

# Auditoría de iluminación: Caso de estudio en espacios deportivos – Cancha de Tenis –

Dr. Edward Blanco, director

Departamento de Investigación, Desarrollo e Innovación  
Grupo ilumeyco, Av. Sabana Larga No.160, Reparto Oquet, Santiago, Rep. Dom.  
Tel. 1 809 583 4255 ext. 206, e-mail: e.blanco@ilumeyco.com, <https://orcid.org/0000-0002-0585-0413>, Oct. 2023

**Resumen.** En este paper se presentan los pasos a seguir para llevar a cabo la implementación de una auditoría de iluminación, aplicada a espacios deportivos y de manera particular, un caso de estudio de una cancha de tenis. La auditoría de iluminación no es más que un análisis fotométrico de un espacio en determinado, donde se necesite saber detalles sobre la iluminación percibida en el área, o en otras palabras, la caracterización de la fuente de iluminación. En general, este servicio que ofrece ilumeyco se realiza a petición del cliente, y en este caso, responde a factores puramente visuales, ya que era evidente que la iluminación en la cancha no era la adecuada. Se trata de una cancha de tenis tamaño estándar, con 6 lámparas distribuidas alrededor. La data de iluminación fue tomada en horas de la noche a partir de las 20Hrs, percibiéndose al nivel del suelo, muchos focos de poca y excesiva luz a simple vista. Este análisis podría ser extrapolado para cualquier campo, según la ocupación del área y los estándares que se deseen cumplir.

**Palabras clave:** fotometría, iluminancia, CCT, CRI, flicker, espectro de luz, uniformidad de iluminación

## 1. Introducción

ilumeyco Grupo Corporativo lleva 20 años en el mercado dominicano ofreciendo soluciones innovadoras de ingeniería, en las áreas de eléctrica, eficiencia energética, de automatización y especialmente, en el mundo de la iluminación. Una de nuestras propuestas de soluciones de alta especialización, es la auditoría de iluminación. Dicho proceso, es la clave para conocer qué tan bien iluminado está un espacio según la utilidad del mismo, a través de la medición de parámetros de calidad de la iluminación, que dentro de los límites establecidos, permiten percibir el lugar de una forma segura, confiable y acogedora. Se trata de llevar a cabo un análisis fotométrico para espacios, interiores o exteriores, donde se necesite caracterizar la

iluminación percibida en el área. Es un servicio que nos permite hacer un mapa completo sobre cómo incide la luz en este espacio y cuáles son las características de esa iluminación, por medio de la captura y análisis de más de 50 parámetros, como, por ejemplo: la iluminancia, la CCT (Temperatura de Color Correlacionada), varios índices de color, como por ejemplo el CRI (Índice de Reproducción Cromática), el Flicker (parpadeo), el espectro de color, etc. Estos son parámetros que, dentro de ciertos rangos, permiten que un espectador o jugador en nuestro caso, tenga una buena visibilidad, una sensación acogedora y una percepción de los colores reales, sin presentar problemas como el cansancio o fatiga visual [1].

En la actualidad, los métodos de iluminación artificial son cada vez más estudiados, puesto que los niveles de emisión de radiaciones ultravioletas (UV) e infrarrojas (IR) de algunas fuentes de iluminación puedan ocasionar daños a la piel y los ojos [2], además de otros problemas sobre la salud mental [3]. En tal sentido, la IES (Illuminating Engineering Society) ha definido una lista detallada sobre los niveles de luz recomendados según el espacio y la ocupación, publicada en [4].

En el análisis fotométrico, contamos con equipos especializados que pueden obtener el espectrograma de la luz incidente en el espacio en cuestión, luego, cargar la data en la nube y más adelante con el software correspondiente, obtener los parámetros antes mencionados y caracterizar la escena en materia de iluminación.

Dentro de los campos que esta tecnología puede ser utilizada, están los espacios y lugares como por ejemplo, estudios fotográficos y de televisión, agricultura en interiores, talleres de pintura automotriz, iluminación en la industria avícola, iluminaciones de fachadas, control de calidad en inspección visual de algunos rubros, por ejemplo

tabaco, pieles de animales, mostradores de cárnicos, tiendas de ropas, galerías de arte y campos deportivos bajo techo o abiertos, como es el caso de nos compete en este artículo: cancha de tenis a campo abierto.

En tal sentido, un personal experto del departamento de ingeniería de ilumeyco, en horas de la noche, se trasladó a las instalaciones del cliente con fines de realizar la auditoría de iluminación a la cancha de tenis. En general, este análisis responde a factores de sentido común y puramente visuales, que indicaban que la iluminación en la cancha no era la correcta.

En el caso especial de las canchas de tenis, deporte de alta velocidad, la iluminación debe ser lo más uniforme posible, de manera que no dificulte la visión de los jugadores, de los posibles árbitros, ni de los espectadores. Los niveles de iluminación y la dirección de la luz sobre la pelota son críticos, así como para los jugadores [5].

