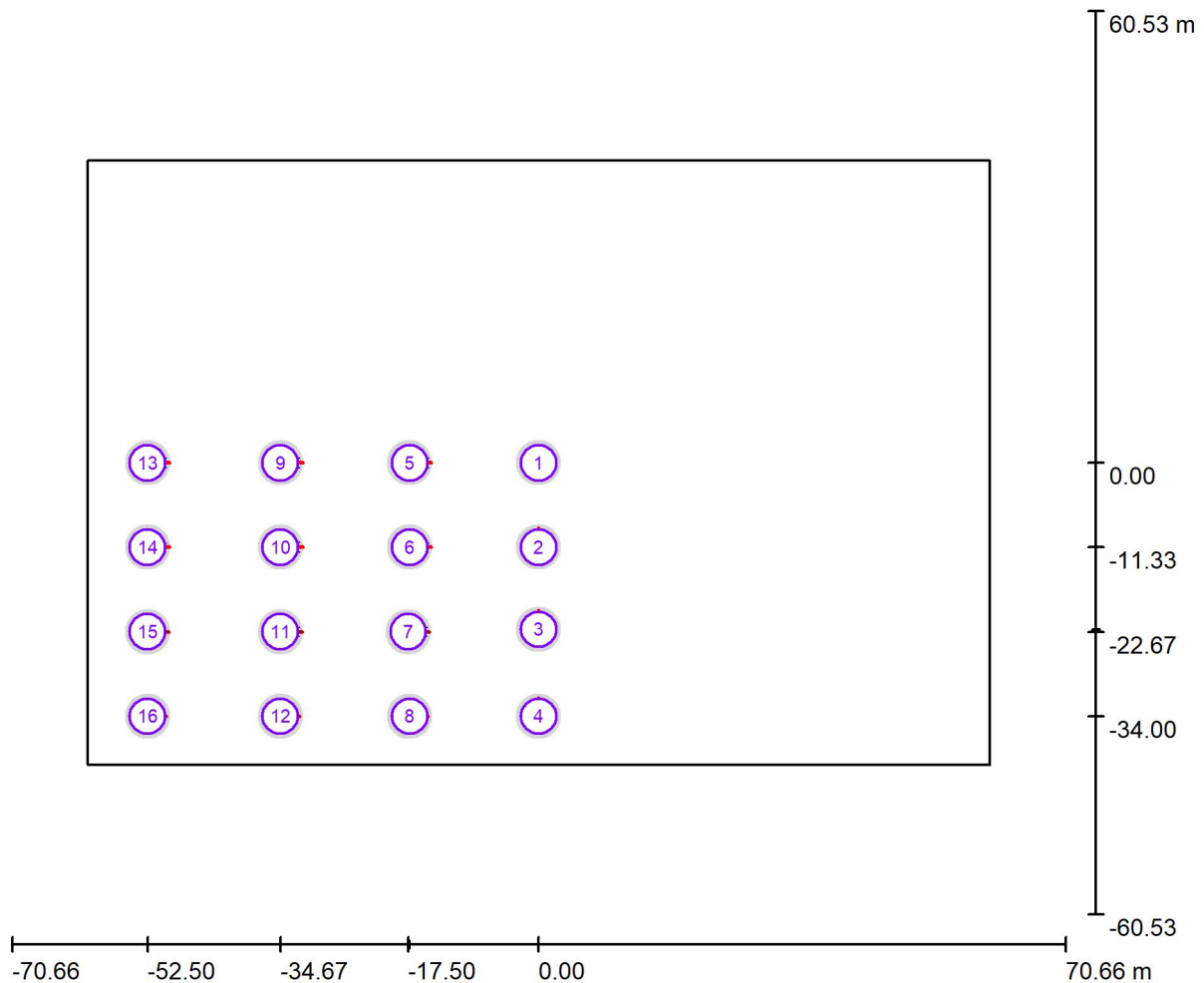
## Carlos Tartiere / Trama de cálculo (lista de coordenadas)

### Lista de tramas de cálculo

N°	Designación	Posición [m]			Tamaño [m]		Rotación [°]		
		X	Y	Z	L	A	X	Y	Z
5	Trama de cálculo Lateral 2	17.500	0.000	0.000	70.000	68.000	0.0	0.0	0.0



### Carlos Tartiere / Observador GR (sumario de resultados)



Escala 1 : 1011

#### Lista de puntos de cálculo GR

N°	Designación	Posición [m]			Área del ángulo visual [°]				Max
		X	Y	Z	Inicio	Fin	Amplitud de paso	Inclination	
1	Observador GR 1	0.000	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	35 <sup>2)</sup>
2	Observador GR 2	0.000	-11.333	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	39 <sup>2)</sup>
3	Observador GR 3	0.000	-22.333	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	39 <sup>2)</sup>
4	Observador GR 4	0.000	-34.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	37 <sup>2)</sup>

Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

## Carlos Tartiere / Observador GR (sumario de resultados)

### Lista de puntos de cálculo GR

N°	Designación	Posición [m]			Área del ángulo visual [°]				Max
		X	Y	Z	Inicio	Fin	Amplitud de paso	Inclination	
5	Observador GR 5	-17.333	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	43 <sup>2)</sup>
6	Observador GR 6	-17.333	-11.333	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	43 <sup>2)</sup>
7	Observador GR 7	-17.500	-22.666	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	42 <sup>2)</sup>
8	Observador GR 8	-17.333	-34.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	36 <sup>2)</sup>
9	Observador GR 9	-34.666	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	44 <sup>2)</sup>
10	Observador GR 10	-34.666	-11.333	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	44 <sup>2)</sup>
11	Observador GR 11	-34.666	-22.666	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	44 <sup>2)</sup>
12	Observador GR 12	-34.666	-34.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	38 <sup>2)</sup>
13	Observador GR 13	-52.500	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	44 <sup>2)</sup>
14	Observador GR 14	-52.500	-11.333	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	44 <sup>2)</sup>
15	Observador GR 15	-52.500	-22.666	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	43 <sup>2)</sup>
16	Observador GR 16	-52.500	-34.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	37 <sup>2)</sup>

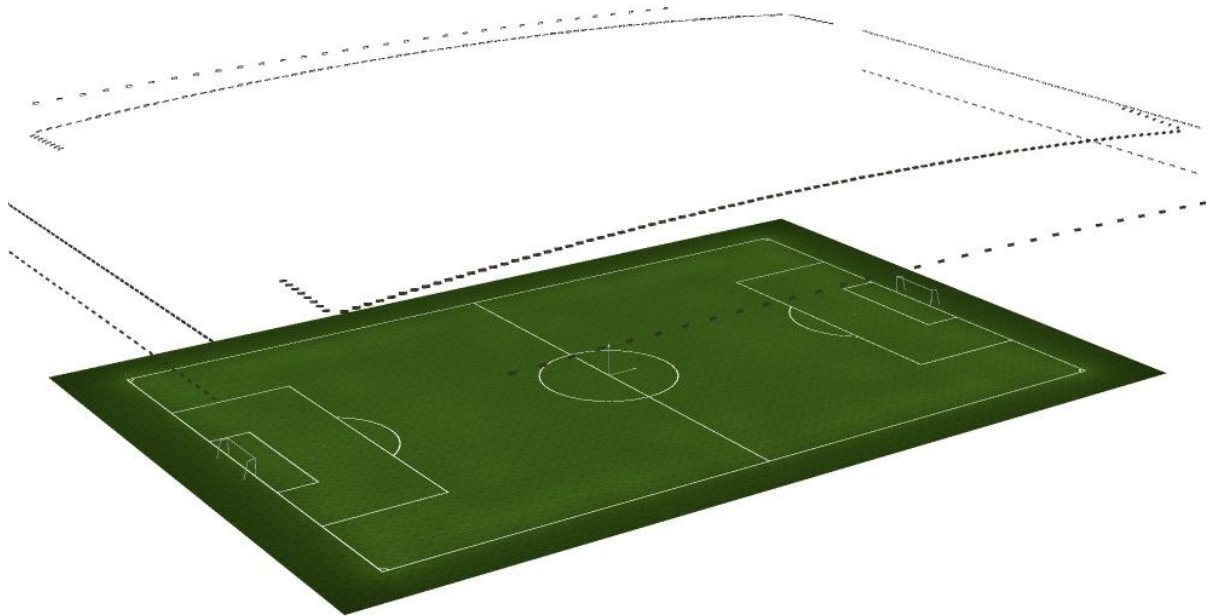
2) La luminancia difusa equivalente del entorno que ha sido calculada presupone que el entorno presenta una reflexión completamente difusa (conforme a la norma EN 12464-2).



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
Teléfono 699812451  
Fax  
e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

## Carlos Tartiere / Rendering (procesado) en 3D

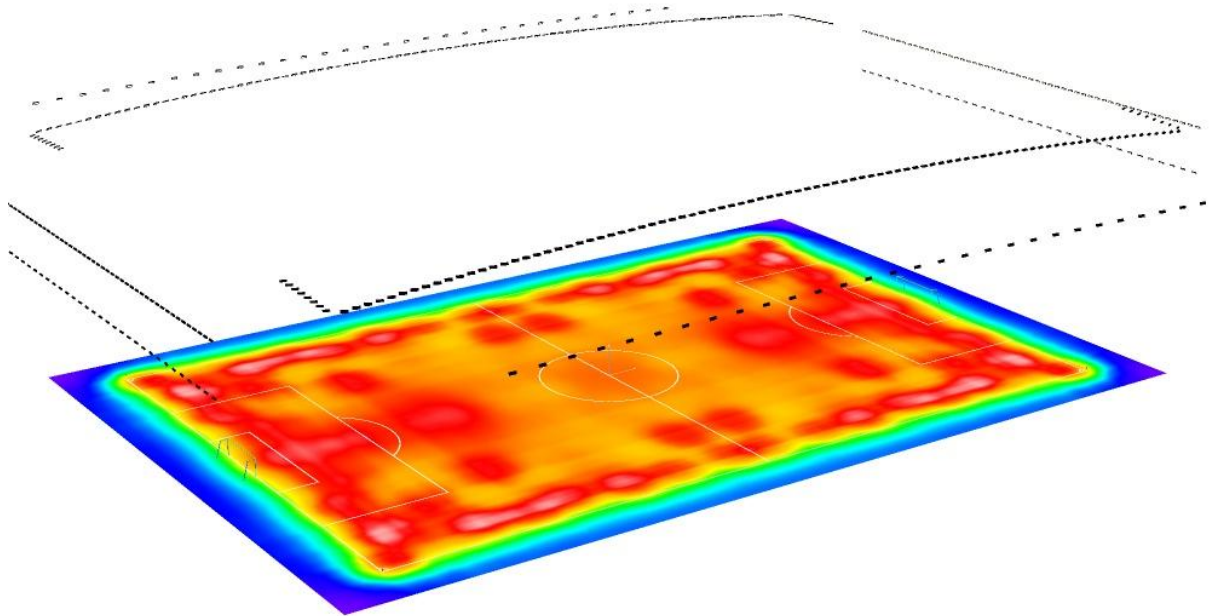




Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
Teléfono 699812451  
Fax  
e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

### Carlos Tartiere / Rendering (procesado) de colores falsos

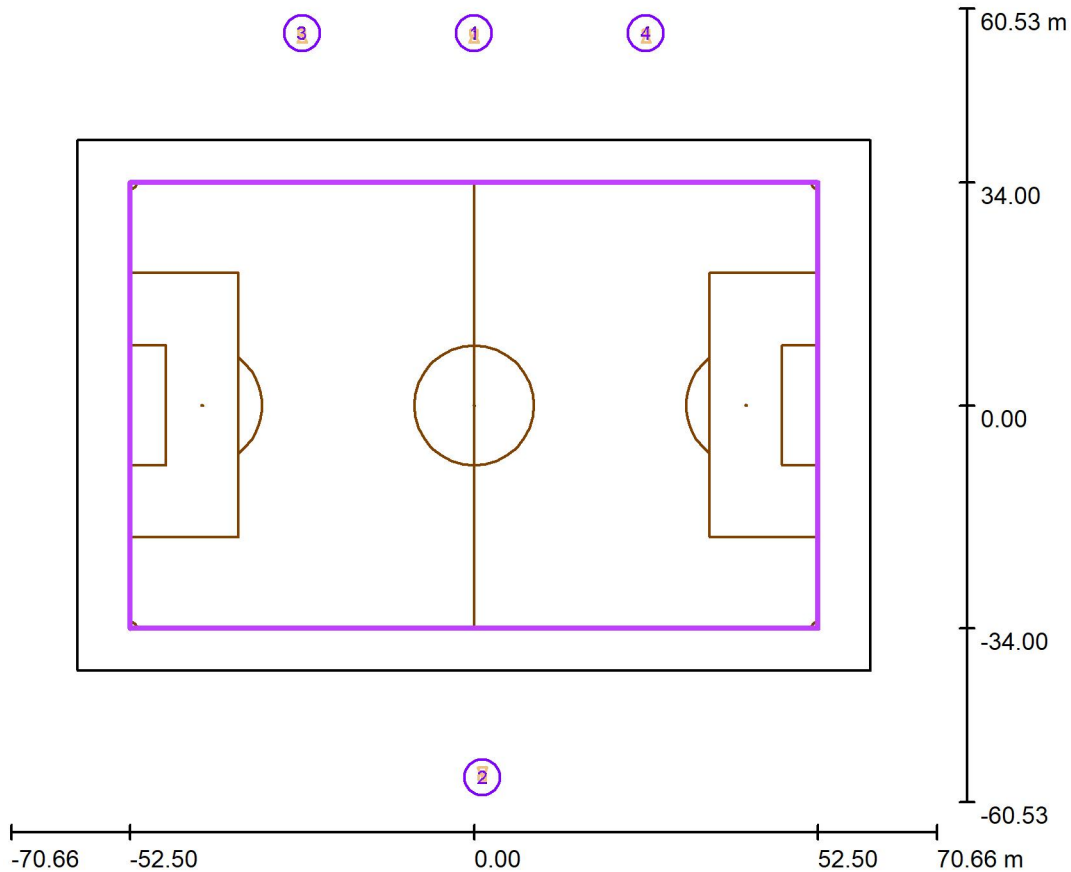


0      375      750      1125      1500      1875      2250      2625      3000      lx





**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Terreno de Juego Completo / Resumen**



Escala 1 : 1155

Posición: (0.000 m, 0.000 m, 0.000 m)  
 Tamaño: (105.000 m, 68.000 m)  
 Rotación: (0.0°, 0.0°, 0.0°)  
 Tipo: Normal, Trama: 21 x 13 Puntos  
 Pertenece al siguiente centro deportivo: Campo de fútbol 1

**Sumario de los resultados**

N°	Tipo	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$	$E_{h\ m} / E_m$	H [m]	Cámara
1	horizontal	2422	2155	2751	0.89	0.78	/	0.000	/
2	Cámara	1720	1215	2439	0.71	0.50	1.41	1.500	1
3	Cámara	1674	1155	2385	0.69	0.48	1.45	1.500	2
4	Cámara	1681	1124	2437	0.67	0.46	1.44	1.500	3
5	Cámara	1655	1115	2414	0.67	0.46	1.46	1.500	4

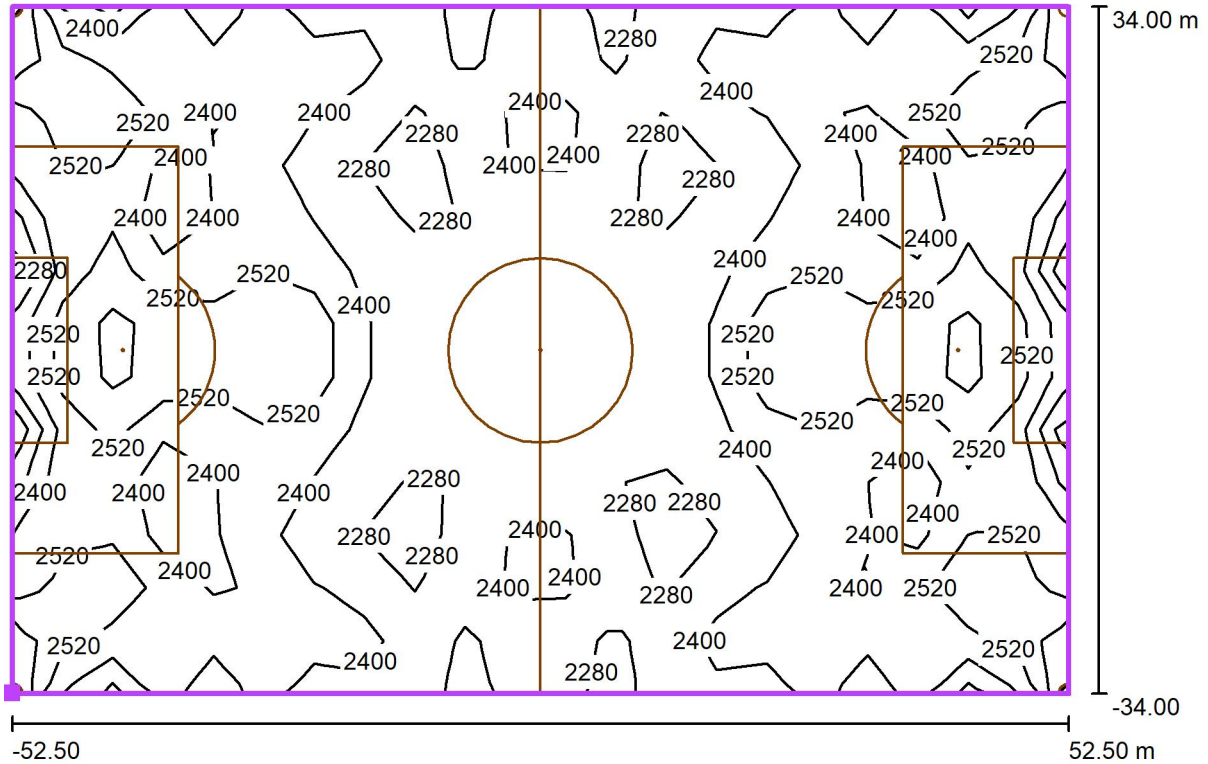
$E_{h\ m} / E_m$  = Relación entre la intensidad lumínica central horizontal y vertical, H = Medición altura



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Terreno de Juego Completo / Isolíneas (E, horizontal)**



Valores en Lux, Escala 1 : 751

Situación de la superficie en la escena exterior:  
 Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)



Trama: 21 x 13 Puntos

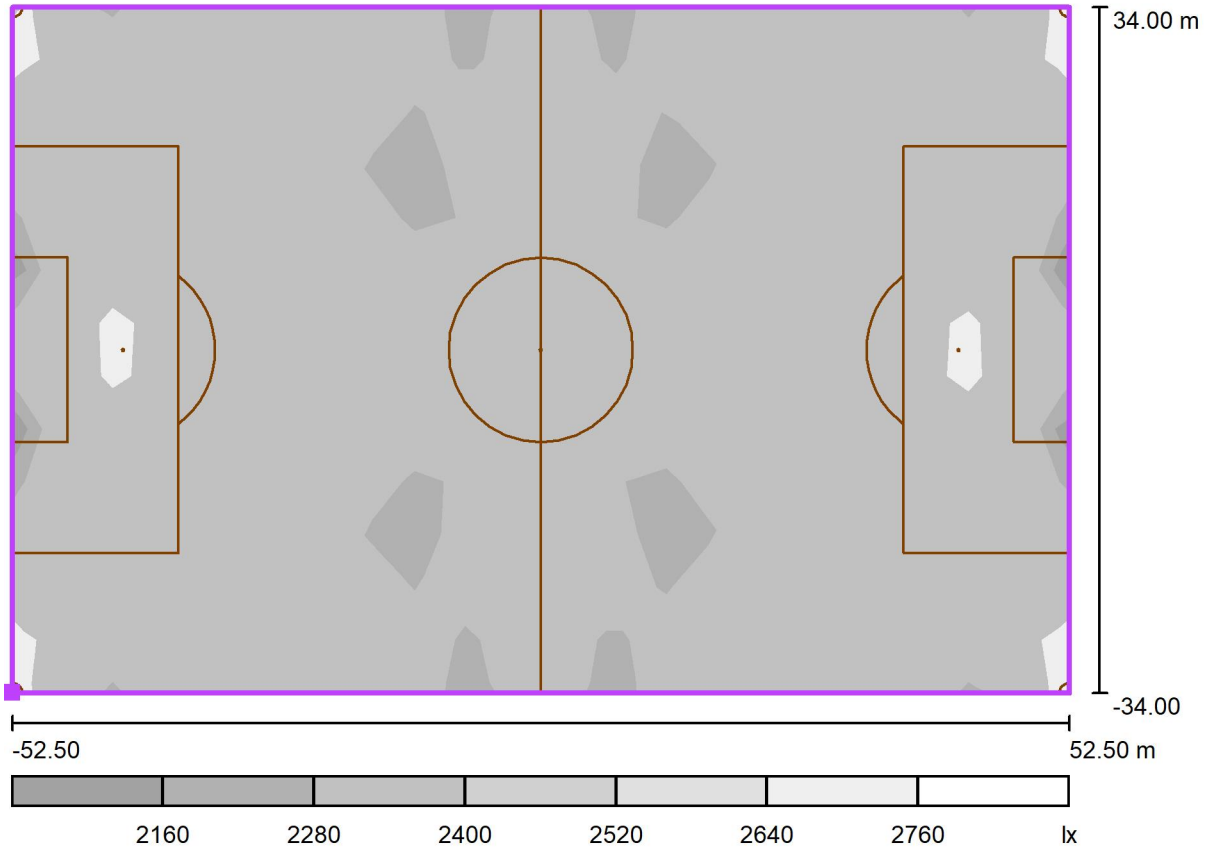
$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
2422	2155	2751	0.89	0.78