Este paper está estructurado de la siguiente manera: en la sección 2 se dan a conocer las fases en el desarrollo de la auditoría de iluminación: las visitas, la configuración (set-up) para las pruebas, las informaciones preliminares necesarias, las pruebas experimentales, la fase de extracción de información, la discusión, conclusión y recomendaciones para atender las oportunidades de mejoras encontradas, y finalmente en la última sección (3), se muestran las principales conclusiones sobre este estudio.

## 2. Desarrollo de la auditoría de iluminación

Con una auditoría de iluminación adecuada es posible detectar muchos defectos y fallas en los sistemas de iluminación de espacios, tales como: bajo nivel de luz, baja uniformidad de iluminación, temperatura de color inadecuada, baja eficiencia energética, flickers y fluctuaciones en la iluminación. Para desarrollar la auditoría, es llevado a cabo un proceso que consta de seis fases:

- a) Visitas a la instalación
- b) Inspecciones visuales y análisis de luminarias
- c) Entrevistas con los responsables de la instalación
- d) Instalar el sistema de captación de datos
- e) Análisis de datos y extracción de información
- f) Presentación de informe técnico

Entre las herramientas y materiales necesarios para llevar a cabo la auditoría, se encuentran: flexómetros (cinta métrica clásica, de tela y medidor digital Láser), un dispositivo móvil con comunicación inalámbrica Bluetooth y GPRS, y finalmente el equipo espectrofotómetro con GPS incorporado, siendo este último, el elemento clave en el desarrollo de este proceso.

### 2.1. Visita a la instalación

Una vez que hemos recibido la solicitud de auditoría de iluminación, procedemos a realizar una visita al cliente. En este caso, se contaba con la información previa de que cuando la cancha de tenis era utilizada durante la noche, siendo esta una cancha a campo abierto, la misma no tenía buena visibilidad. En tal sentido, programamos la visita en horas de la noche, entre las 20:00 y 21:00 horas. La idea principal de la visita es conocer el espacio a auditar, levantar información tanto técnica como no técnica sobre la situación de la iluminación de la cancha. Este paso es vital para saber con qué se cuenta y cómo nuestro estudio puede incidir según las recomendaciones finales al momento de terminar la auditoría.

En la Fig. 1 se muestra la apariencia de la cancha de tenis desde Google-maps, además, está superpuesto el sistema cartesiano de referencia, (x, y) pensado para este análisis.

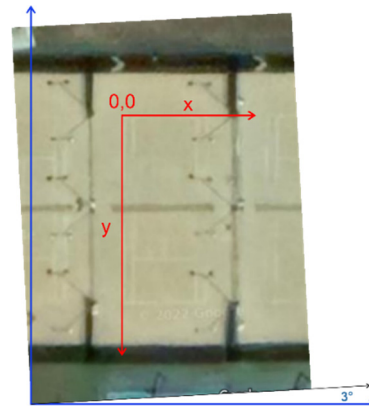


Fig. 1. Imagen satelital la cancha de tenis a ser auditada. Muestra el sistema de referencia: plano (x, y).

Se trata de una cancha de tenis de tamaño estándar ubicada entre otras dos, destinada para juegos de recreación y partidos menores, ya que no cuenta con gradas, pero en general, su mayor uso es por las noches durante los días de semana. En este caso, el

uso de la georreferenciación por medio del GPS incorporado en nuestro espectrofotómetro no fue necesaria, ya que el área a cubrir no era tan extensa.

## 2.2. Inspecciones visuales y análisis de luminarias

Realizando la inspección visual y llevando a cabo ciertas mediciones geométricas, a grosso modo pudimos observar, que a pesar de tener seis lámparas encendidas distribuidas alrededor, la iluminación de la misma era pobre y poco uniforme. Lo anterior es justificado, debido a la cantidad de sombras y focos de luces que se podían percibir al nivel del suelo en la cancha. En la Fig. 2 puede observarse el aspecto original de la cancha al momento de hacer el levantamiento de información.

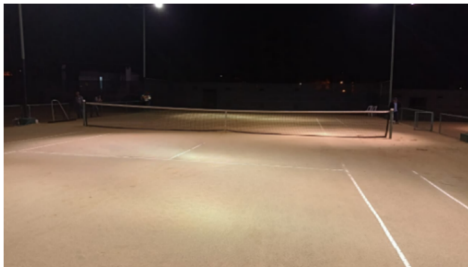


Fig. 2. Aspecto original de la cancha iluminada por la noche, justo al momento de realizar el proceso de levantamiento de información. A simple vista puede observarse la poca uniformidad en su iluminación.