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Terreno de Juego Completo / Gama de grises (E, horizontal)**



Escala 1 : 751

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)



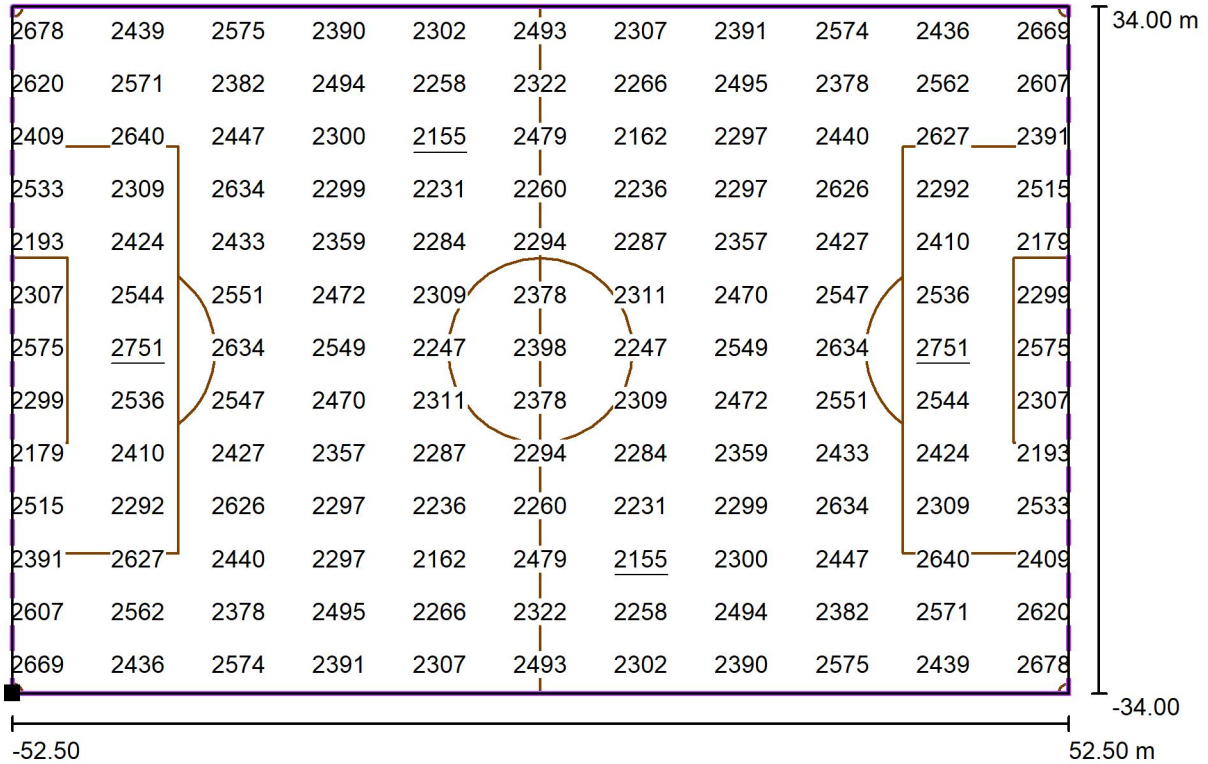
Trama: 21 x 13 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
2422	2155	2751	0.89	0.78

Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Terreno de Juego Completo / Gráfico de valores (E, horizontal)**



Valores en Lux, Escala 1 : 751

No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en la escena exterior:  
 Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)



Trama: 21 x 13 Puntos

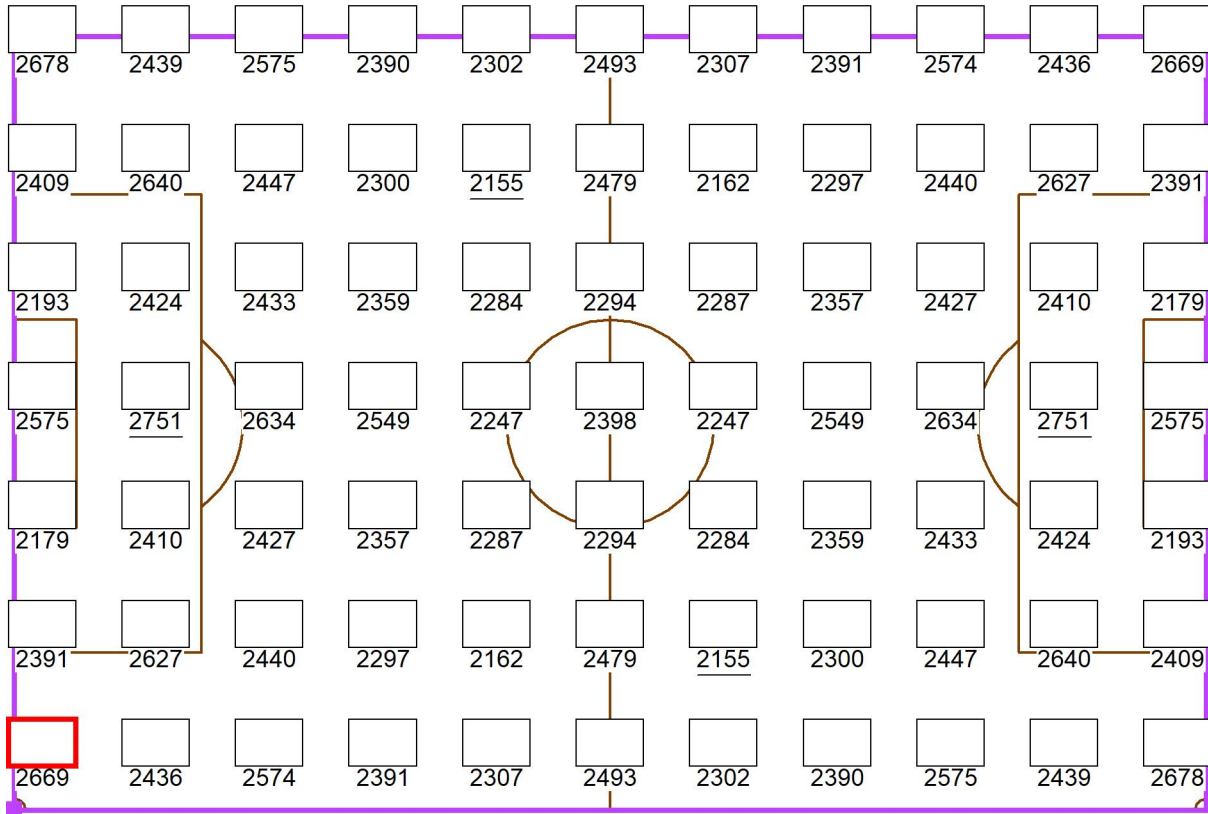
$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
2422	2155	2751	0.89	0.78



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Terreno de Juego Completo / Protocolo de medición (E, horizontal)**



Valores en Lux, Escala 1 : 666

Cantidad de puntos de medición: 11 x 7

Primer punto de medición (resaltado en el gráfico): (2.500 m, 2.615 m)

Distancia del punto de medición en X: 10.000 m, Distancia del punto de medición en Y: 10.462 m

Se mide desde el primer punto hacia X e Y. Los puntos de medición no necesitan ser alienados simétricamente.

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)

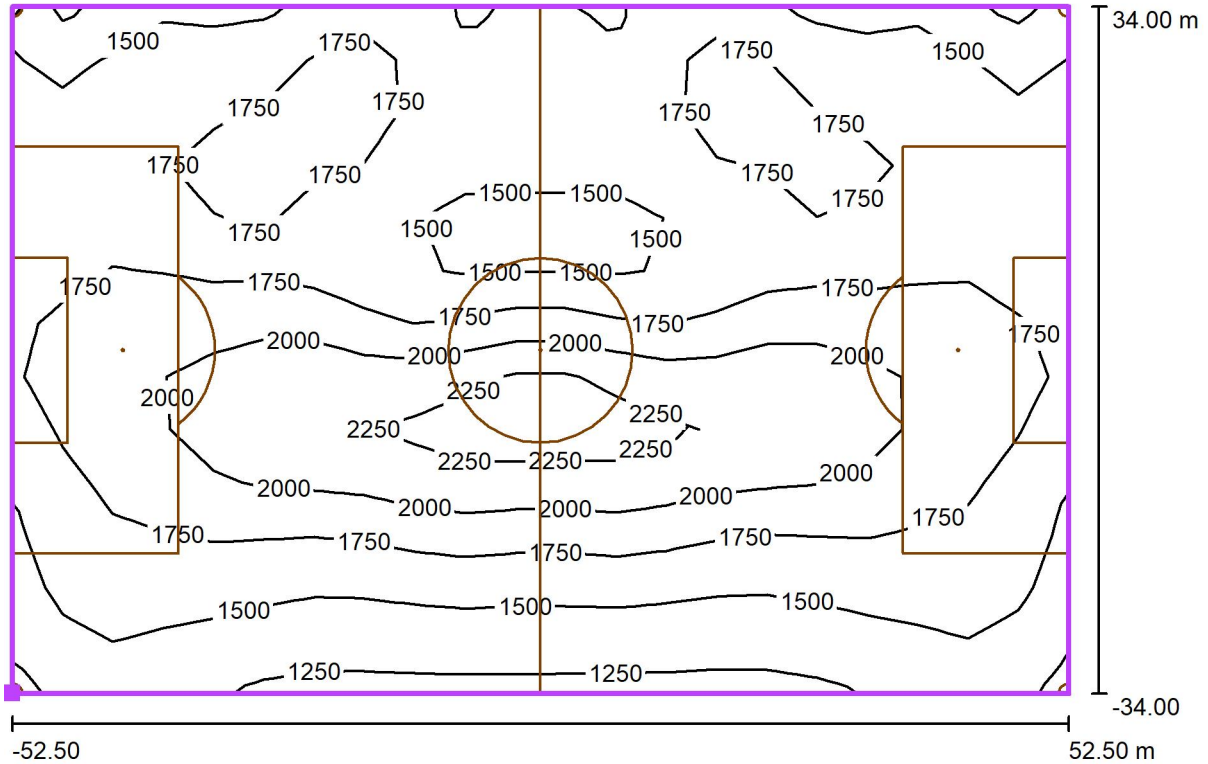




Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Terreno de Juego Completo / Isolíneas (E, cámara)**



Valores en Lux, Escala 1 : 751

Situación de la superficie en la escena exterior:  
 Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)  
 Posición de la cámara: (0.000 m, 56.800 m, 14.000 m)



Trama: 21 x 13 Puntos

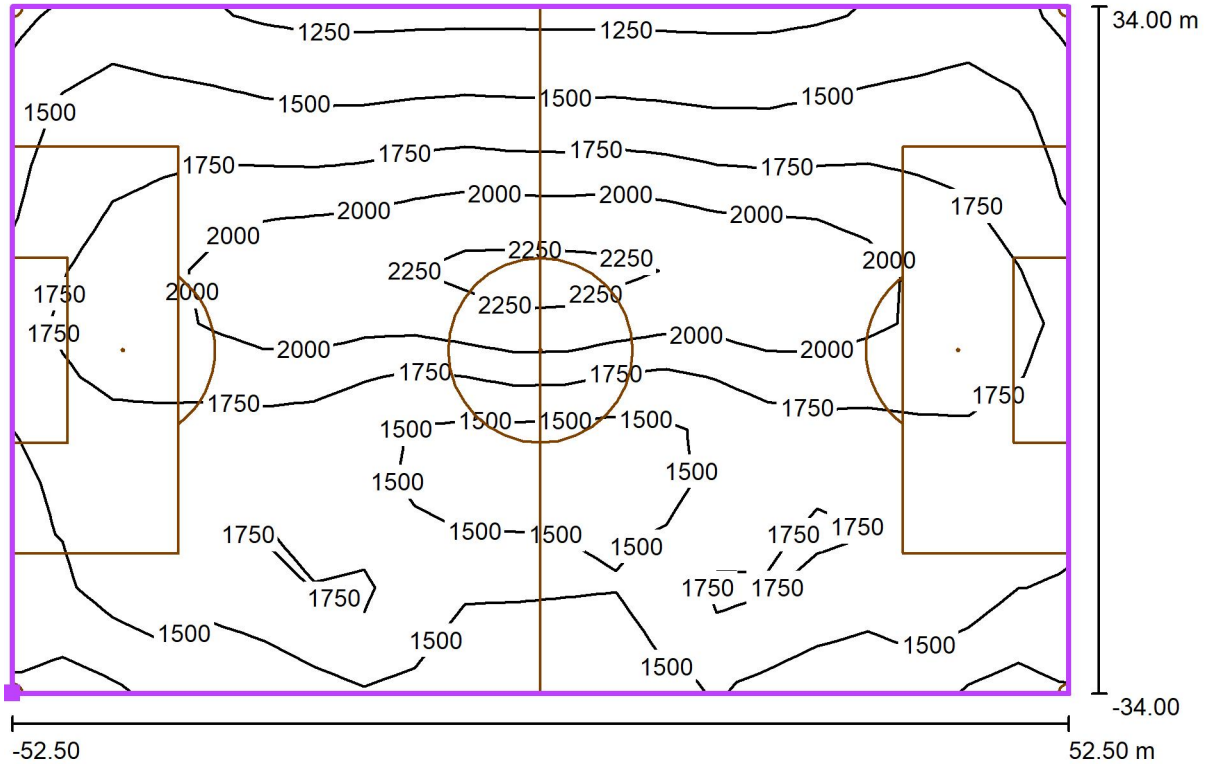
$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1720	1215	2439	0.71	0.50



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Terreno de Juego Completo / Isolíneas (E, cámara)**



Valores en Lux, Escala 1 : 751

Situación de la superficie en la escena exterior:  
 Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)  
 Posición de la cámara: (1.267 m, -56.800 m, 11.500 m)



Trama: 21 x 13 Puntos

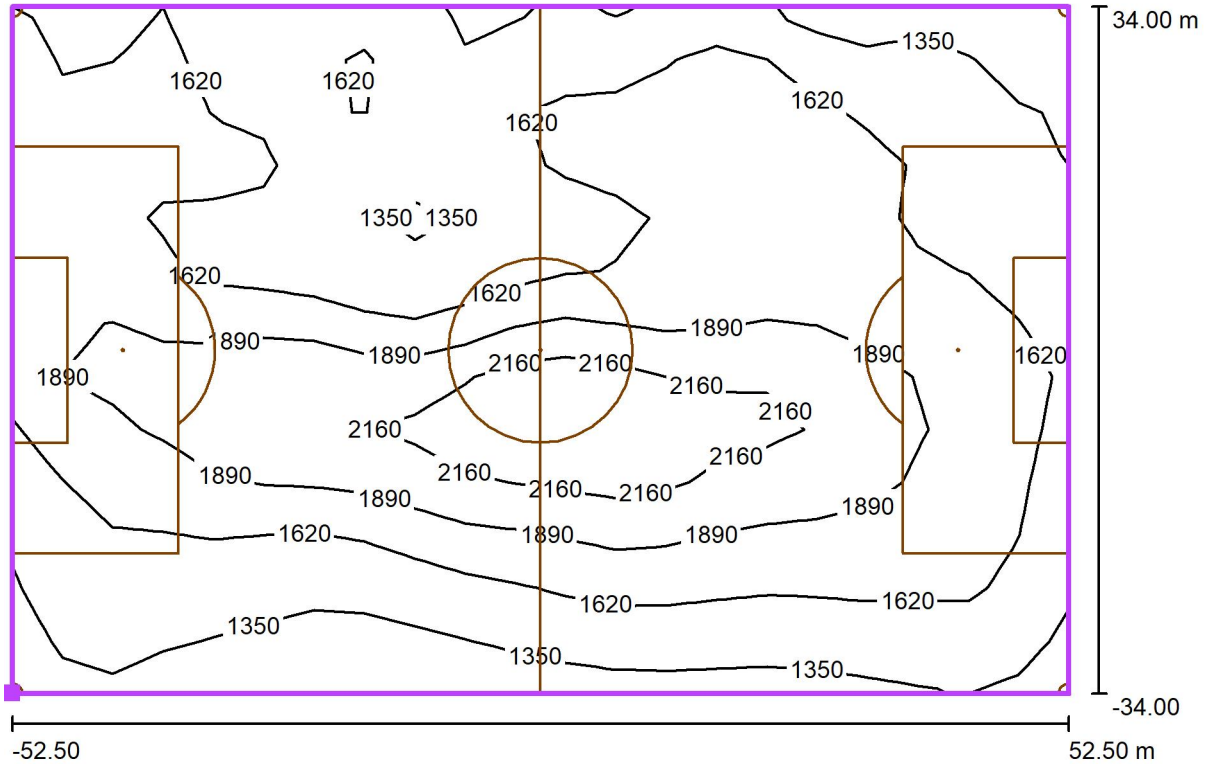
$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1674	1155	2385	0.69	0.48



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Terreno de Juego Completo / Isolíneas (E, cámara)**



Valores en Lux, Escala 1 : 751

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)

Posición de la cámara: (-26.250 m, 56.800 m, 14.000 m)



Trama: 21 x 13 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1681	1124	2437	0.67	0.46

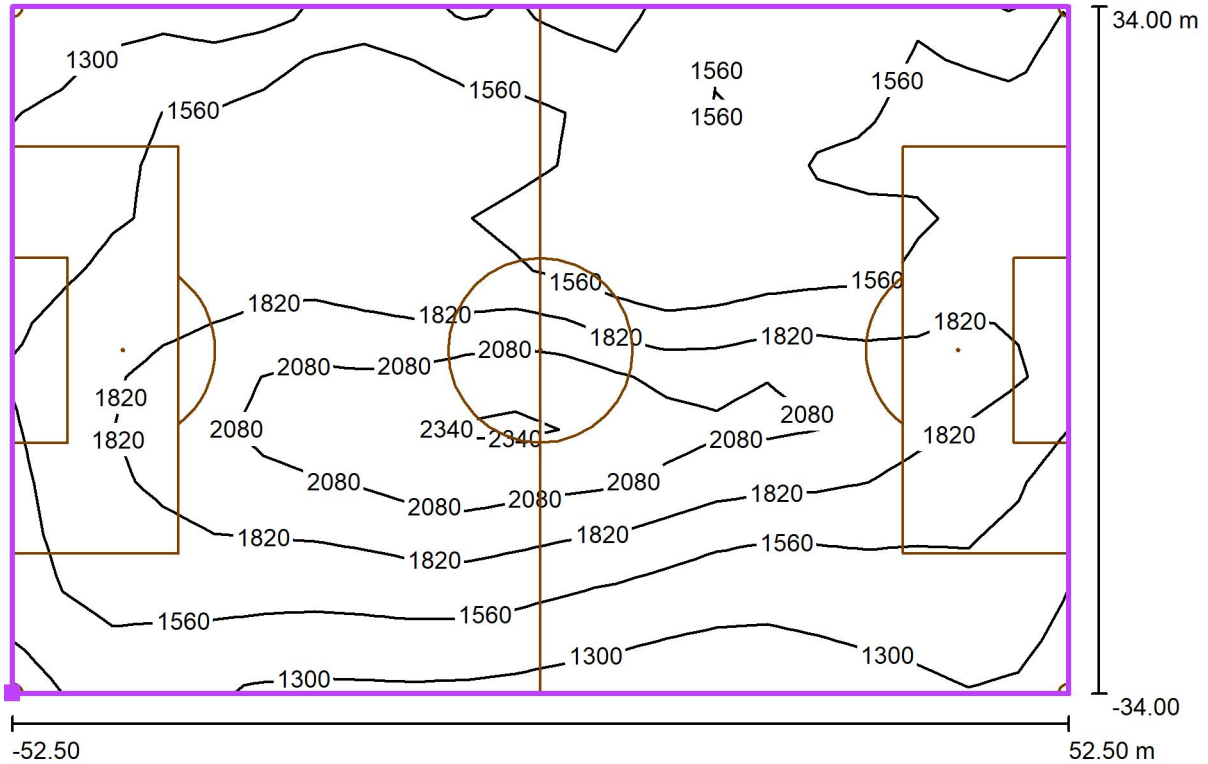




Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Terreno de Juego Completo / Isolíneas (E, cámara)**



Valores en Lux, Escala 1 : 751

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)

Posición de la cámara: (26.250 m, 56.800 m, 11.500 m)



Trama: 21 x 13 Puntos

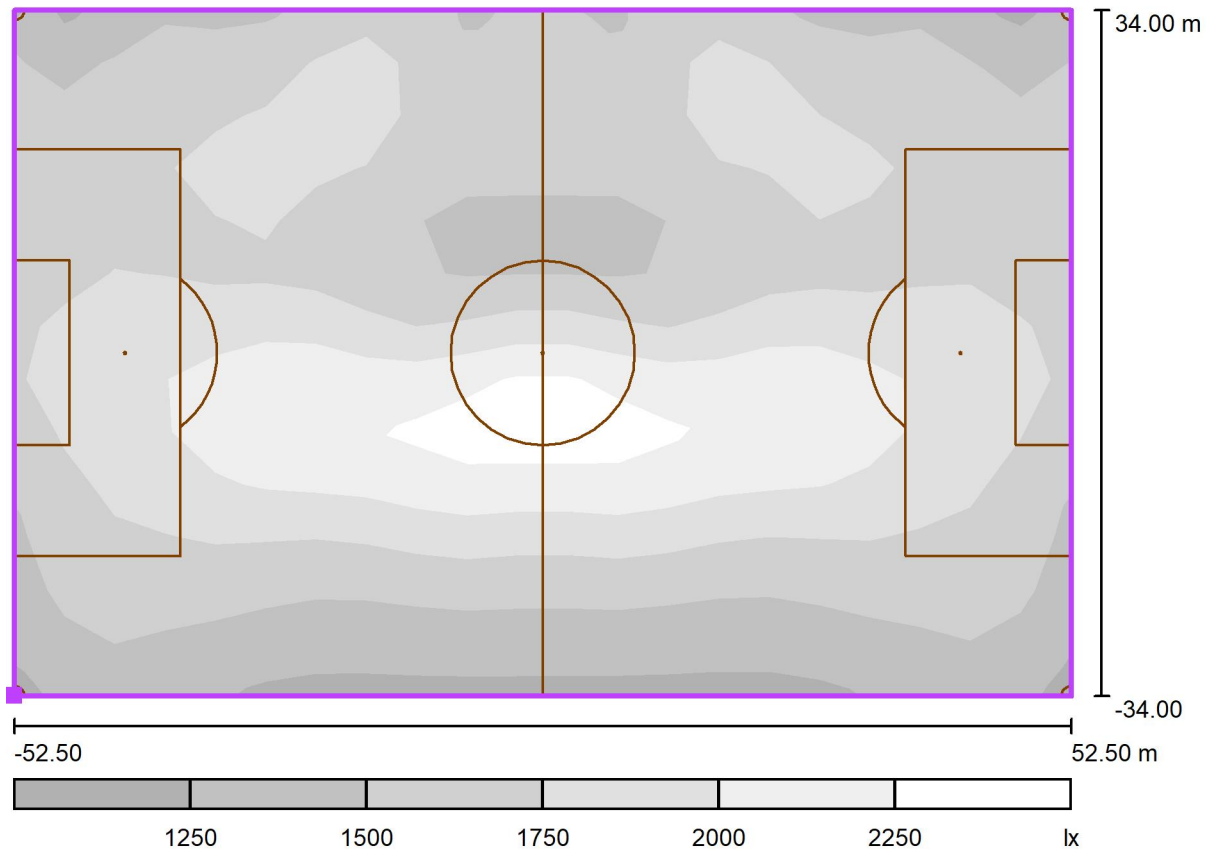
$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1655	1115	2414	0.67	0.46



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Terreno de Juego Completo / Gama de grises (E, cámara)**



Escala 1 : 751

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)

Posición de la cámara: (0.000 m, 56.800 m, 14.000 m)



Trama: 21 x 13 Puntos

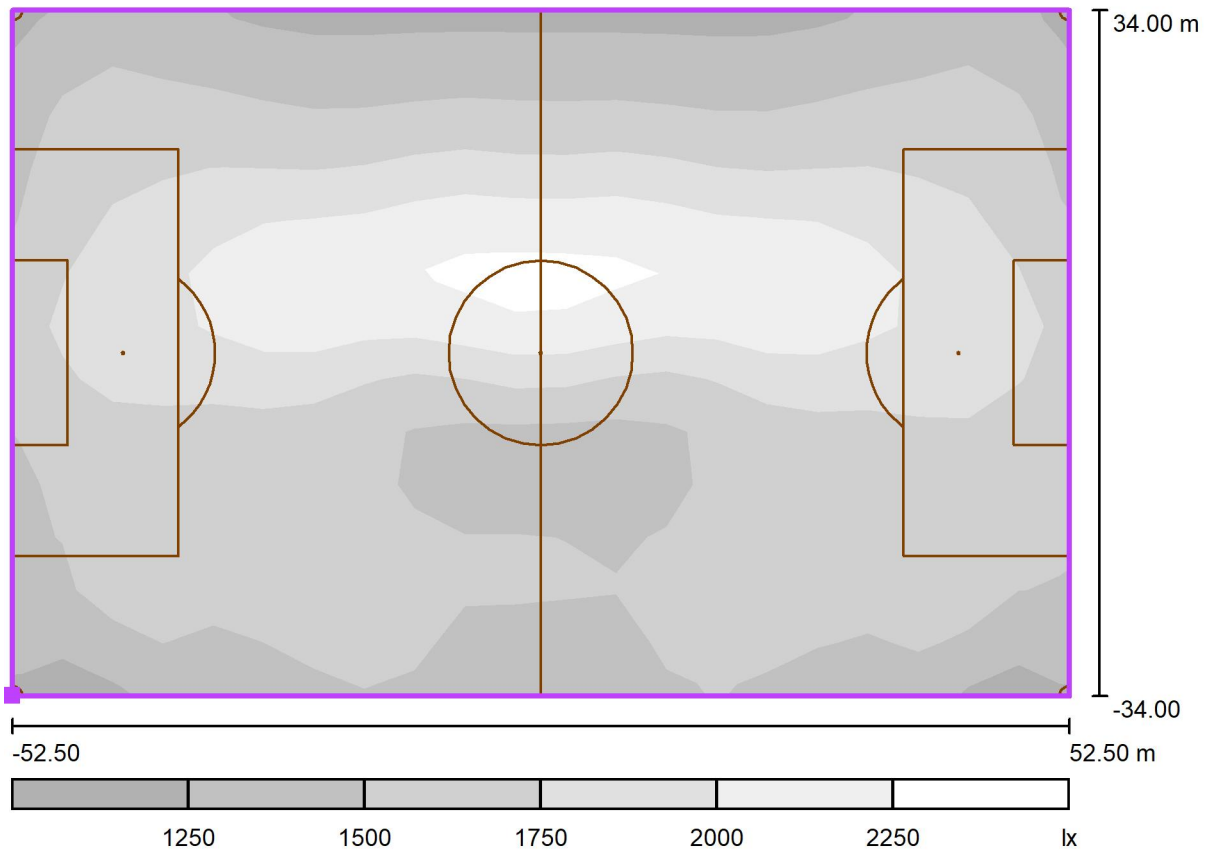
$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1720	1215	2439	0.71	0.50



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Terreno de Juego Completo / Gama de grises (E, cámara)**



Escala 1 : 751

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)

Posición de la cámara: (1.267 m, -56.800 m, 11.500 m)



Trama: 21 x 13 Puntos

$E_m$  [lx]  
1674

$E_{min}$  [lx]  
1155

$E_{max}$  [lx]  
2385

$E_{min} / E_m$   
0.69

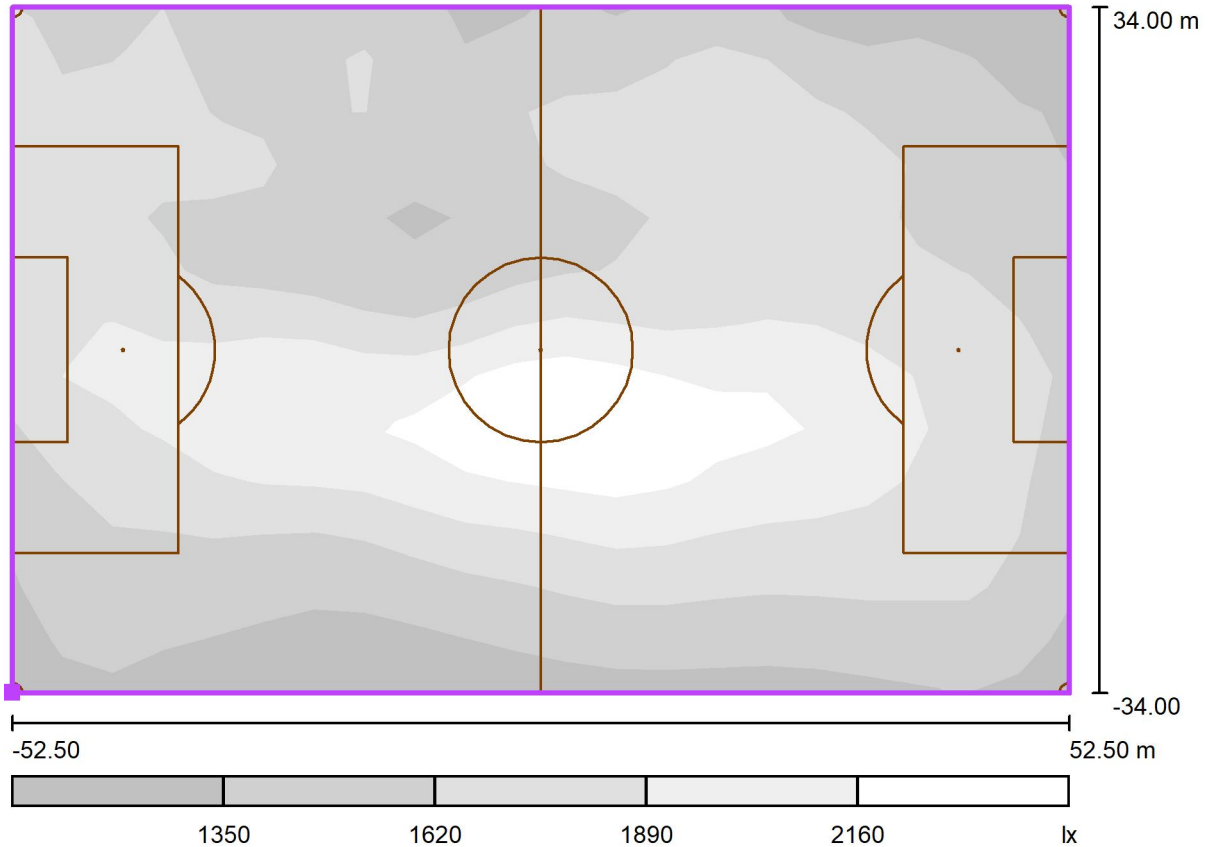
$E_{min} / E_{max}$   
0.48



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Terreno de Juego Completo / Gama de grises (E, cámara)**



Escala 1 : 751

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)

Posición de la cámara: (-26.250 m, 56.800 m, 14.000 m)



Trama: 21 x 13 Puntos

$E_m$  [lx]  
1681

$E_{min}$  [lx]  
1124

$E_{max}$  [lx]  
2437

$E_{min} / E_m$   
0.67

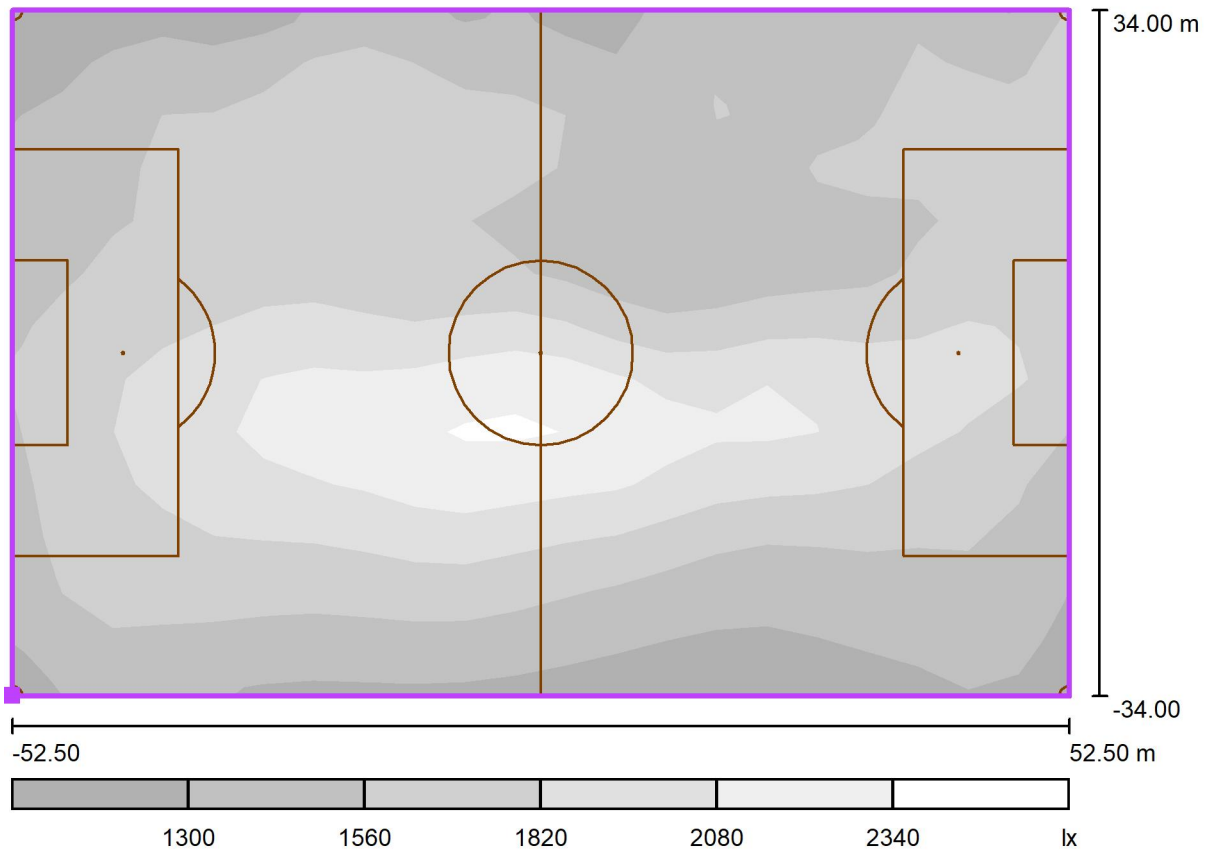
$E_{min} / E_{max}$   
0.46



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Terreno de Juego Completo / Gama de grises (E, cámara)**



Escala 1 : 751

Situación de la superficie en la escena exterior:  
 Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)  
 Posición de la cámara: (26.250 m, 56.800 m, 11.500 m)



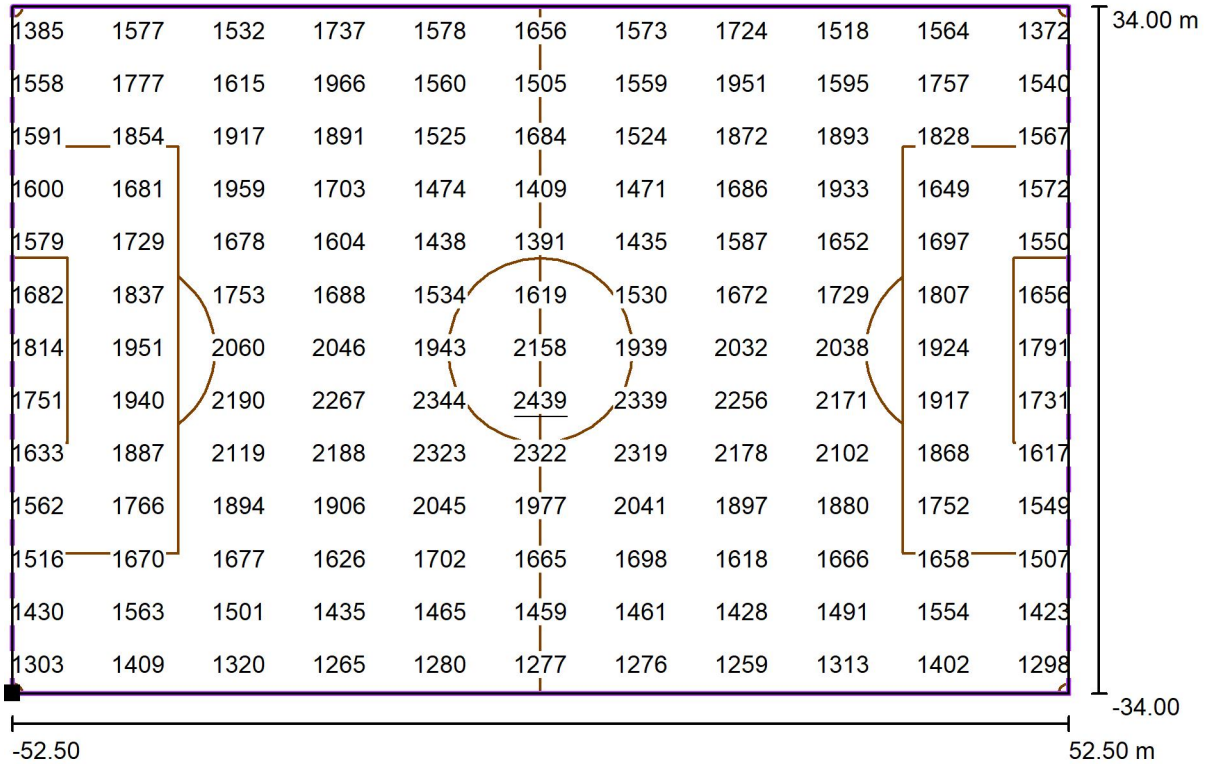
Trama: 21 x 13 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1655	1115	2414	0.67	0.46

Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Terreno de Juego Completo / Gráfico de valores (E, cámara)**



Valores en Lux, Escala 1 : 751

No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)

Posición de la cámara: (0.000 m, 56.800 m, 14.000 m)



Trama: 21 x 13 Puntos

$E_m$  [lx]  
1720

$E_{min}$  [lx]  
1215

$E_{max}$  [lx]  
2439

$E_{min} / E_m$   
0.71

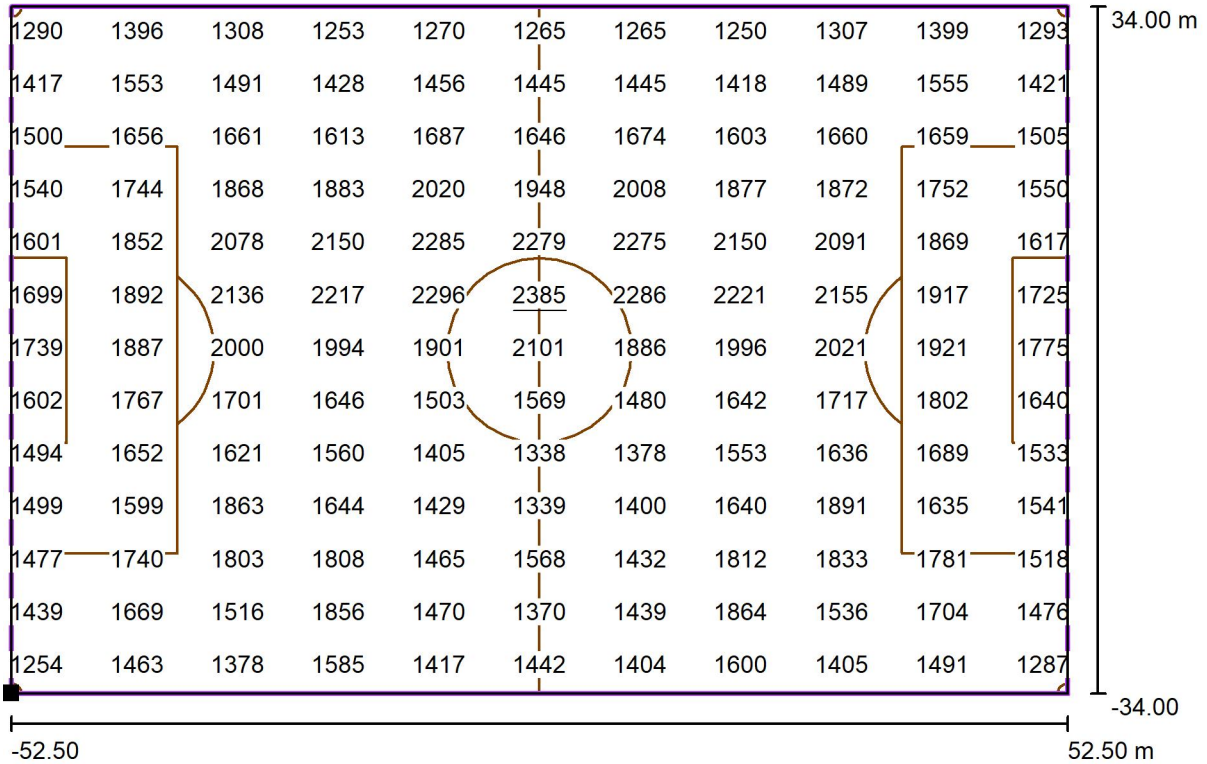
$E_{min} / E_{max}$   
0.50



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Terreno de Juego Completo / Gráfico de valores (E, cámara)**



Valores en Lux, Escala 1 : 751

No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en la escena exterior:

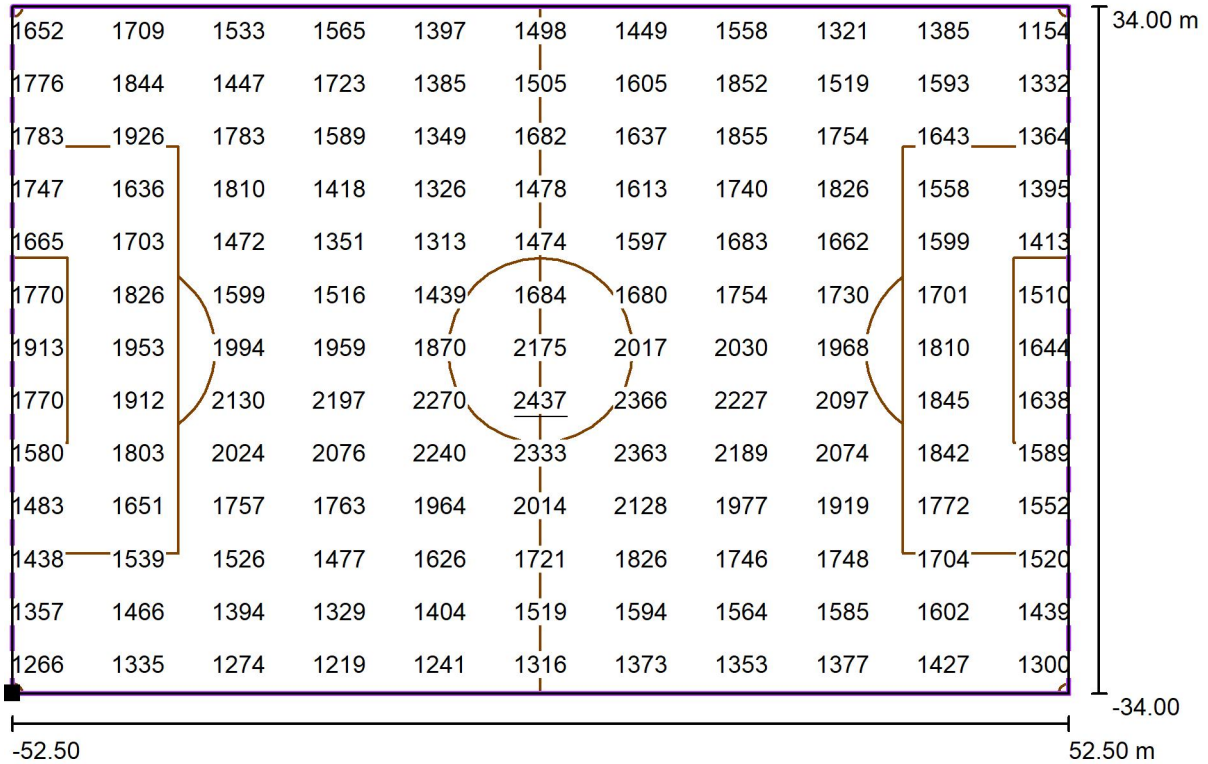
Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)  
 Posición de la cámara: (1.267 m, -56.800 m, 11.500 m)



Trama: 21 x 13 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1674	1155	2385	0.69	0.48

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Terreno de Juego Completo / Gráfico de valores (E, cámara)**



Valores en Lux, Escala 1 : 751

No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)

Posición de la cámara: (-26.250 m, 56.800 m, 14.000 m)



Trama: 21 x 13 Puntos

$E_m$  [lx]  
1681

$E_{min}$  [lx]  
1124

$E_{max}$  [lx]  
2437

$E_{min} / E_m$   
0.67

$E_{min} / E_{max}$   
0.46

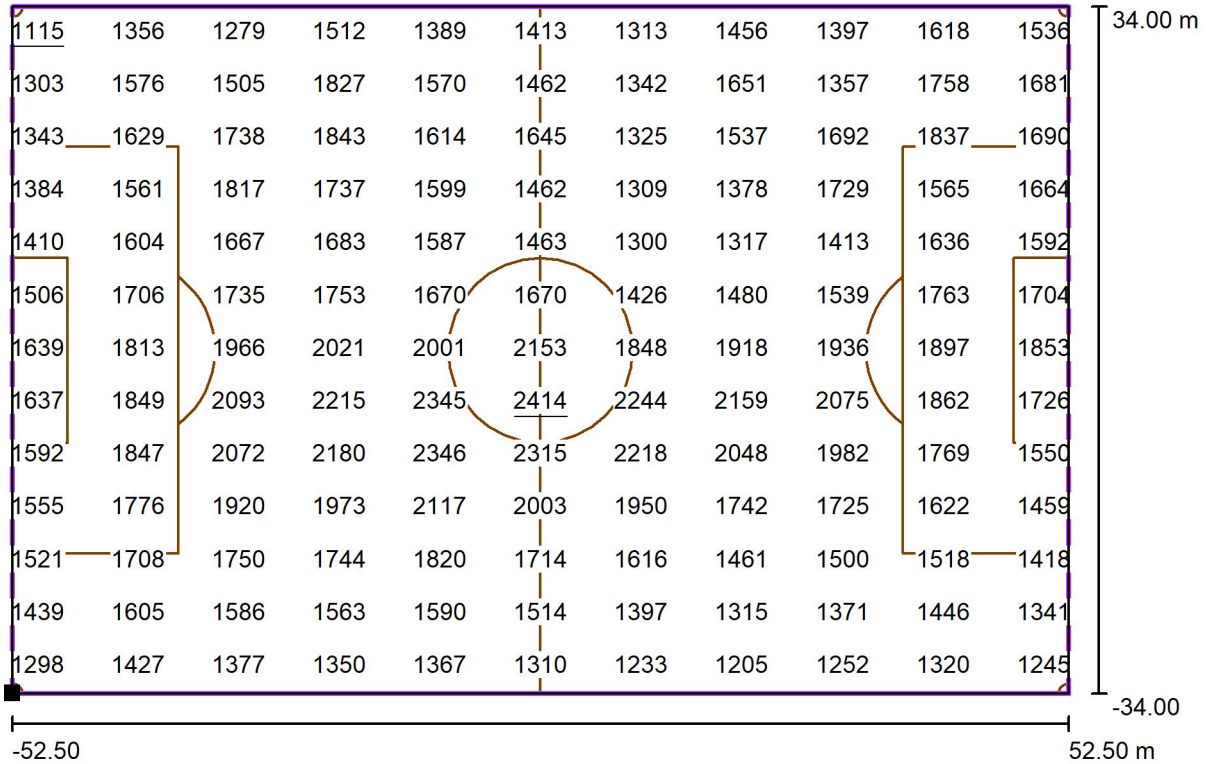




Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

### Carlos Tartiere / Trama de cálculo Terreno de Juego Completo / Gráfico de valores (E, cámara)



Valores en Lux, Escala 1 : 751

No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)  
 Posición de la cámara: (26.250 m, 56.800 m, 11.500 m)



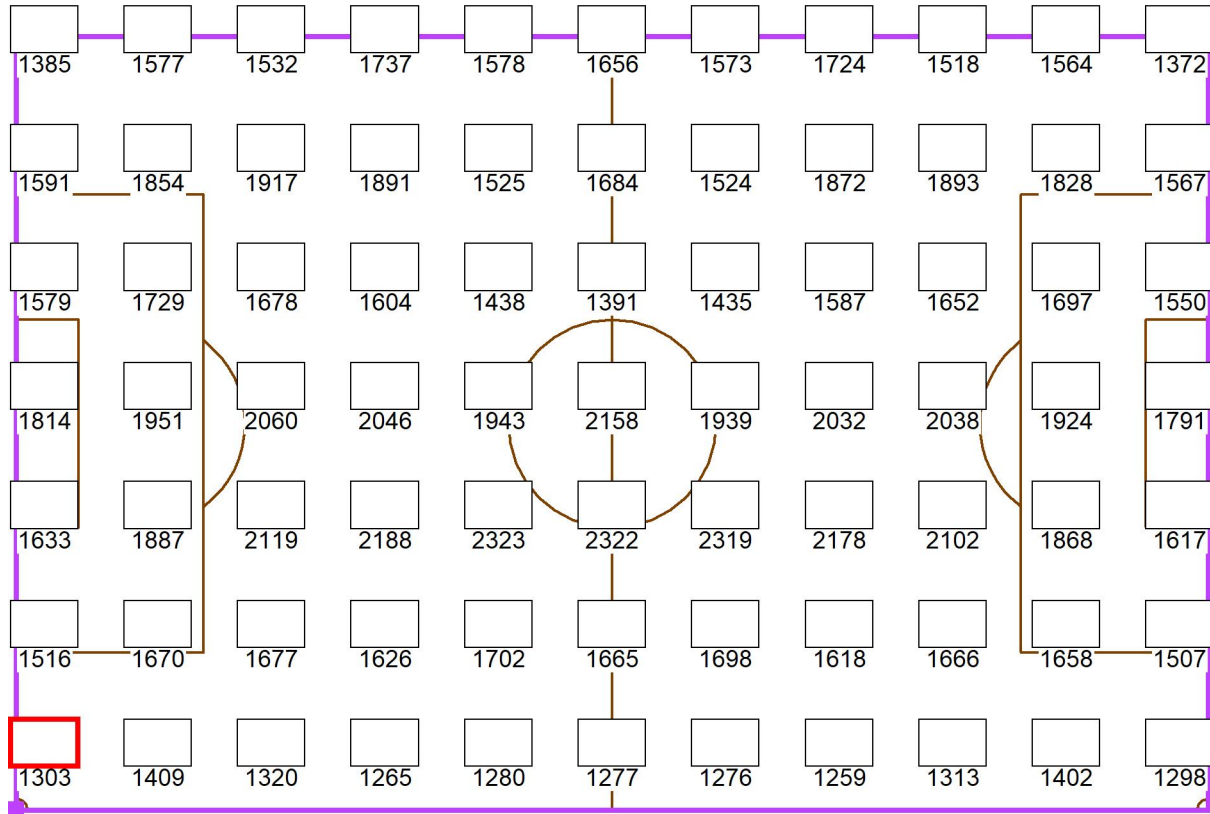
Trama: 21 x 13 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1655	1115	2414	0.67	0.46

Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Terreno de Juego Completo / Protocolo de medición (E, cámara)**



Valores en Lux, Escala 1 : 666

Cantidad de puntos de medición: 11 x 7

Primer punto de medición (resaltado en el gráfico): (2.500 m, 2.615 m)

Distancia del punto de medición en X: 10.000 m, Distancia del punto de medición en Y: 10.462 m

Se mide desde el primer punto hacia X e Y. Los puntos de medición no necesitan ser alienados simétricamente.

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)

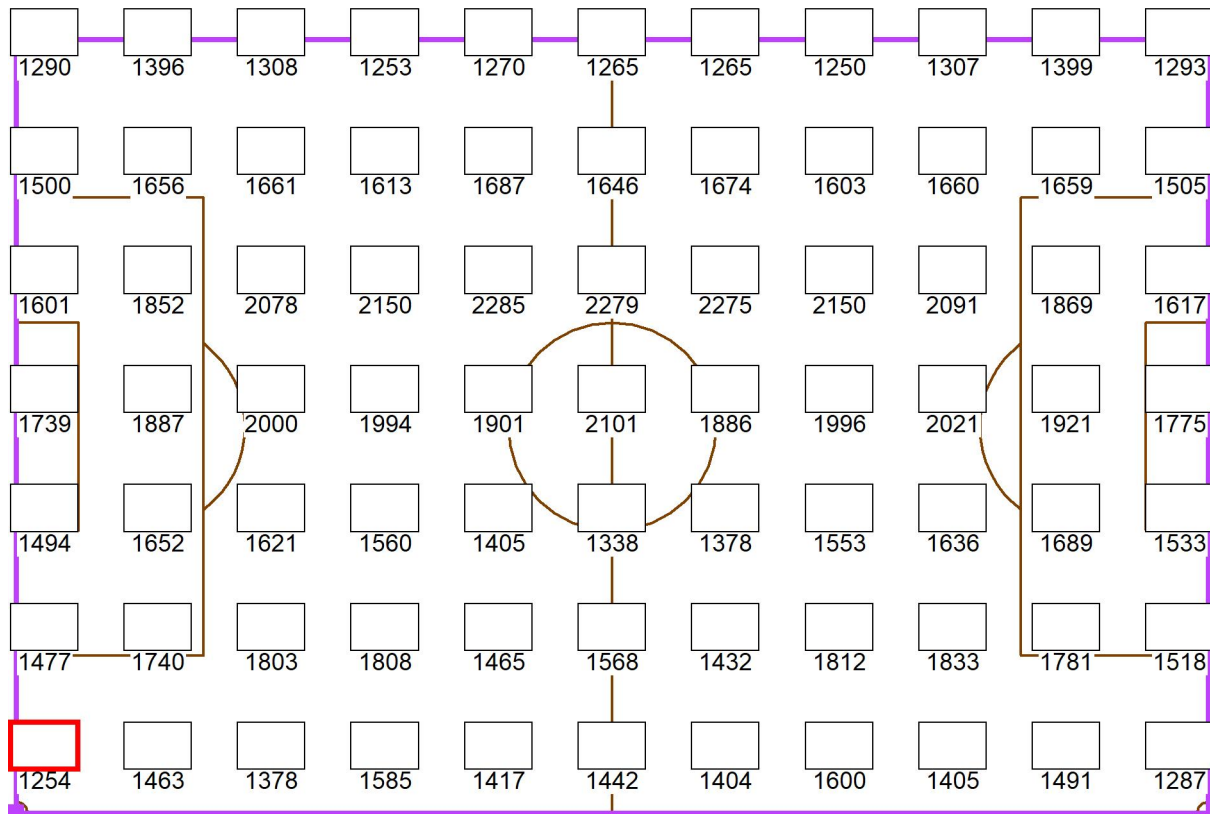
Posición de la cámara: (0.000 m, 56.800 m, 14.000 m)



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Terreno de Juego Completo / Protocolo de medición (E, cámara)**



Valores en Lux, Escala 1 : 666

Cantidad de puntos de medición: 11 x 7

Primer punto de medición (resaltado en el gráfico): (2.500 m, 2.615 m)

Distancia del punto de medición en X: 10.000 m, Distancia del punto de medición en Y: 10.462 m

Se mide desde el primer punto hacia X e Y. Los puntos de medición no necesitan ser alienados simétricamente.

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)

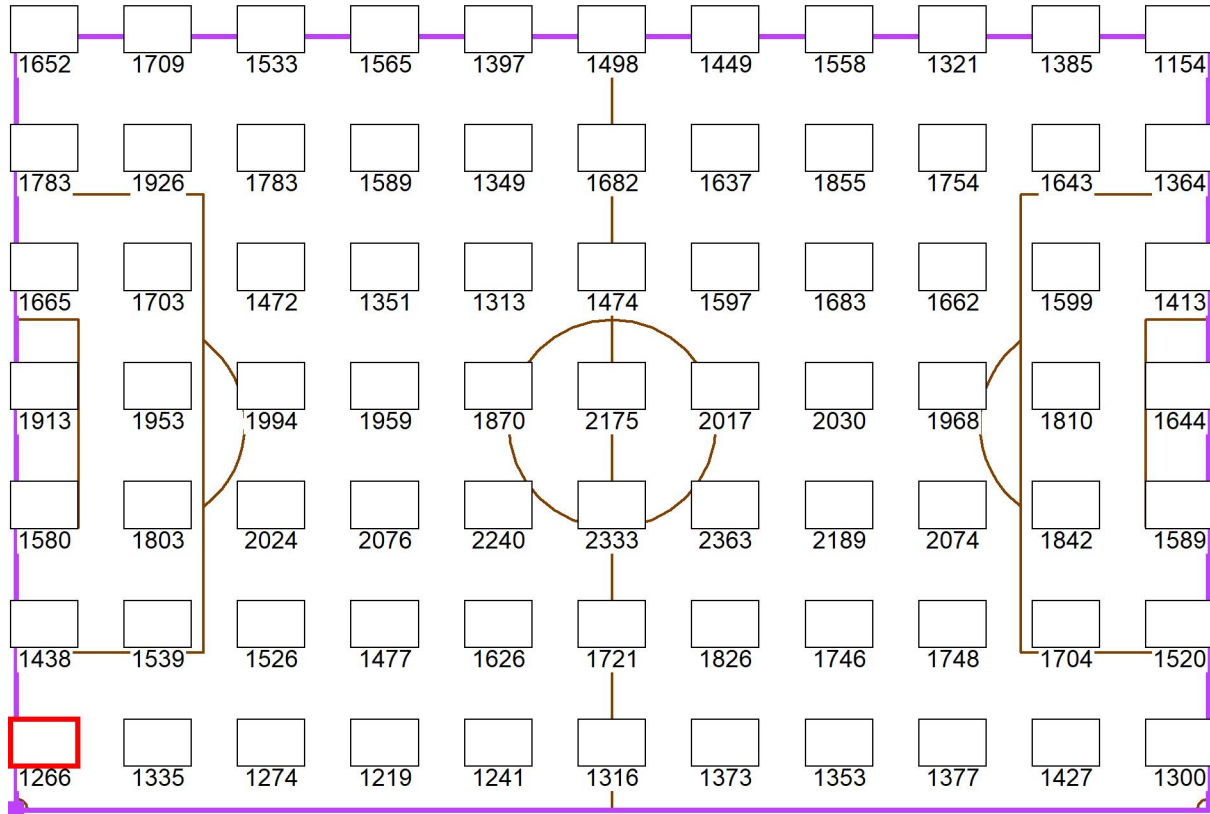
Posición de la cámara: (1.267 m, -56.800 m, 11.500 m)



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
Teléfono 699812451  
Fax  
e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

### Carlos Tartiere / Trama de cálculo Terreno de Juego Completo / Protocolo de medición (E, cámara)

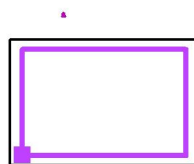


Valores en Lux, Escala 1 : 666

Cantidad de puntos de medición: 11 x 7  
Primer punto de medición (resaltado en el gráfico): (2.500 m, 2.615 m)  
Distancia del punto de medición en X: 10.000 m, Distancia del punto de medición en Y: 10.462 m  
Se mide desde el primer punto hacia X e Y. Los puntos de medición no necesitan ser alienados simétricamente.

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)  
Posición de la cámara: (-26.250 m, 56.800 m, 14.000 m)

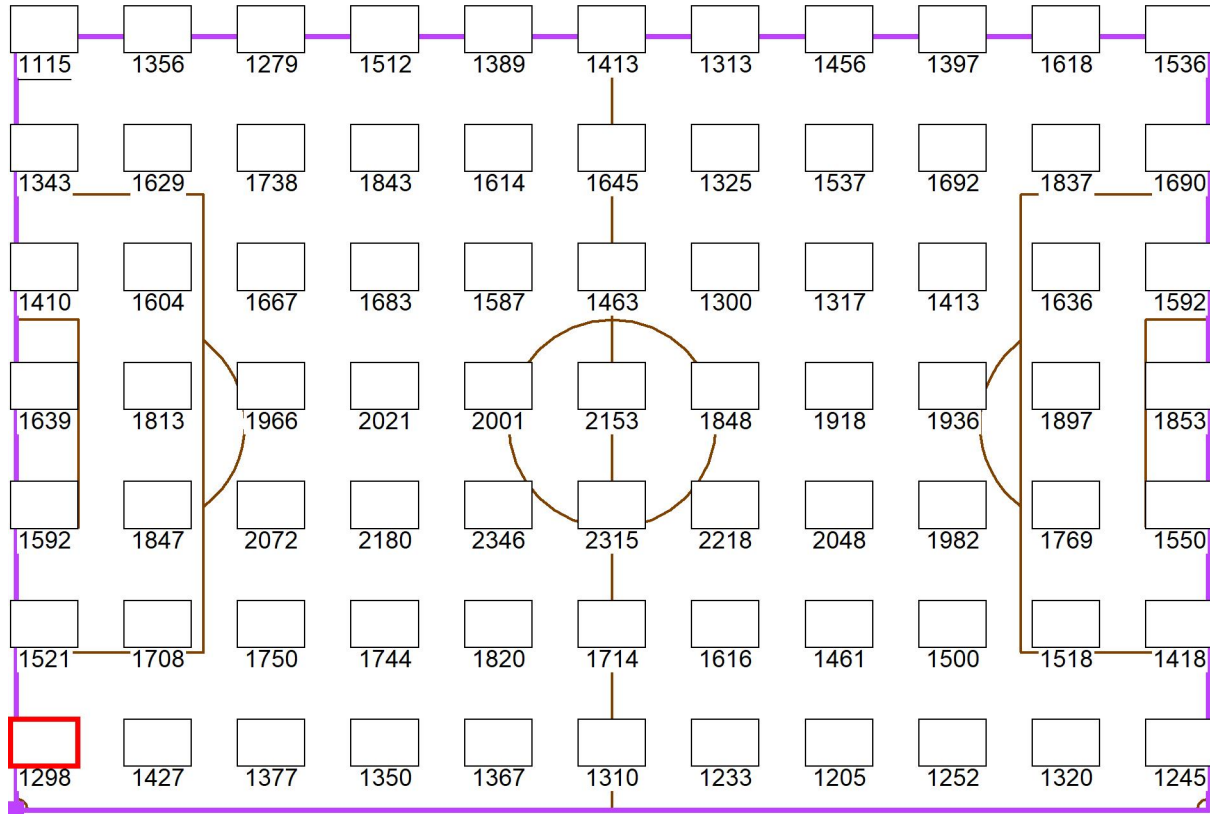




Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

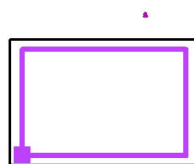
**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Terreno de Juego Completo / Protocolo de medición (E, cámara)**



Valores en Lux, Escala 1 : 666

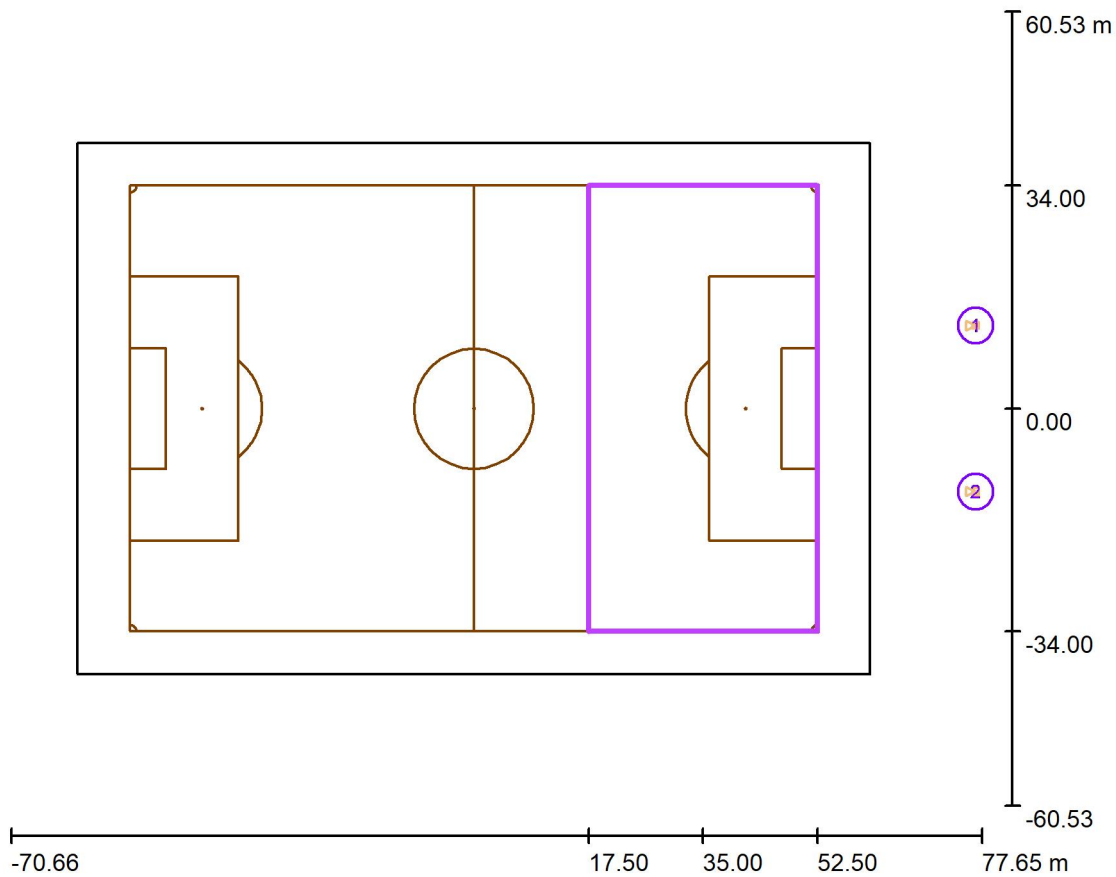
Cantidad de puntos de medición: 11 x 7  
 Primer punto de medición (resaltado en el gráfico): (2.500 m, 2.615 m)  
 Distancia del punto de medición en X: 10.000 m, Distancia del punto de medición en Y: 10.462 m  
 Se mide desde el primer punto hacia X e Y. Los puntos de medición no necesitan ser alienados simétricamente.