También se pudo observar que las lámparas no estaban orientadas de manera constante a lo largo de la cancha, lo que pronunciaba aún más la desigualdad en la iluminación, produciendo puntos con muy poca iluminación. Por el contrario, también se encontraban otros puntos con extrema iluminación (brillos), posiblemente por ser lámparas con una difusión luminosa incorrecta para tales fines. Las lámparas son de una potencia de 1000w del tipo HID (High-Intensity Discharge), pudiendo ser, HPS (High Pressure Sodium) o Metal Halide. Esta información no la pudimos precisar, pero físicamente son del estilo de la Fig. 3.



Fig. 3. Aspecto de las lámparas HID encontradas en la cancha.

Las lámparas están distribuidas de manera equidistantes, tres en cada lado de la cancha. Se tomaron las medidas de dimensiones de la cancha, la separación entre postes y la altura de los postes, resultando una altura de 9.5m.

Debido a la poca uniformidad de la iluminación, en esta fase, se tomó la decisión de colocar el equipo de captura de datos, no solo en los puntos de muestreo, sino también en los puntos de más brillo.

## 2.3. Entrevistas con el personal responsable

En esta fase, se trata de tener una idea general sobre las necesidades que llevaron a los clientes a solicitar la auditoría de iluminación, por lo que casi siempre, se hacen algunas preguntas relacionadas. Por ejemplo, en este caso, se formularon las siguientes:

- Hay percepción de que la iluminación en la cancha es inadecuada?
- Han tenido quejas de los jugadores acerca de la calidad de luz percibida?
- Han tomado alguna medida para mitigar el efecto de los problemas de iluminación en la cancha?
- Qué tipo de torneos se pueden llegar a celebrar en esta cancha?
- En algún momento, un partido podría requerir que sea transmitido en televisión?

En este caso, las respuestas para estas preguntas fueron: a) sí, b) sí, c) sí, han cambiado las lámparas, d) torneos amateurs, y la e) no.

En general, para aquellos clientes que tienen mayor conocimiento sobre la materia, se hacen preguntas relacionadas al cumplimiento de alguna norma o estándar deseado. Según la normativa europea para iluminación deportiva EN-12193:2008, existen tres tipos de canchas según las competiciones:

Clase I - Torneos nacionales e internacionales de alto nivel, siempre y cuando no sean televisados. En este caso, por ser espacios de gran aforo, es necesario una estructura con distancias de visualización largas y muy buena iluminación.

Clase II - Torneos de nivel medio. Generalmente son canchas donde se celebran competiciones de clubes locales o regionales. Casi siempre la cantidad de

espectadores es de media a baja. Se pueden colocar más cerca de la pista, así que las distancias de visualización son menores.

Clase III - Partidos de bajo nivel, tales como competiciones de clubes pequeños o de la localidad. En general estos partidos se juegan sin espectadores o con un número muy reducido de ellos. En esta categoría se incluyen los entrenamientos escolares y generales, así como partidos con fines meramente recreativos.

Una vez establecido el contacto con el personal responsable y revisadas las condiciones de la cancha en cuestión, podemos concluir que la categoría de la misma a efectos de hacer la auditoría, es una de Clase III.

#### 2.4. Instalación del sistema de captura de datos

Instalar el sistema de captura de datos, no es más agotar un proceso de colocación del equipo de medida de calidad de la iluminación en varios puntos de muestreo espacial, en el área de interés de la cancha.

##### 2.4.1. Espectrofotómetro

Nuestro dispositivo clave de medición es el espectrómetro/fotómetro, el cual puede medir una gran cantidad de variables que caracterizan la fuente de luz en cuestión (más de 50 parámetros). Es un dispositivo de última generación, siendo capaz de trabajar de manera autónoma y remota, registrando todas las variables de interés, con capacidad de enviarlas directamente a la nube. Entre estas variables, tenemos principalmente:

- Medición de la iluminancia de cada punto
- Medición de CCT
- Medición del CRI y otros índices de color
- Medición del índice y frecuencia de flicker
- Medición del espectro de color

En el encabezado de las Tablas 1 y 2 se pueden observar los parámetros fotométricos más relevantes a ser evaluados en la escena (cancha de tenis).

##### 2.4.2. Rejilla de muestreo

El análisis fue llevado a cabo haciendo un muestreo espacial (puntos) en toda el área de interés haciendo una rejilla o cuadrícula. La idea es hacer una medición

de iluminancia horizontal, siendo el suelo, el nivel de referencia de la cuadrícula.