Situación de la superficie en la escena exterior:  
 Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)  
 Posición de la cámara: (26.250 m, 56.800 m, 11.500 m)





**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Fondo Norte / Resumen**



Escala 1 : 1155

Posición: (35.000 m, 0.000 m, 0.000 m)  
 Tamaño: (35.000 m, 68.000 m)  
 Rotación: (0.0°, 0.0°, 0.0°)  
 Tipo: Normal, Trama: 9 x 17 Puntos  
 Pertenece al siguiente centro deportivo: Campo de fútbol 1

**Sumario de los resultados**

N°	Tipo	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$	$E_{h\ m} / E_m$	H [m]	Cámara
1	Cámara	1689	1204	2356	0.71	0.51	/	1.500	1
2	Cámara	1655	1198	2323	0.72	0.52	/	1.500	2

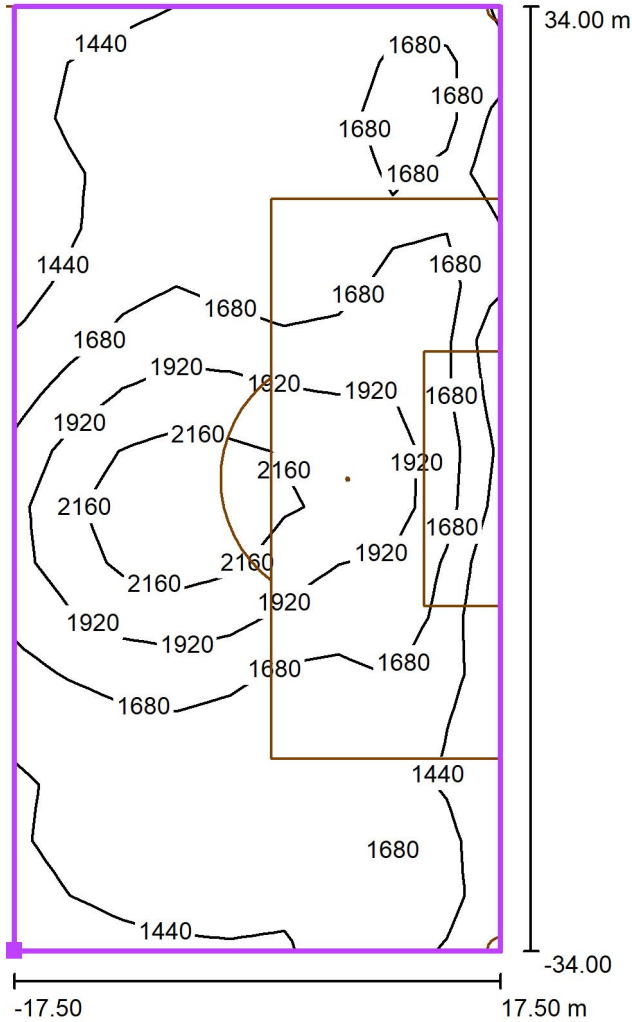
$E_{h\ m} / E_m$  = Relación entre la intensidad lumínica central horizontal y vertical, H = Medición altura



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

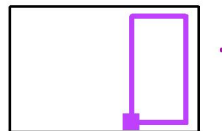
Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Fondo Norte / Isolíneas (E, cámara)**



Valores en Lux, Escala 1 : 545

Situación de la superficie en la escena exterior:  
 Punto marcado: (17.500 m, -34.000 m, 0.000 m)  
 Posición de la cámara: (76.650 m, 12.666 m, 11.500 m)



Trama: 9 x 17 Puntos

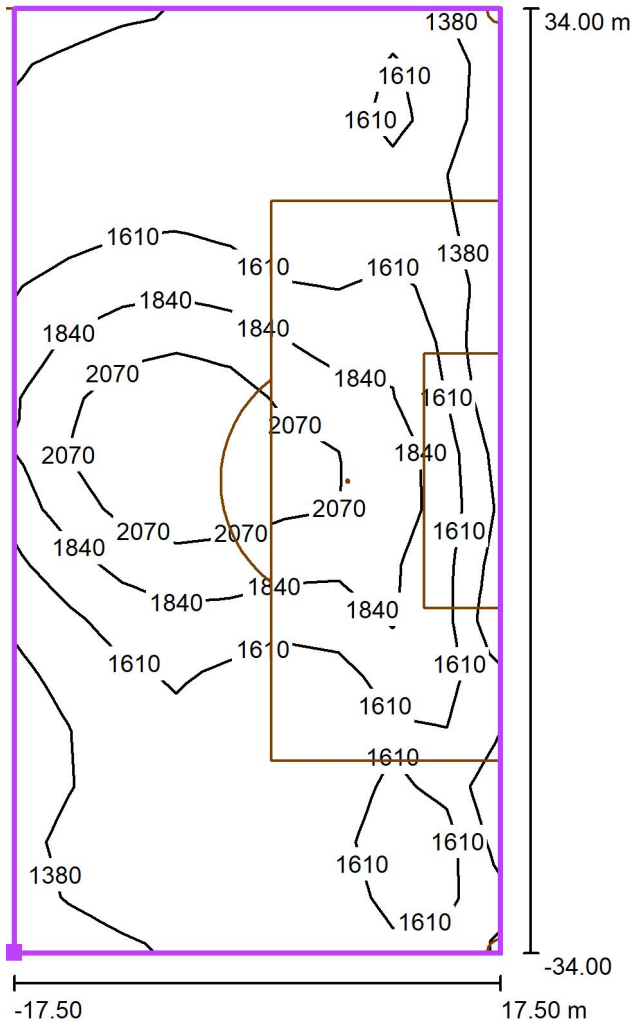
$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1689	1204	2356	0.71	0.51



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Fondo Norte / Isolíneas (E, cámara)**

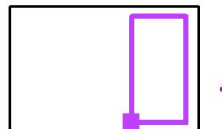


Valores en Lux, Escala 1 : 545

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (17.500 m, -34.000 m, 0.000 m)

Posición de la cámara: (76.650 m, -12.666 m, 11.500 m)



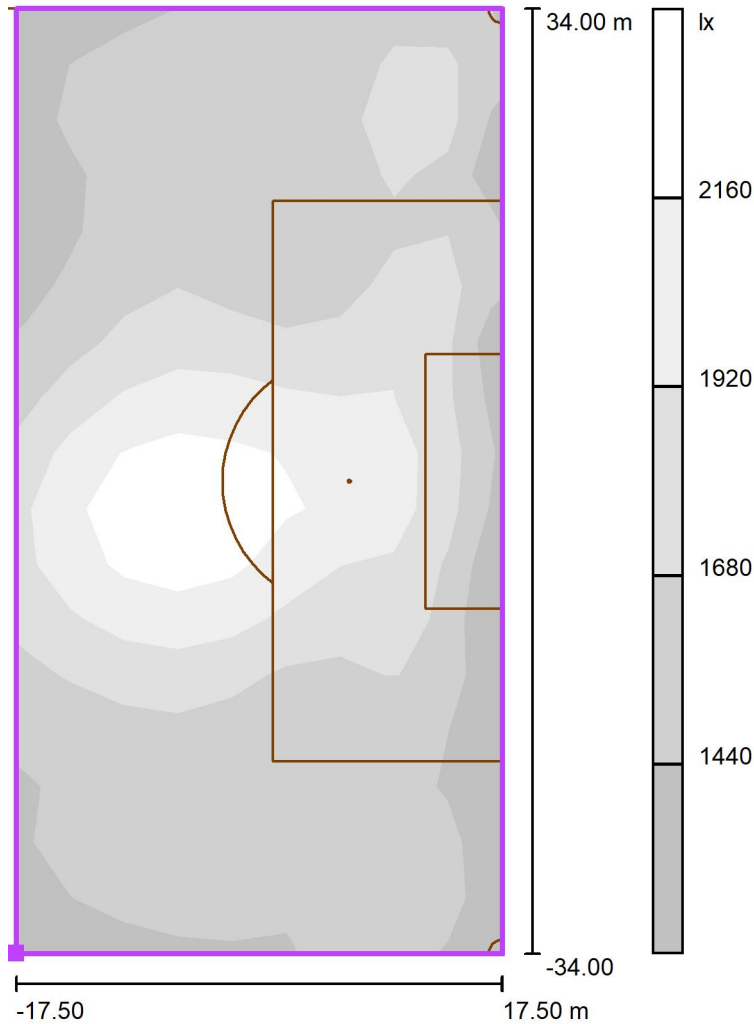
Trama: 9 x 17 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1655	1198	2323	0.72	0.52



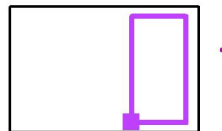


**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Fondo Norte / Gama de grises (E, cámara)**



Escala 1 : 545

Situación de la superficie en la escena exterior:  
 Punto marcado: (17.500 m, -34.000 m, 0.000 m)  
 Posición de la cámara: (76.650 m, 12.666 m, 11.500 m)

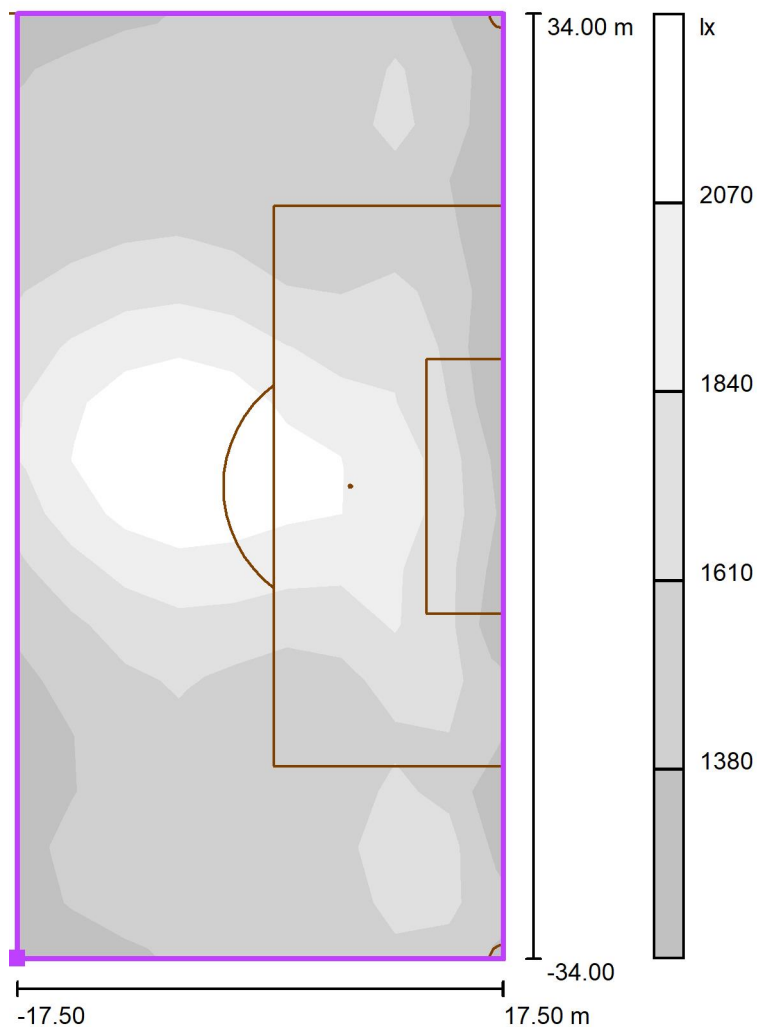


Trama: 9 x 17 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1689	1204	2356	0.71	0.51

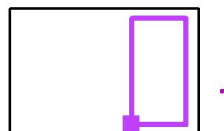


**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Fondo Norte / Gama de grises (E, cámara)**



Escala 1 : 545

Situación de la superficie en la escena exterior:  
 Punto marcado: (17.500 m, -34.000 m, 0.000 m)  
 Posición de la cámara: (76.650 m, -12.666 m, 11.500 m)



Trama: 9 x 17 Puntos

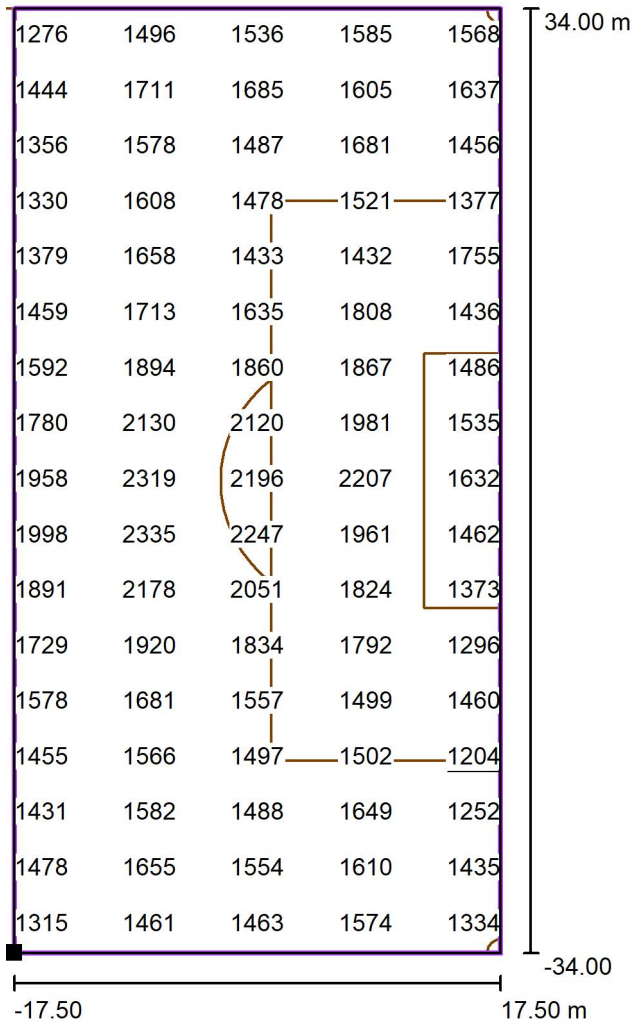
$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1655	1198	2323	0.72	0.52



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

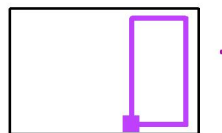
**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Fondo Norte / Gráfico de valores (E, cámara)**



Valores en Lux, Escala 1 : 545

No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en la escena exterior:  
 Punto marcado: (17.500 m, -34.000 m, 0.000 m)  
 Posición de la cámara: (76.650 m, 12.666 m, 11.500 m)



Trama: 9 x 17 Puntos

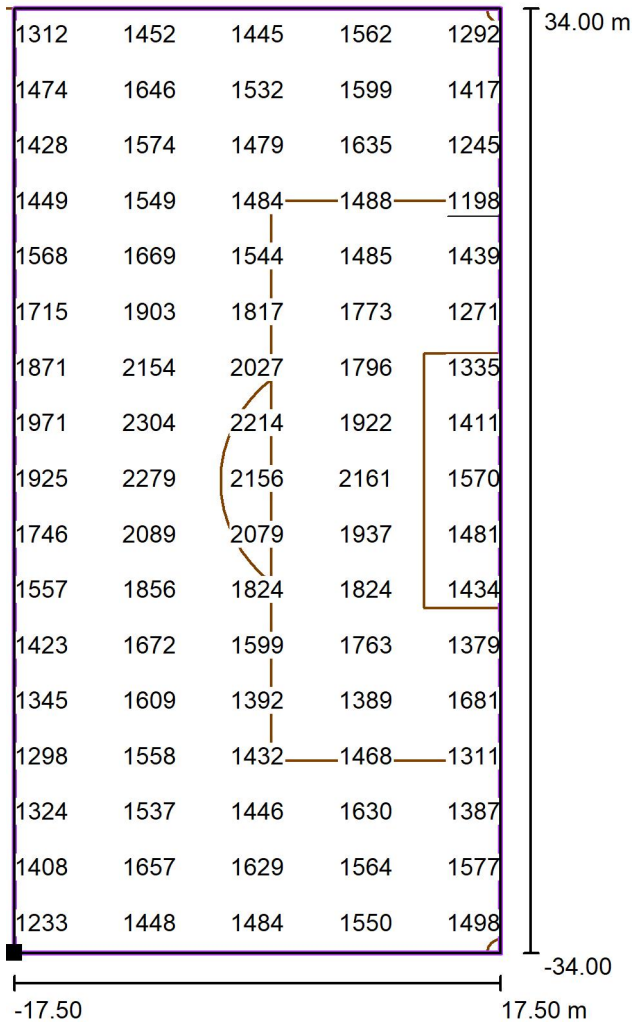
$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1689	1204	2356	0.71	0.51



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

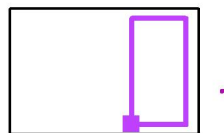
**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Fondo Norte / Gráfico de valores (E, cámara)**



Valores en Lux, Escala 1 : 545

No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en la escena exterior:  
 Punto marcado: (17.500 m, -34.000 m, 0.000 m)  
 Posición de la cámara: (76.650 m, -12.666 m, 11.500 m)



Trama: 9 x 17 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1655	1198	2323	0.72	0.52



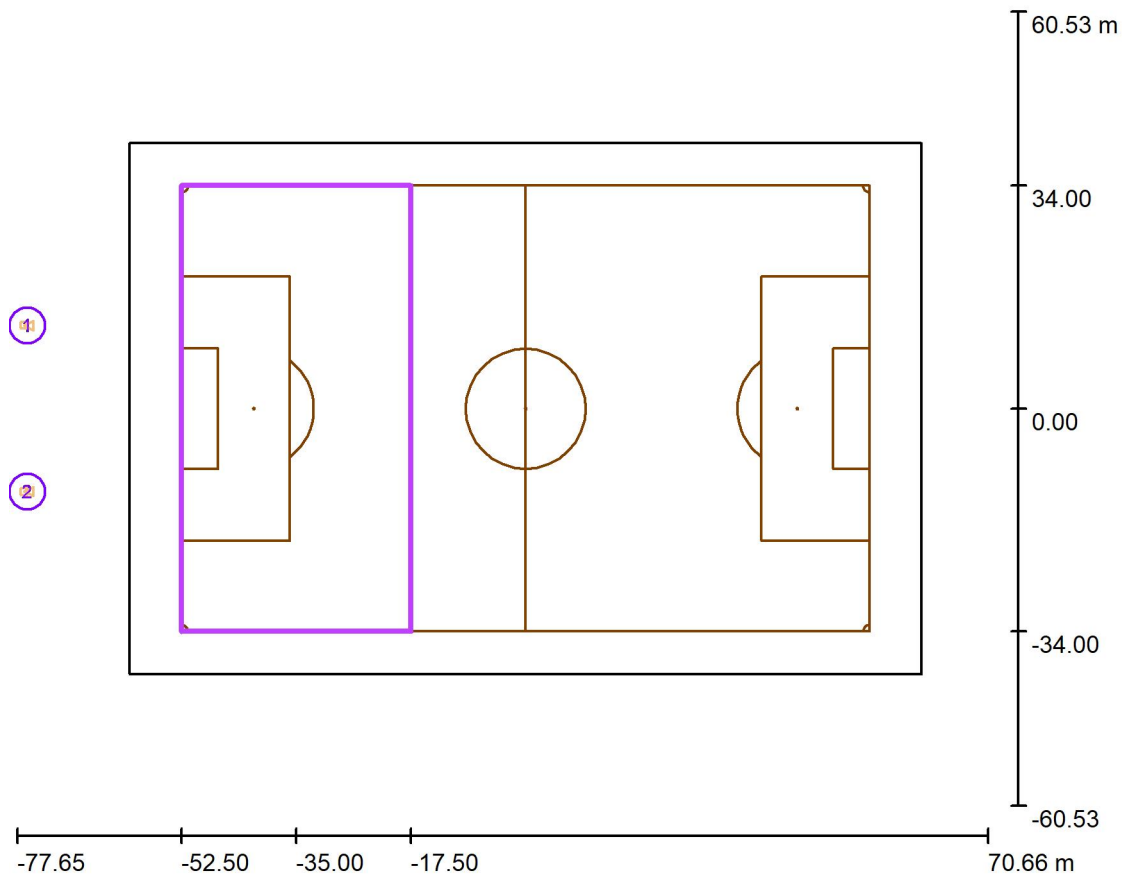




Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Fondo Sur / Resumen**



Escala 1 : 1155

Posición: (-35.000 m, 0.000 m, 0.000 m)  
 Tamaño: (35.000 m, 68.000 m)  
 Rotación: (0.0°, 0.0°, 0.0°)  
 Tipo: Normal, Trama: 9 x 17 Puntos  
 Pertenece al siguiente centro deportivo: Campo de fútbol 1