Las medidas de una cancha de tenis estándar para juego de dobles son dadas según el área de juego principal, (PPA, Principal Playing Area) cuyas medidas son invariables, de 23.78m x 10.97m, sin embargo, el espacio por fuera de este cuadro principal, que define el área total de juego (Total Playing Area, TPA) puede variar dependiendo del nivel de juego de la cancha. Las dimensiones del TPA de nuestra cancha, por ser usada en actividades recreativas, se fijaron en 17.07m x 34.74m [6]. Un trabajo que propone tomar las medidas cada 5m en ambas direcciones, es decir, tomar una muestra para un área de 25m<sup>2</sup> en una cancha de entrenamiento de alto nivel, se muestra en [7]. En nuestro caso, considerando el TPA = (17.07x34.74) = 593m<sup>2</sup>, el número de puntos sería:  $M = 593/25 = 23.7$ . Nosotros utilizamos 24 puntos, donde por cada uno, se tomaron 5 muestras, para un total de 120 muestras de iluminación en la superficie de la cancha (al nivel del suelo). Por un tema práctico, se tomaron 18 puntos, dentro del PPA (mostrados en puntos azules en la Fig. 4), y los otros 6 puntos, en los focos de más brillo. Por ejemplo, la LTA (Law Tennis Association) de Reino Unido, para interiores propone 15 puntos para el PPA y 35 para el TPA [8].

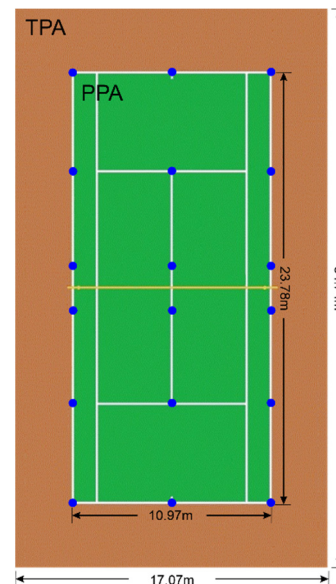


Fig. 4. Dimensiones de una cancha de tenis de dobles usada para recreación. Se muestra además la localización de los 18 puntos de muestreo del PPA (puntos azules).

En la siguiente figura (Fig. 5) puede verse parte de nuestro personal técnico tomando las medidas. Así mismo, en el suelo puede apreciarse el dispositivo de captura de información utilizado en las medidas puntuales. En esta imagen, la captura de información corresponde a los puntos de más brillo a nivel del suelo dentro de la cancha.



Fig. 5. Uno de nuestros técnicos en el proceso de levantamiento de información con el dispositivo de mando bluetooth. En la foto se muestra el proceso captura de iluminación en uno de los puntos de mayor incidencia de luz por parte de una de las lámparas. Se observa además el espectrofotómetro a nivel del suelo.

## 2.5. Análisis de datos y extracción de información

Una vez llevada a cabo la toma de datos por parte del equipo de medición y el levantamiento de información, realizamos el procesamiento y análisis de datos en nuestro laboratorio, en pos de obtener información de valor. En la siguiente tabla se muestra el promedio de las 5 muestras por cada punto. Los parámetros fotométricos que se muestran, son los más importantes a efectos de tener una buena iluminación en estos casos de espacios deportivos al aire libre.

Tabla 1. Muestra de los parámetros principales capturados. Las coordenadas están dadas en metros (m).

Puntos	Coordenadas		CCT(K)	CRI(Ra)	Iluminancia	
	y	x			lux	foot-candle
1	0	0	4120	49	128	11.9
2	5.49	0	4105	61	63	5.8
3	11.3	0	4191	64	90	8.3
4	12.5	0	4214	64	97	9
5	18.3	0	4076	64	133	12.4
6	23.8	0	3893	62	505	47
7	0	5.485	3926	58	221	20.6
8	5.49	5.485	3937	63	155	14.4
9	11.3	5.485	3807	66	165	15.3
10	12.5	5.485	3899	66	204	18.9
11	18.3	5.485	4154	62	424	39.4
12	23.8	5.485	4032	65	309	28.7
13	0	10.97	4121	64	116	10.8
14	5.49	10.97	4023	64	118	11
15	11.3	10.97	3740	65	789	73.3
16	12.5	10.97	3574	65	737	68.5
17	18.3	10.97	4082	67	204	18.9
18	23.8	10.97	3815	63	418	38.8
19	2.35	4.259	4683	42	935	86.8
20	3.78	6.694	4225	54	492	45.7
21	11.1	9.641	4266	56	1896	176.1
22	17.7	5.949	4537	50	810	75.2
23	20.9	7.354	4327	56	787	73.1
24	22.4	2.336	4434	53	965	89.7
<b>Promedio =</b>			<b>4091</b>	<b>60.125</b>	<b>448</b>	<b>41.65</b>

De la tabla se pueden observar los valores promedio (average) de todos los puntos (en color verde), como resultado de la caracterización de la cancha, tales como: Temperatura del Color (CCT)= 4,091K; la iluminancia promedio, Eave=448 lux (en foot-candle 41.65) y finalmente, el CRI (Ra) = 60.125. Con estas medidas, podemos decir, que el nivel de iluminación medio en la cancha es correcto (448 lux), sin embargo podemos ver como los valores máximo (en color magenta) y mínimo de iluminación (en color naranja) son extremadamente diferentes (63 vs 1896), haciendo esto que la uniformidad de iluminación sea muy baja. Incluso a simple vista, en el proceso de medición en nuestra visita, pudimos darnos cuenta de la baja uniformidad de la iluminación en el suelo de la cancha (ver figura 2).