**Sumario de los resultados**

N°	Tipo	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$	$E_{h\ m} / E_m$	H [m]	Cámara
1	Cámara	1690	1210	2360	0.72	0.51	/	1.500	1
2	Cámara	1654	1192	2319	0.72	0.51	/	1.500	2

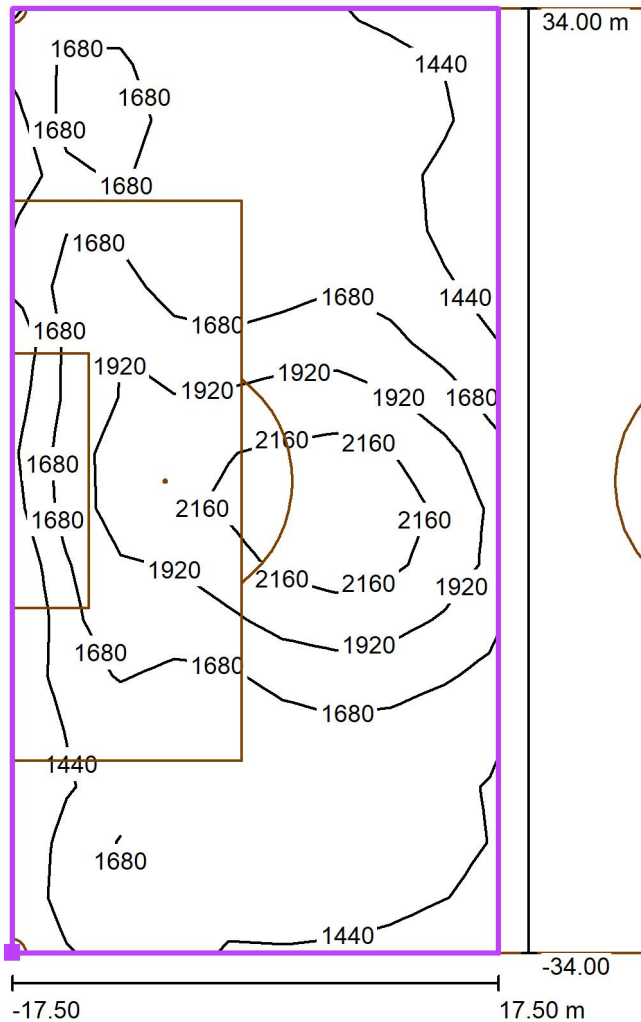
$E_{h\ m} / E_m$  = Relación entre la intensidad lumínica central horizontal y vertical, H = Medición altura



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Fondo Sur / Isolíneas (E, cámara)**

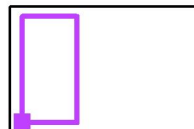


Valores en Lux, Escala 1 : 545

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)

Posición de la cámara: (-76.650 m, 12.666 m, 11.500 m)



Trama: 9 x 17 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1690	1210	2360	0.72	0.51

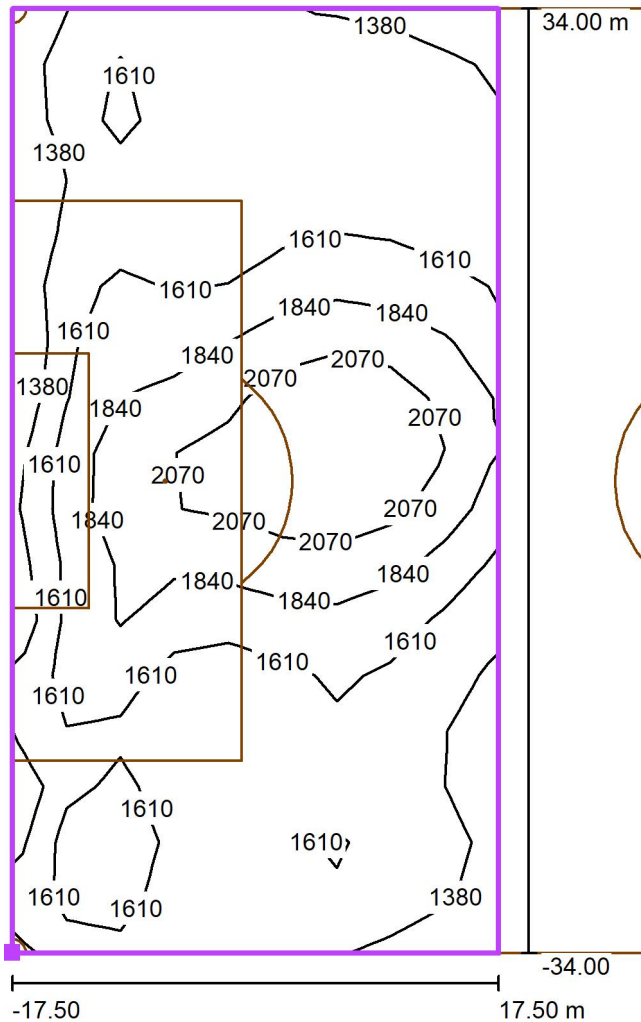




Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Fondo Sur / Isolíneas (E, cámara)**

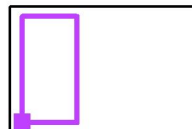


Valores en Lux, Escala 1 : 545

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)

Posición de la cámara: (-76.650 m, -12.666 m, 11.500 m)



Trama: 9 x 17 Puntos

$E_m$  [lx]  
1654

$E_{min}$  [lx]  
1192

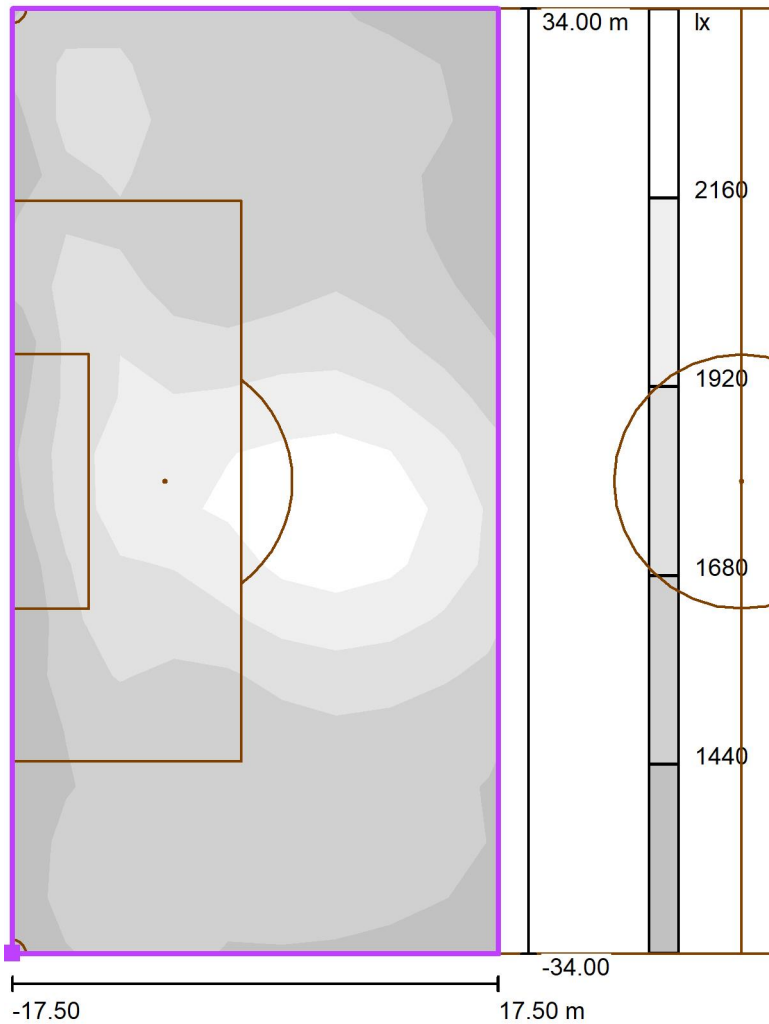
$E_{max}$  [lx]  
2319

$E_{min} / E_m$   
0.72

$E_{min} / E_{max}$   
0.51



**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Fondo Sur / Gama de grises (E, cámara)**

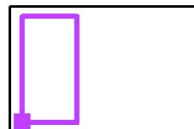


Escala 1 : 545

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)

Posición de la cámara: (-76.650 m, 12.666 m, 11.500 m)



Trama: 9 x 17 Puntos

$E_m$  [lx]  
1690

$E_{min}$  [lx]  
1210

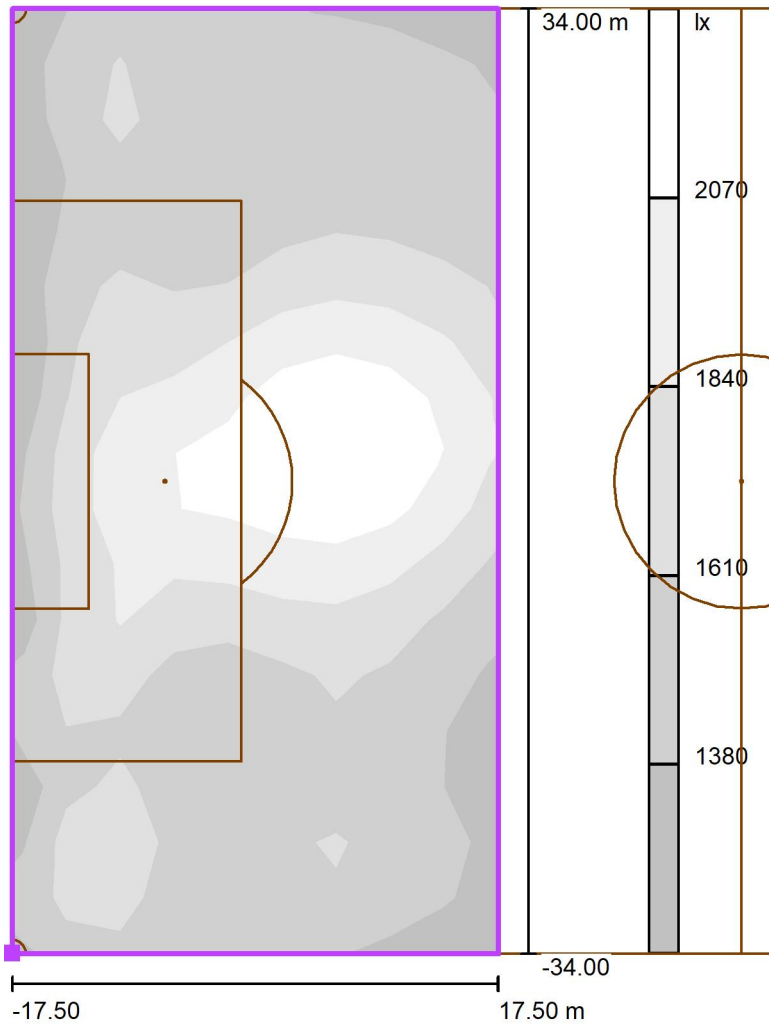
$E_{max}$  [lx]  
2360

$E_{min} / E_m$   
0.72

$E_{min} / E_{max}$   
0.51



**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Fondo Sur / Gama de grises (E, cámara)**



Escala 1 : 545

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)

Posición de la cámara: (-76.650 m, -12.666 m, 11.500 m)



Trama: 9 x 17 Puntos

$E_m$  [lx]  
1654

$E_{min}$  [lx]  
1192

$E_{max}$  [lx]  
2319

$E_{min} / E_m$   
0.72

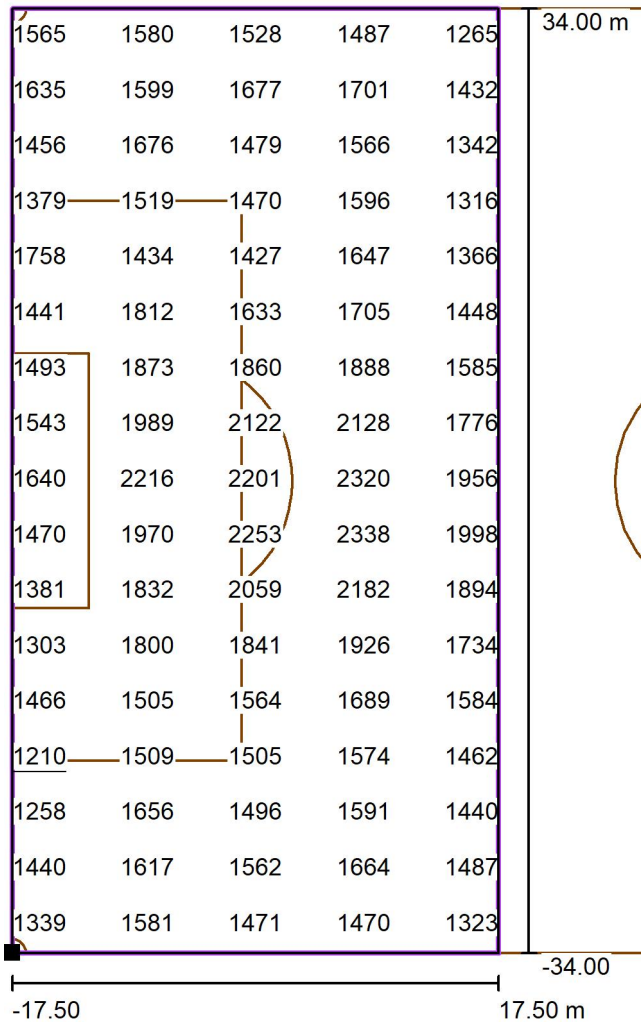
$E_{min} / E_{max}$   
0.51



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Fondo Sur / Gráfico de valores (E, cámara)**

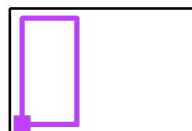


Valores en Lux, Escala 1 : 545

No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)  
 Posición de la cámara: (-76.650 m, 12.666 m, 11.500 m)



Trama: 9 x 17 Puntos

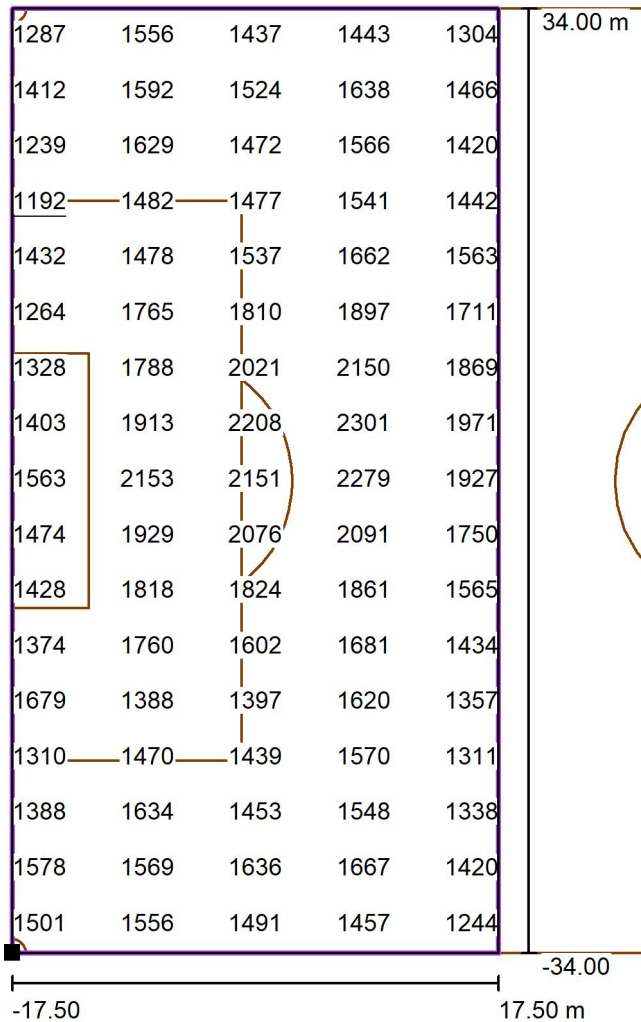
$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1690	1210	2360	0.72	0.51



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Fondo Sur / Gráfico de valores (E, cámara)**



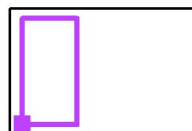
Valores en Lux, Escala 1 : 545

No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)

Posición de la cámara: (-76.650 m, -12.666 m, 11.500 m)



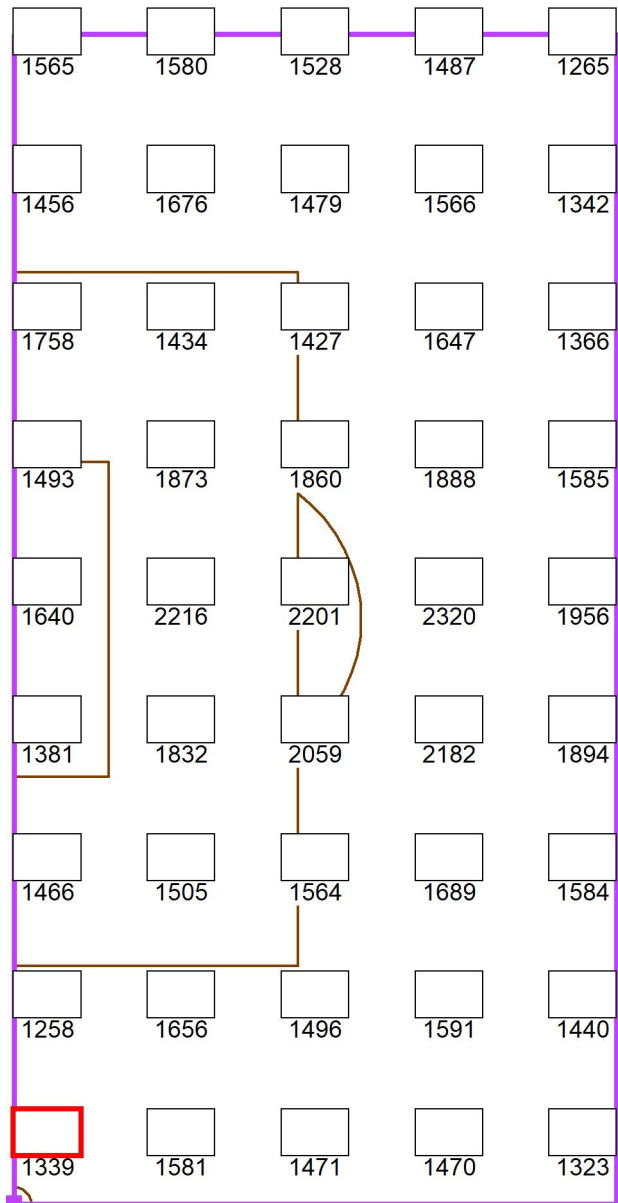
Trama: 9 x 17 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1654	1192	2319	0.72	0.51

Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
Teléfono 699812451  
Fax  
e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

### Carlos Tartiere / Trama de cálculo Fondo Sur / Protocolo de medición (E, cámara)



Valores en Lux, Escala 1 : 440

Cantidad de puntos de medición: 5 x 9

Primer punto de medición (resaltado en el gráfico): (1.944 m, 2.000 m)

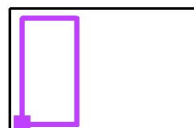
Distancia del punto de medición en X: 7.778 m, Distancia del punto de medición en Y: 8.000 m

Se mide desde el primer punto hacia X e Y. Los puntos de medición no necesitan ser alienados simétricamente.

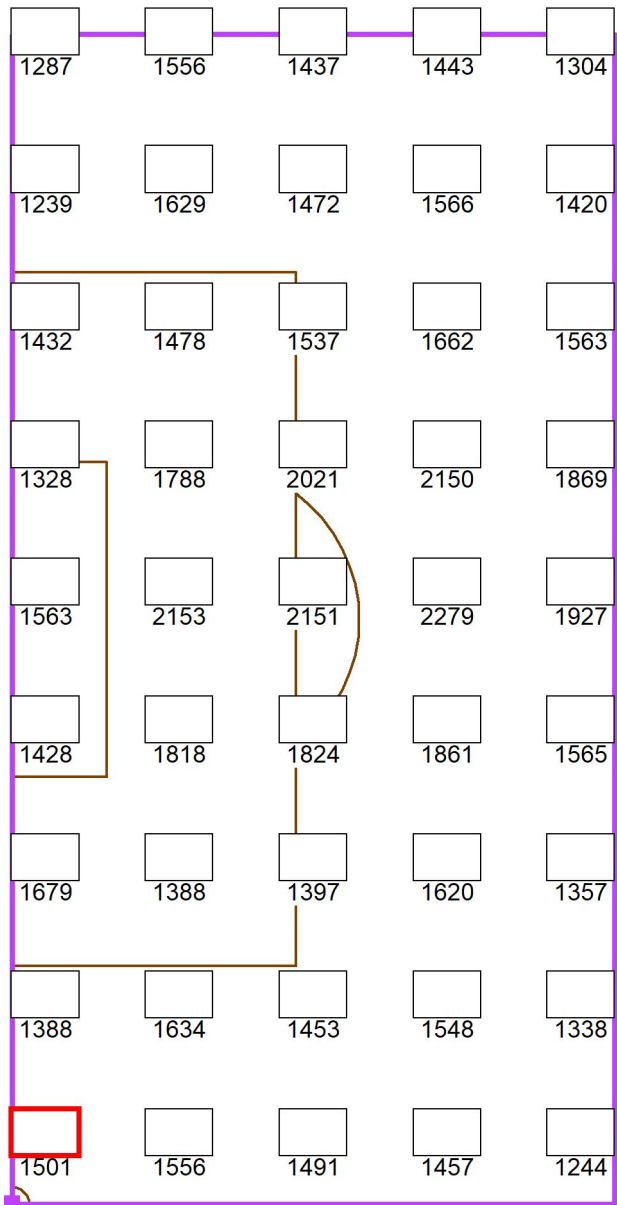
Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)

Posición de la cámara: (-76.650 m, 12.666 m, 11.500 m)



**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Fondo Sur / Protocolo de medición (E, cámara)**



Valores en Lux, Escala 1 : 440

Cantidad de puntos de medición: 5 x 9

Primer punto de medición (resaltado en el gráfico): (1.944 m, 2.000 m)

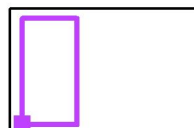
Distancia del punto de medición en X: 7.778 m, Distancia del punto de medición en Y: 8.000 m

Se mide desde el primer punto hacia X e Y. Los puntos de medición no necesitan ser alienados simétricamente.

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)

Posición de la cámara: (-76.650 m, -12.666 m, 11.500 m)

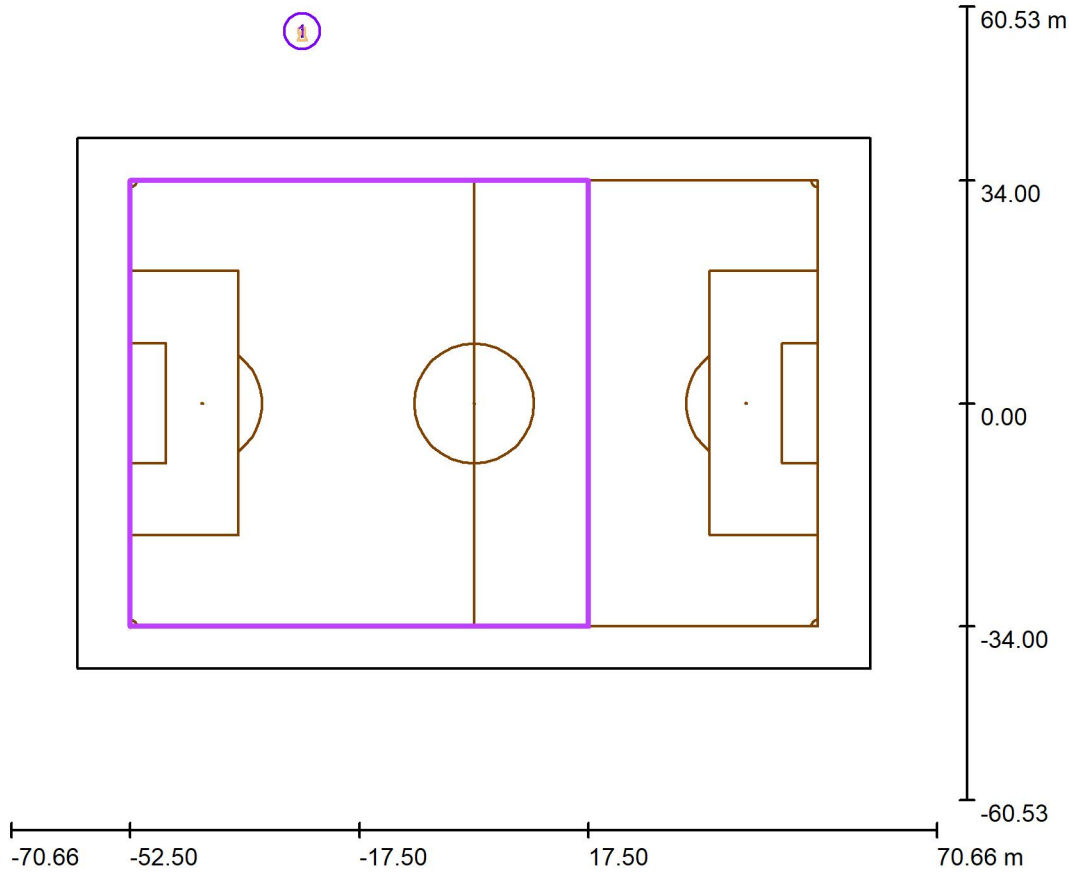




Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Cámara Lateral 1 / Resumen**



Escala 1 : 1155

Posición: (-17.500 m, 0.000 m, 0.000 m)  
 Tamaño: (70.000 m, 68.000 m)  
 Rotación: (0.0°, 0.0°, 0.0°)  
 Tipo: Normal, Trama: 17 x 17 Puntos  
 Pertenece al siguiente centro deportivo: Campo de fútbol 1

**Sumario de los resultados**

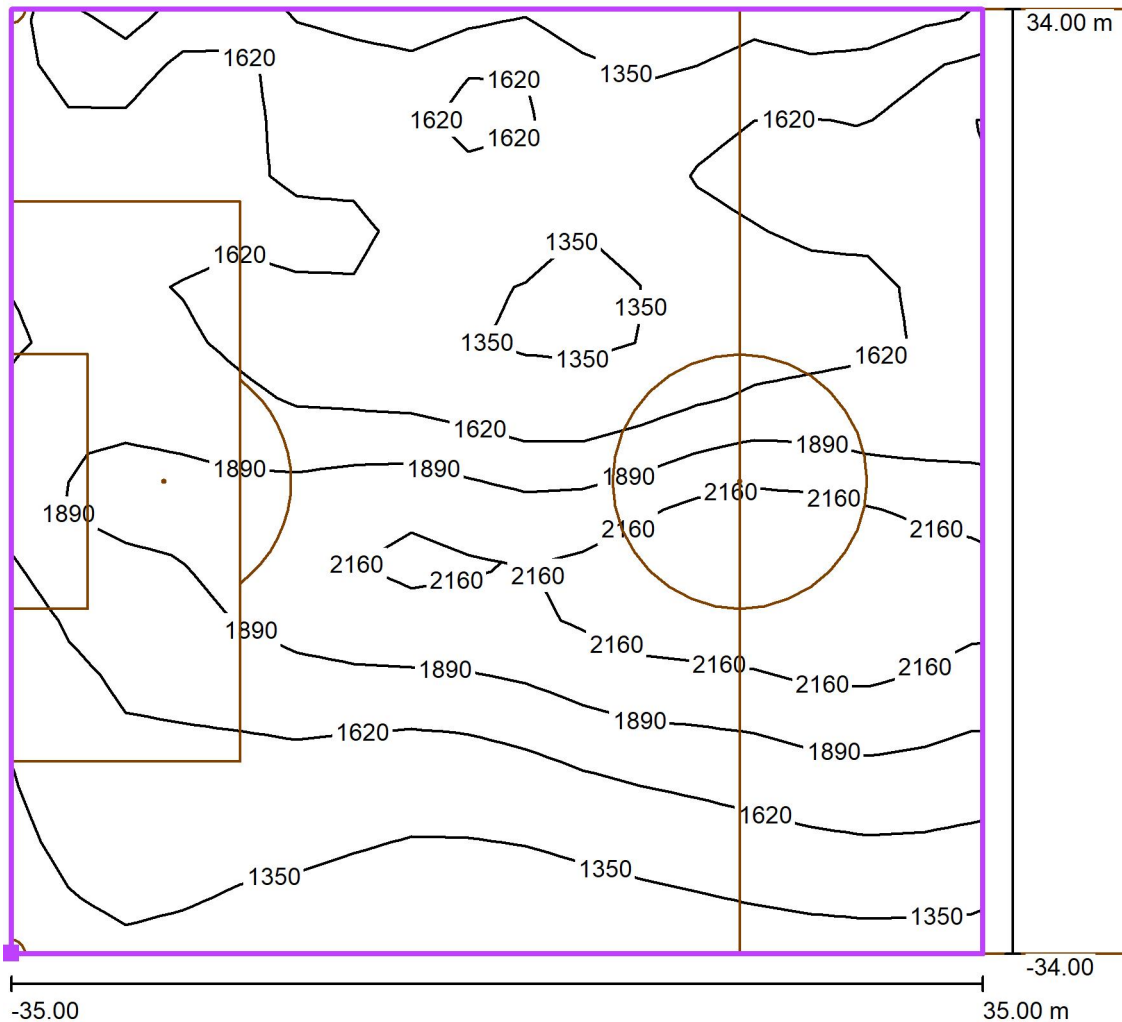
N°	Tipo	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$	$E_{h\ m} / E_m$	H [m]	Cámara
1	Cámara	1675	1136	2446	0.68	0.46	/	1.500	1

$E_{h\ m} / E_m$  = Relación entre la intensidad lumínica central horizontal y vertical, H = Medición altura





**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Cámara Lateral 1 / Isolíneas (E, cámara)**



Valores en Lux, Escala 1 : 545

Situación de la superficie en la escena exterior:  
 Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)  
 Posición de la cámara: (-26.250 m, 56.800 m, 11.500 m)



Trama: 17 x 17 Puntos

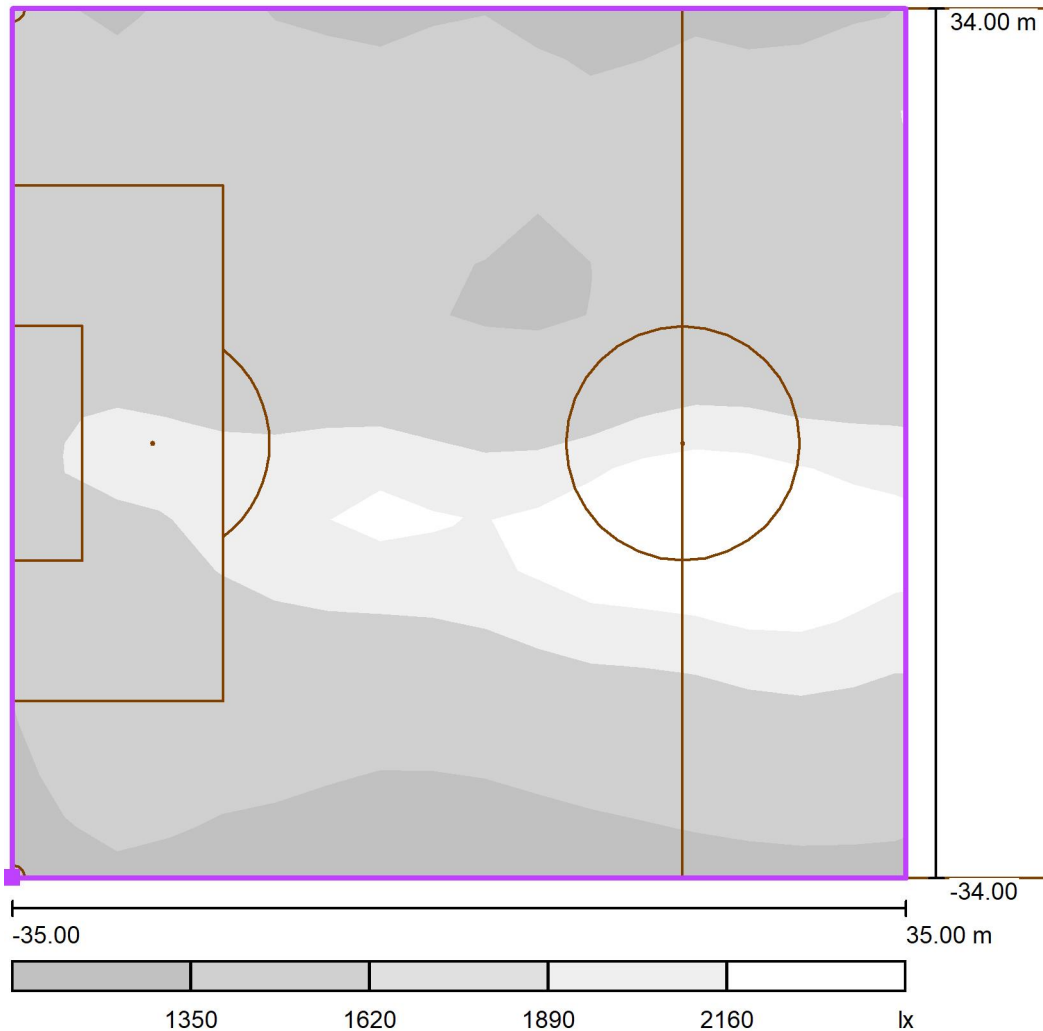
$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1675	1136	2446	0.68	0.46



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Cámara Lateral 1 / Gama de grises (E, cámara)**

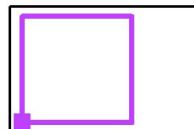


Escala 1 : 592

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)

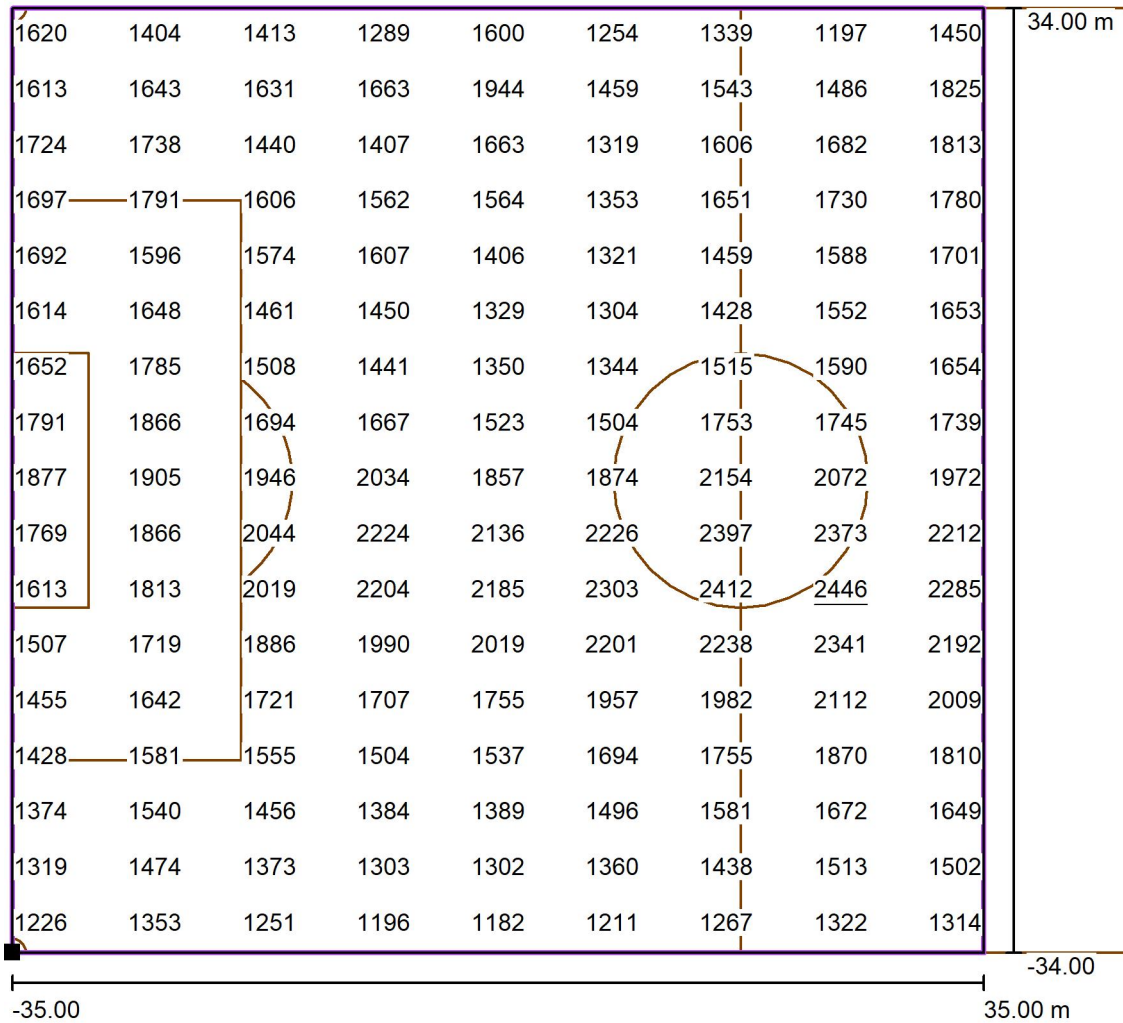
Posición de la cámara: (-26.250 m, 56.800 m, 11.500 m)



Trama: 17 x 17 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1675	1136	2446	0.68	0.46

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Cámara Lateral 1 / Gráfico de valores (E, cámara)**



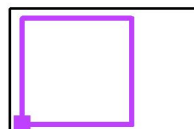
Valores en Lux, Escala 1 : 545

No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)

Posición de la cámara: (-26.250 m, 56.800 m, 11.500 m)



Trama: 17 x 17 Puntos

$E_m$  [lx]  
1675

$E_{min}$  [lx]  
1136

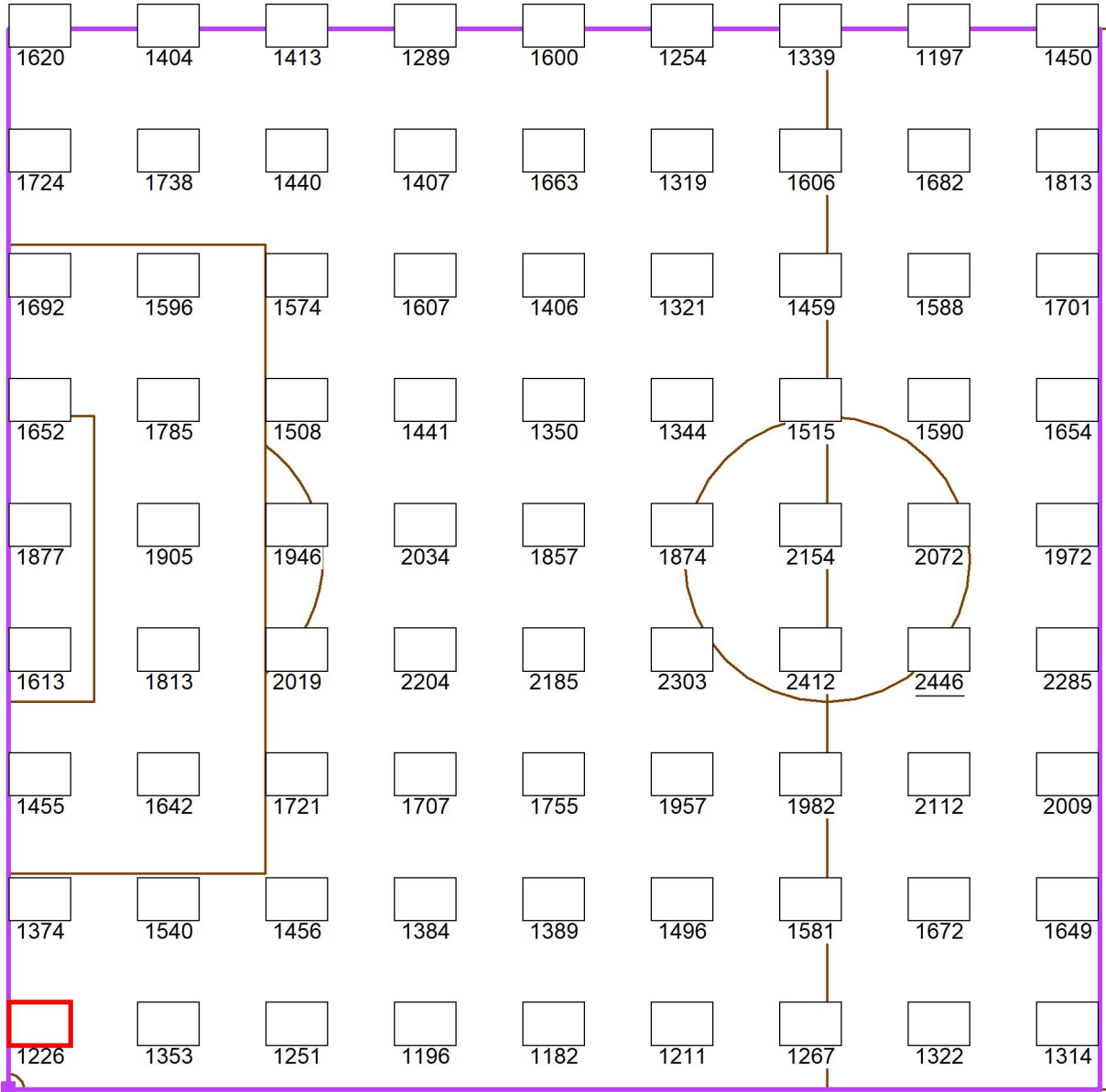
$E_{max}$  [lx]  
2446

$E_{min} / E_m$   
0.68

$E_{min} / E_{max}$   
0.46



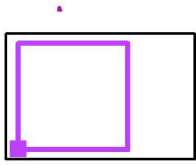
**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Cámara Lateral 1 / Protocolo de medición (E, cámara)**



Valores en Lux, Escala 1 : 444

Cantidad de puntos de medición: 9 x 9  
 Primer punto de medición (resaltado en el gráfico): (2.059 m, 2.000 m)  
 Distancia del punto de medición en X: 8.235 m, Distancia del punto de medición en Y: 8.000 m  
 Se mide desde el primer punto hacia X e Y. Los puntos de medición no necesitan ser alienados simétricamente.