En la Tabla 2 se muestran otros valores obtenidos de la captura. Tenemos el llamado índice de consistencia de iluminación en televisión (TLCI, Television Lighting Consistency Index) [9] que no es más que otro índice de color que le permite percibir aun mayor invariancia del color para cuando los partidos de tenis fueran a transmitirse por televisión. Más adelante veremos que este resultó un valor bajo de 21.54. Se muestra además, el porcentaje de Flicker (parpadeo) = 51.5%, el índice de Flicker = 0.1646 y finalmente la frecuencia de Flicker =120Hz.

Tabla 2. Muestra de otros parámetros capturados

Puntos	Coordenadas		TLCI(Qa)	Flicker		
	y	x		%	Index	Freq(Hz)
1	0	0	14	57	0.19	120
2	5.49	0	22	51	0.17	120
3	11.3	0	25	51	0.16	120
4	12.5	0	25	53	0.17	120
5	18.3	0	25	53	0.17	120
6	23.8	0	22	53	0.17	120
7	0	5.485	19	50	0.16	120
8	5.49	5.485	24	50	0.16	120
9	11.3	5.485	27	54	0.17	120
10	12.5	5.485	27	54	0.18	120
11	18.3	5.485	22	53	0.17	120
12	23.8	5.485	25	51	0.16	120
13	0	10.97	23	51	0.16	120
14	5.49	10.97	24	47	0.14	120
15	11.3	10.97	24	45	0.14	120
16	12.5	10.97	24	45	0.14	120
17	18.3	10.97	27	38	0.11	120
18	23.8	10.97	22	46	0.14	120
19	2.35	4.259	11	65	0.23	120
20	3.78	6.694	17	52	0.16	120
21	11.1	9.641	18	53	0.16	120
22	17.7	5.949	15	51	0.16	120
23	20.9	7.354	19	54	0.18	120
24	22.4	2.336	16	59	0.2	120
<b>Promedio =</b>			<b>21.54167</b>	<b>51.5</b>	<b>0.1646</b>	<b>120</b>

Por otro lado, simplemente observando la forma del espectro de iluminación de una de las muestras tomada como referencia (Fig. 6), podemos darnos cuenta que las lámparas usadas, del tipo HID como

mencionamos al inicio, son justamente del tipo Metal Halide ya que tiene una gran similitud con el espectro típico de salida de este tipo de lámpara, incluso se puede observar el pico en los 583nm aproximadamente [10]. Estas lámparas son muy eficientes, aunque no tanto como las LED, presentan un tiempo de vida útil bajo en comparación y un complejo sistema de direccionamiento de la luz por lo que son necesarios reflectores. Una comparativa que pone de manifiesto las ventajas del uso de luminarias LED en comparación con Metal Halide, se puede ver en [11].

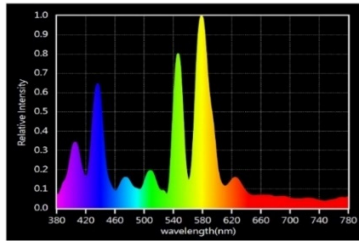


Fig. 6. Muestra del espectro fotométrico de una de las muestras. En su forma podemos apreciar que pertenece a la familia Metal Halide.

Finalmente, tomando las coordenadas espaciales (x, y) y los valores de iluminación data de la Tabla 1, pudimos generar un mapa de superficie de la iluminación, donde los ejes (x, y) representan la posición del plano (ancho, largo), y el eje z (altura) representa el nivel de iluminancia (lux). Esta curva de superficie, mostrada en la Fig. 7, viene a demostrarnos visualmente lo mal que está la uniformidad en la iluminación de la cancha, sin necesidad de tenerla presente.

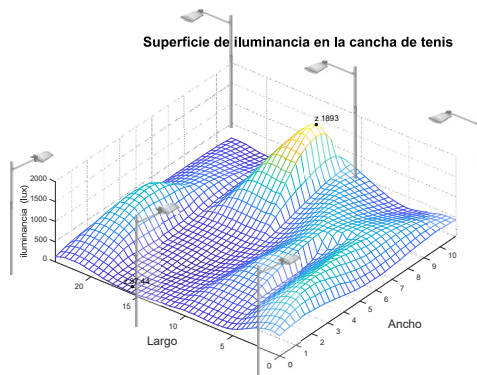


Fig. 7. Superficie de iluminación de la cancha de tenis (curva de interpolación). Los ejes son: Ancho = x, Largo = y, (en metros), la altura, z, (eje vertical) representa el nivel de iluminancia. El color azul oscuro indica los niveles más bajos. Se muestra el punto más bajo:  $z=37.44\text{lux}$ , y el punto con mayor valor:  $z=1,893\text{lux}$ . La superficie se aprecia notablemente deformada, indicando esto su poca uniformidad.