Situación de la superficie en la escena exterior:  
 Punto marcado: (-52.500 m, -34.000 m, 0.000 m)  
 Posición de la cámara: (-26.250 m, 56.800 m, 11.500 m)

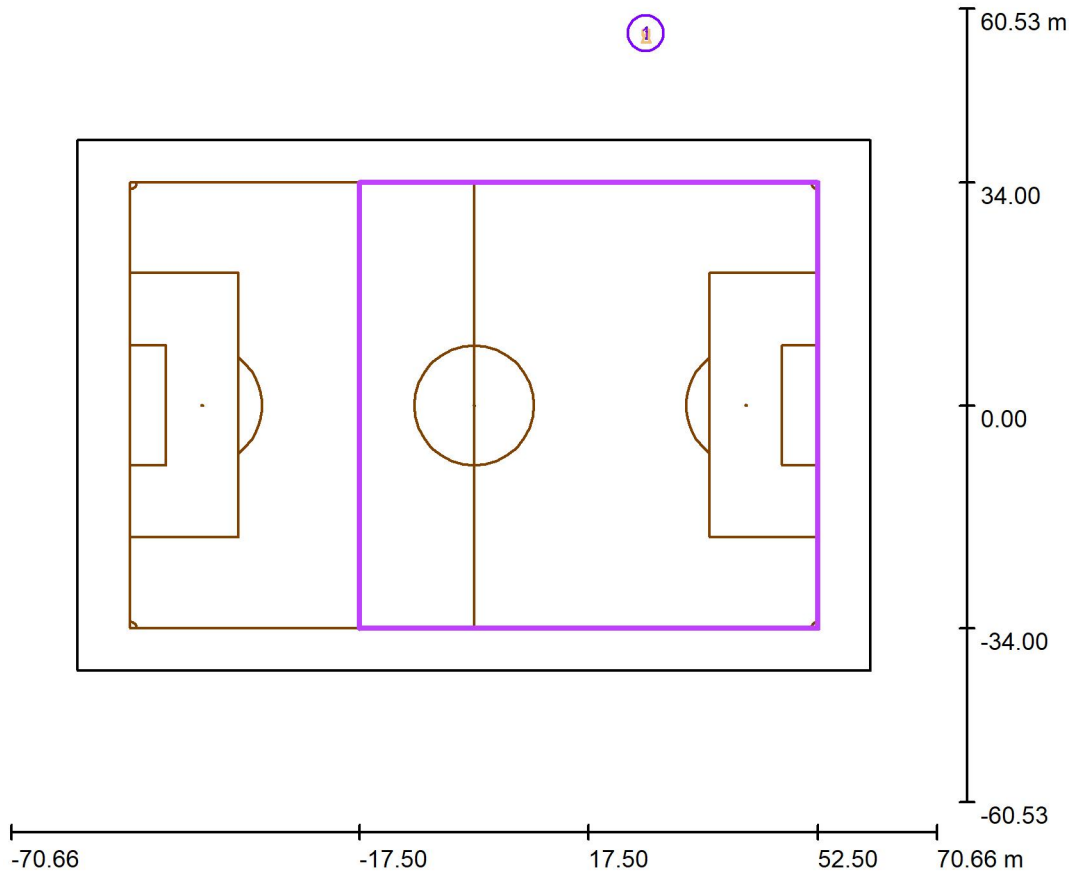




Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Cámara Lateral 2 / Resumen**



Escala 1 : 1155

Posición: (17.500 m, 0.000 m, 0.000 m)  
 Tamaño: (70.000 m, 68.000 m)  
 Rotación: (0.0°, 0.0°, 0.0°)  
 Tipo: Normal, Trama: 17 x 17 Puntos  
 Pertenece al siguiente centro deportivo: Campo de fútbol 1

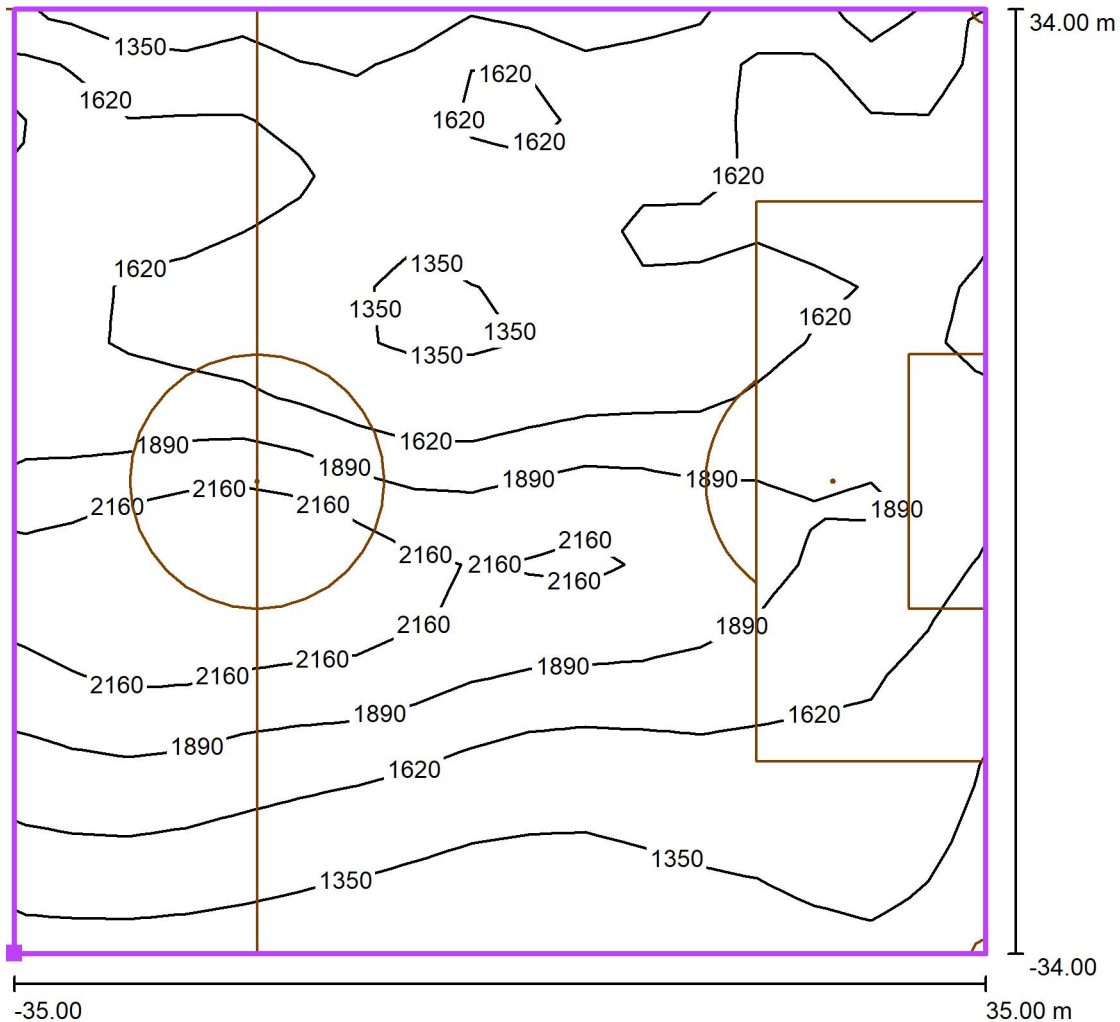
**Sumario de los resultados**

N°	Tipo	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$	$E_{h\ m} / E_m$	H [m]	Cámara
1	Cámara	1671	1151	2452	0.69	0.47	/	1.500	1

$E_{h\ m} / E_m$  = Relación entre la intensidad lumínica central horizontal y vertical, H = Medición altura

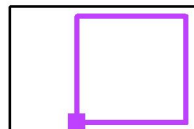


**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Cámara Lateral 2 / Isolíneas (E, cámara)**



Valores en Lux, Escala 1 : 545

Situación de la superficie en la escena exterior:  
 Punto marcado: (-17.500 m, -34.000 m, 0.000 m)  
 Posición de la cámara: (26.250 m, 56.800 m, 11.500 m)

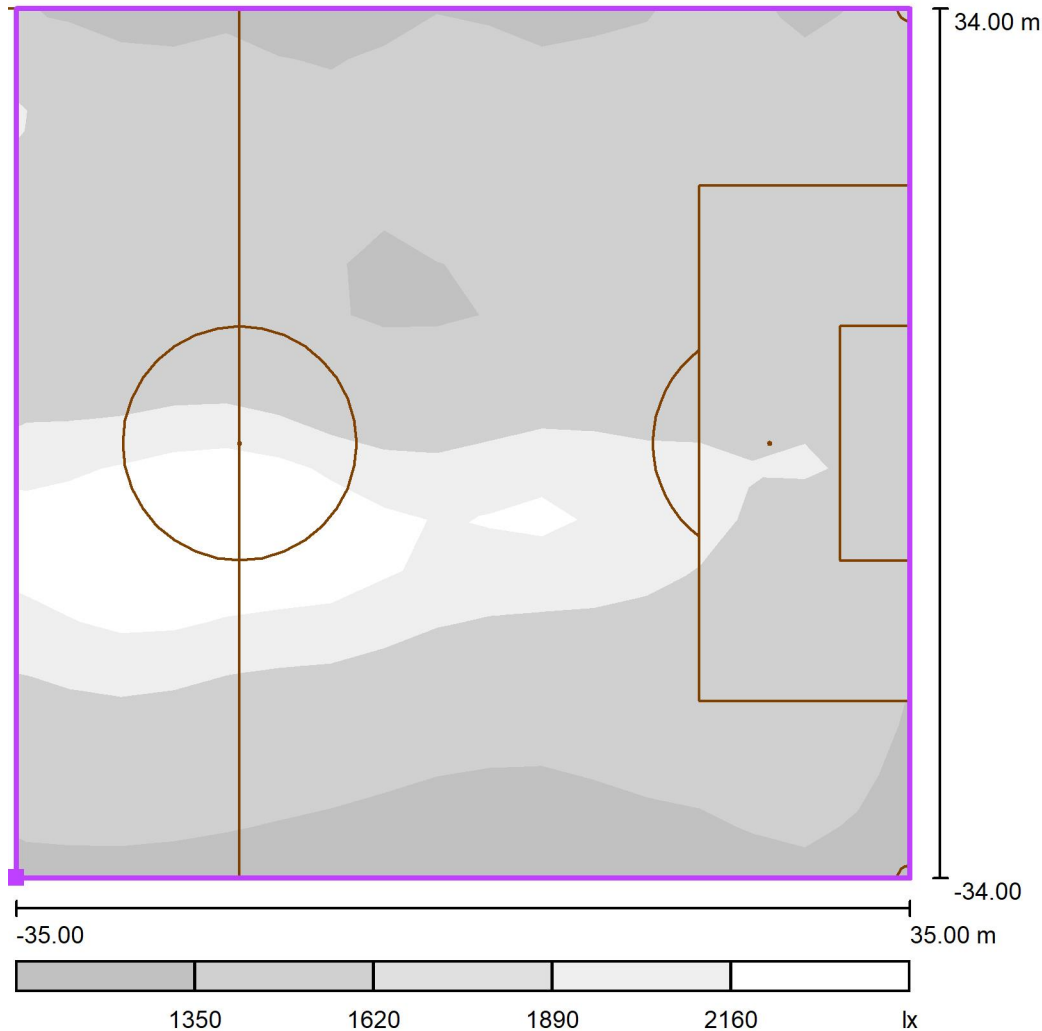


Trama: 17 x 17 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1671	1151	2452	0.69	0.47

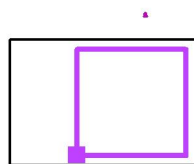


**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Cámara Lateral 2 / Gama de grises (E, cámara)**



Escala 1 : 592

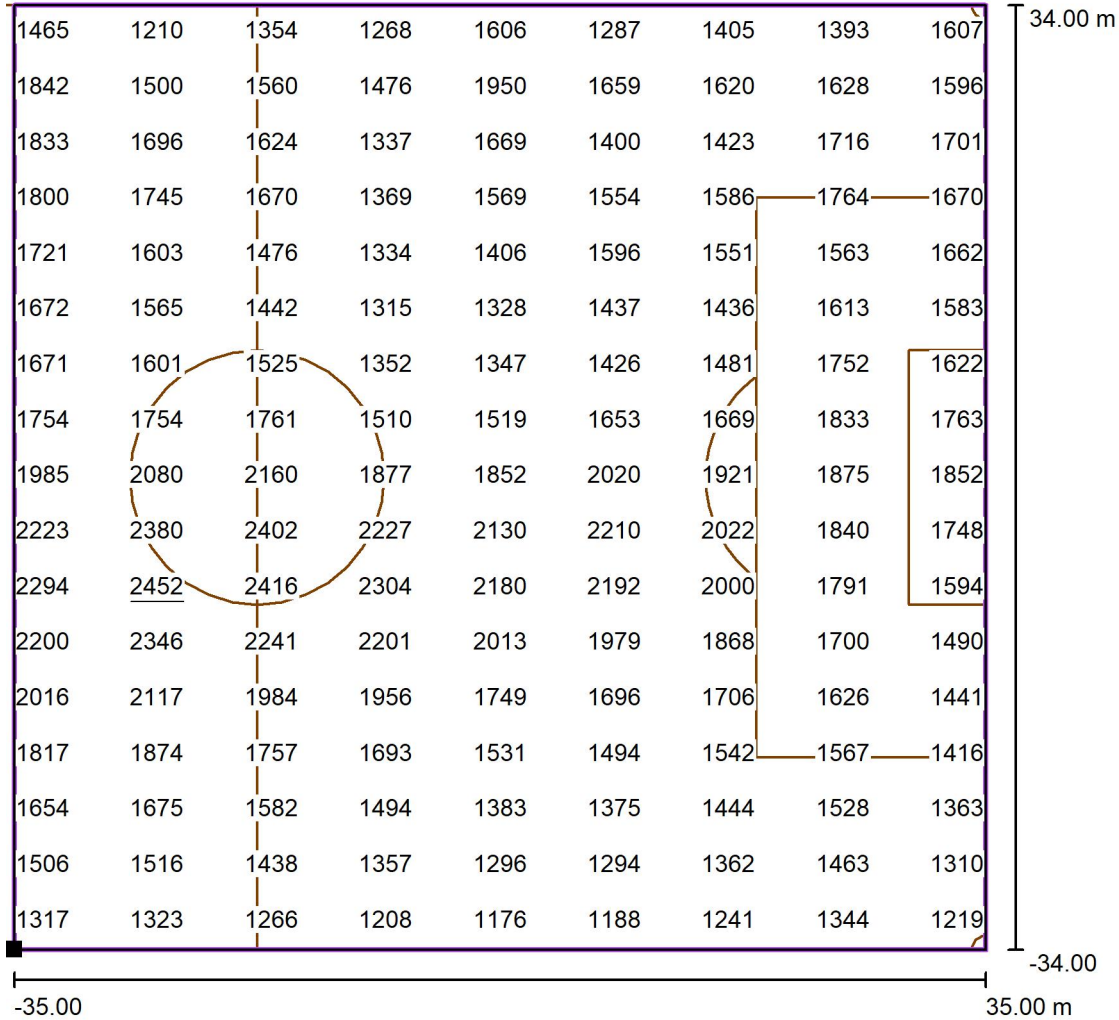
Situación de la superficie en la escena exterior:  
 Punto marcado: (-17.500 m, -34.000 m, 0.000 m)  
 Posición de la cámara: (26.250 m, 56.800 m, 11.500 m)



Trama: 17 x 17 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1671	1151	2452	0.69	0.47

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Cámara Lateral 2 / Gráfico de valores (E, cámara)**

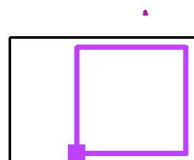


Valores en Lux, Escala 1 : 545

No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en la escena exterior:

Punto marcado: (-17.500 m, -34.000 m, 0.000 m)  
 Posición de la cámara: (26.250 m, 56.800 m, 11.500 m)



Trama: 17 x 17 Puntos

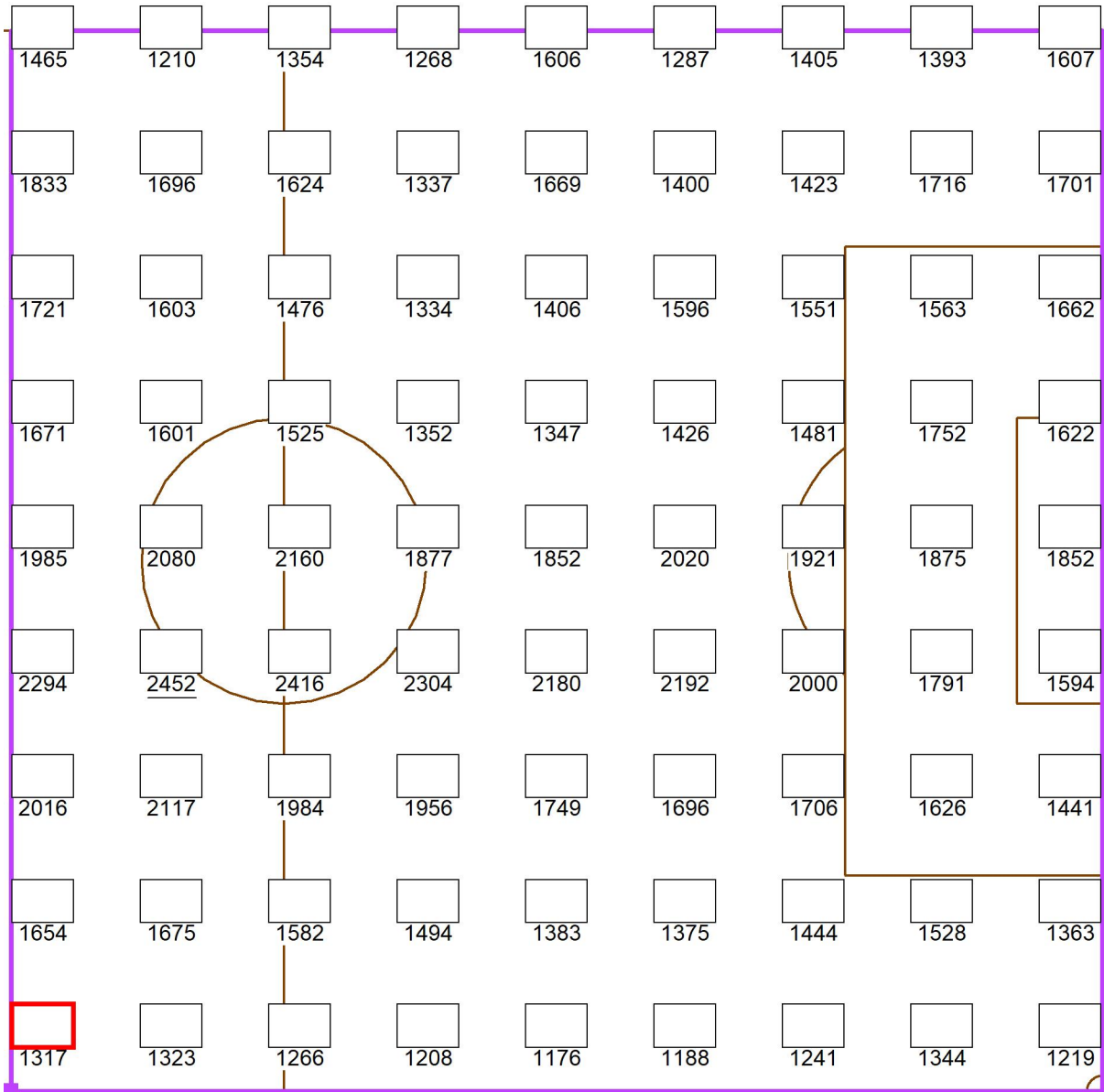
$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1671	1151	2452	0.69	0.47



Luminalia Ingeniería y Fabricación S.L.

Proyecto elaborado por Enrique Rivas Díaz  
 Teléfono 699812451  
 Fax  
 e-Mail enriquerivas.ing@gmail.com

**Carlos Tartiere / Trama de cálculo Cámara Lateral 2 / Protocolo de medición (E, cámara)**



Valores en Lux, Escala 1 : 444

Cantidad de puntos de medición: 9 x 9  
 Primer punto de medición (resaltado en el gráfico): (2.059 m, 2.000 m)  
 Distancia del punto de medición en X: 8.235 m, Distancia del punto de medición en Y: 8.000 m  
 Se mide desde el primer punto hacia X e Y. Los puntos de medición no necesitan ser alienados simétricamente.

Situación de la superficie en la escena exterior:  
 Punto marcado: (-17.500 m, -34.000 m, 0.000 m)  
 Posición de la cámara: (26.250 m, 56.800 m, 11.500 m)