## 2.6. Informe técnico

Este informe se redacta y se entrega al cliente, a efectos de dar a conocer los principales hallazgos del análisis, tomando en cuenta las informaciones preliminares, las pruebas experimentales realizadas en el espacio deportivo, así como las conclusiones y recomendaciones al respecto en caso de encontrar alguna falla o alguna no conformidad. A continuación, se presentan la discusión, conclusiones y recomendaciones de este caso de estudio.

### 2.6.1. Discusión del caso

Como ya hemos mencionado, según la normativa europea, en el proceso de iluminar espacios deportivos, existen tres clases de niveles y requisitos de iluminación, dependiendo del propósito del uso de la cancha deportiva. Además, ya hemos asumido que la actividad deportiva de la cancha en cuestión es para recreación y entrenamiento, además de que los partidos no serán televisados. En tal sentido, podemos pensar que la iluminación adecuada para esta cancha no necesita tanta potencia, ni tanta precisión en la percepción de los colores. Por ejemplo, si tomamos la norma española UNE-EN 12193 "Iluminación de instalaciones deportivas" y sabiendo que la cancha de tenis se encuentra al aire libre, la iluminación de la misma debe cumplir al menos los parámetros de la Clase III (como mencionamos en la sección 2.3) Estos valores, encerrados en color rojo en la Tabla 3, son los parámetros que serán usados como referencia en esta auditoría de iluminación.

Tabla 3. Parámetros de iluminación en espacios deportivos al aire libre según el estándar español UNE-EN 12193.

Level	Horizontal illuminance	Uniformity of illuminance	Lamp colour temperature	Lamp colour rendering	Glare
	(Eh average (lux))	(Emin/Eh ave)	(K)	(Ra)	(GR)
I	>500	>0.7	>4000	>80	<50
II	>300	>0.7	>4000	>65	<50
III	>200	>0.7	>2000	>20	<55

En tal sentido, tomando como referencia lo antes dicho, podemos decir que el nivel de iluminación promedio en nuestra cancha es correcto, ya que resultó de 448 lux vs 200 lux de la tabla. La temperatura del color también es la indicada, ya que  $4,091\text{K} > 2,000\text{K}$ , aunque en [12] se recomienda estar dentro de un rango 4,000K and 6,500 K, es decir, que en lugar de ubicarse en el límite

inferior, pudiera estar más centrado, por ejemplo en 5,000K.

Veamos ahora qué pasa con la uniformidad. Para obtenerla debemos recurrir a los datos de la Tabla 1. En general, se pueden obtener diferentes parámetros de uniformidad, pero uno de los más usados resulta del cociente de dividir la iluminancia mínima sobre la iluminancia promedio, tal que,

$$U = (E_{\min}/E_{\text{ave}}) = 63/448 = 0.14$$

Dando como resultado una uniformidad tremendamente baja. Como se puede apreciar, estamos ante el principal problema de la iluminación de la cancha de tenis actualmente: la baja uniformidad, ya que  $0.14 \ll 0.7$  de la Tabla 3. Un ejemplo de estudio de iluminación para una cancha de tenis por medio de cuatro lámparas, cuyos resultados ofrecen una iluminancia media de  $E_{\text{ave}}=397\text{lux}$ , y una uniformidad,  $U = 0.81$ , puede verse en [13].

Por otro lado, el CRI es la capacidad de tener una fuente de luz de proporcionar una percepción de colores similar a la que se tendría si el objeto fuera iluminado por la luz solar. Se obtiene con 8 patrones predefinidos de colores, usando el ojo humano como discriminador de los mismos, frente a la luz solar: CRI(Ra) [14]. El CRI(Re) indica que es un CRI extendido, ya que además de los 8 patrones anteriores, llega hasta el 15. Una fuente de iluminación que tenga buena reproducibilidad de color, tendría un CRI(Ra) > 85. Para la Clase II el CRI(Ra) medido de nuestra cancha de tenis estaría por debajo del estándar  $60 < 65$ . Para la Clase III estaríamos cubiertos ya que  $60 > 20$ , aunque en las instalaciones actuales, por lo general se trata de que el CRI llegue a 60 como promedio [15].

Como ya hemos mencionado, si los partidos fueran a transmitirse por televisión, la iluminación debería también tener una particularidad que le permita una mayor invariancia del color, una vez las imágenes sean captadas por las cámaras de video (parámetro TLCI). Este es un valor que va de 0-100, donde un TLCI > 70 indica que la escena puede ser corregida y transmitida, y un TLCI < 25 es imposible de corregir. En nuestro caso, puesto que no está estipulado la transmisión de los partidos por televisión, este dato no es relevante, aunque en este paper se presenta como dato curioso, siendo 21.5 un valor muy bajo.

Otro parámetro a tomar en cuenta es el flicker o parpadeo. Este generalmente es producido por los

picos de la forma de onda del voltaje que llega en la línea de servicio, ya que es la proporción en que un pico de iluminación se excede en comparación con la media. Puesto que la onda de voltaje posee dos picos en un ciclo de 60Hz (sistema americano), la frecuencia de los flickers por lo general es de 120Hz. Los flickers pueden causar distracciones tanto para los jugadores como para los espectadores, e incluso una pequeña cantidad de flicker puede arruinar una transmisión de video. El nivel y la frecuencia del flicker también están asociados a una serie de problemas para la salud, como la fatiga visual, astenopia, migraña, etc. En caso de transmisiones de televisión este debe ser menor al 3%, pero en caso general, su valor no debe exceder el 10% a una frecuencia de 120Hz según el estándar IEEE [16]. De acuerdo a nuestras medidas, el flicker de la cancha de tenis resulta muy elevado, ya que  $51.5\% \gg 10\%$ . Un estudio donde pueden verse los niveles típicos de flicker para cada tipo de lámpara es dado en [17].

## 2.6.2. Conclusiones del caso

Según los resultados arrojados por el análisis de los datos adquiridos en el proceso de levantamiento de información, se concluye que, esta cancha de tenis está iluminada de manera incorrecta. A pesar de que la iluminación promedio de la misma es de 448 lux, por encima del valor según el estándar europeo para la Clase III, la uniformidad de dicha iluminación es tremendamente baja: 0.14 vs 0.7 del estándar. Este fenómeno hace que sea muy difícil seguir la pelota a alta velocidad al momento de utilizar la cancha. Nótese que la diferencia de iluminación es muy grande, incluso hay puntos donde la iluminación es tan baja como 37 lux y tan alta como 1,893 lux.

Se concluye, además, que aunque el CRI(Ra) de la iluminación actual es aceptable, (60), puede ser mucho mejor al estilo de las instalaciones deportivas actuales que rondan por encima de 65.

Finalmente, el porcentaje de flicker (%F) que actualmente tiene la cancha es tremendamente elevado en comparación con lo recomendado para que la vista no se cansa:  $51.5\% \text{ vs } 10\%$ .

La mala iluminación en la cancha se debe a dos factores principalmente:

- 1) Uso de luminarias con unas características fotométricas incorrectas,

2) Una inadecuada instalación de las luminarias, ya que poseen una mala orientación (ángulo vertical y horizontal).

Entendemos, que el diseño de un nuevo sistema de iluminación para la cancha sería la solución a los problemas de iluminación que ya hemos visto, o en su defecto, hacer un *retrofit* utilizando los mismos postes, cambiando las luminarias. Esta nueva propuesta, incluiría el uso de luminarias LED, acompañadas del estudio fotométrico correspondiente del área de estudio, considerando todas las variables físicas importantes, como la separación entre postes, la altura de los mismos y los estándares ya vistos.

Existen diversas razones para iluminar una cancha de tenis con iluminación LED, como por ejemplo, el ahorro energético, menor costo de mantenimiento, una luz de mayor calidad [18]. El uso de tecnología LED produce múltiples beneficios, principalmente con el tiempo de vida útil que puede llegar a ser hasta 7 veces que el de las de Metal Halide, y por consiguiente, el tiempo de garantía es por lo general 5 veces mayor. Otra ventaja es que ya el CRI(Ra) de la iluminación LED, por defecto, es superior a 65. La ventaja final, pero no menos importante, es que como las luminarias LED llevan un circuito electrónico incorporado que toman el voltaje AC de línea y lo acondiciona, permite que los niveles de flicker sean muy reducidos, de aproximadamente 2.8%, incluso por debajo del máximo recomendado por el estándar de 10%.

Por otro lado, con el uso de lámparas LED, la distribución fotométrica de las mismas (según sus reflectores naturales), sumado a la distribución geométrica del conjunto de estas lámparas (resultante del diseño) y la potencia luminosa asociada, permitiría obtener una iluminación adecuada con mucha más uniformidad:  $U > 0.7$ , un  $CRI > 60$ , un  $CCT > 4,500K$  y un  $\%F < 10\%$ .

### 2.6.3. Recomendaciones del caso

Puesto que es evidente que han tratado de solventar el problema de iluminación de la cancha, cambiando lámparas y modificando ángulo de giro de las mismas, nuestra recomendación es solicitar el diseño de un proyecto de iluminación para la cancha, evidentemente con el uso de luminarias de última generación tipo LED.

## 3. Conclusiones

Un caso de estudio sobre el desarrollo de una auditoría de iluminación en espacios deportivos ha sido presentado. En particular, el caso de estudio se trata de examinar las condiciones actuales de iluminación que posee una cancha de tenis en exteriores de uno de nuestros clientes.

Como se pudo observar, cada fase es de suma importancia, desde el levantamiento de informaciones no técnicas, hasta la entrega del informe técnico final, para poder generar valor en las conclusiones y recomendaciones sobre cómo se encuentra el estado real de la iluminación del espacio, y como podemos mejorarla, siempre tomando en cuenta los estándares que aplican en cada caso. En general, en nuestros análisis se toman en cuenta más de 25 estándares internacionales de Reino Unido, Estados Unidos, Francia y España en la redición de conclusiones y recomendaciones en nuestras auditorías de iluminación.

Según las observaciones y recomendaciones derivadas de la auditoría de iluminación, a solicitud del cliente, nuestro personal experto del Departamento de iluminación, puede proponer soluciones orientadas a resolver, mejorar o adecuar el sistema de iluminación, en caso de encontrar anomalías, fallos, o no conformidades según los estándares aplicables. En tal sentido, en ilume yco contamos tanto con una diversidad de elementos de iluminación LED, como con el personal y la tecnología para ofertar soluciones de proyectos de iluminación eficiente, además de que con nuestro departamento de investigación, desarrollo e innovación, I+D+i, podemos abordar proyectos de especificación de iluminación especial para lugares de trabajo específicos, en procesos de inspección visual en estaciones de control de calidad, según las necesidades identificadas en la auditoría y los requerimientos del cliente. Actualmente, este desarrolla diferentes líneas de investigación, y entre ellas, está la de "Sistemas de diagnóstico y auditoría de iluminación" [19]. En nuestro laboratorio, contamos con diferentes herramientas, equipos y capital humano cualificado para trabajar los proyectos en carpeta sobre esta materia.

Se recuerda que actualmente el Grupo ilume yco es representante comercial del grupo Acuity Brands, conglomerado más importante de fabricantes de sistemas de iluminación en Estado Unidos. Para más



información sobre nuestros departamentos ingrese a nuestra web [www.ilumeyco.com](http://www.ilumeyco.com).

## Referencias

- [1]<https://iluminet.com/calidad-iluminacion-ies-iald/>
- [2][https://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/opinions\\_layman/artificial-light/es/index.htm](https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/artificial-light/es/index.htm)
- [3]<https://ciluz.cl/como-afecta-la-iluminacion-a-la-salud-mental-en-el-lugar-de-trabajo/>
- [4]<https://www.modern.place/ies-recommended-lighting-levels/>
- [5]<https://luxes.es/iluminacion-en-pistas-de-tenis/>
- [6][https://www.csd.gob.es/sites/default/files/media/files/2018-10/TEN\\_Tenis\\_2016\\_Edicion.pdf](https://www.csd.gob.es/sites/default/files/media/files/2018-10/TEN_Tenis_2016_Edicion.pdf) <https://amss.co.uk/tennis-court-size/>
- [7] [https://www.editores-srl.com.ar/revistas/lu/141/deco\\_guia\\_para\\_iluminar](https://www.editores-srl.com.ar/revistas/lu/141/deco_guia_para_iluminar)
- [8]<https://www.lta.org.uk/4acc6c/siteassets/in-your-area/tennis-scotland/file/lta-indoor-tennis-structure-guidance.pdf>
- [9]<https://www.videomaker.com/article/c03/18602-understanding-cri-tlci-the-importance-of-color-rendition/>
- [10][https://en.wikipedia.org/wiki/Metal-halide\\_lamp](https://en.wikipedia.org/wiki/Metal-halide_lamp)
- [11]<https://www.stouchlighting.com/blog/led-lights-versus-metal-halide>
- [12]<https://www.lighting.philips.com/main/support/connect/lighting-technology/lighting-design-and-quality/sports-lighting-key-considerations>
- [13]<https://www.thornlighting.com/download/Handbook5-11.pdf>
- [14]<https://www.waveformlighting.com/tech/what-is-the-difference-between-cri-and-ra>
- [15]<https://www.lighting.philips.com/main/support/connect/lighting-technology/lighting-design-and-quality/sports-lighting-key-considerations>
- [16][https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/05/f22/miller%20Blehman\\_flicker\\_lightfair2015.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/05/f22/miller%20Blehman_flicker_lightfair2015.pdf)
- [17][https://www.architectmagazine.com/technology/lighting/leds-fighting-flicker\\_o](https://www.architectmagazine.com/technology/lighting/leds-fighting-flicker_o)
- [18]<https://civideportes.com.co/blog/iluminacion-led-cancha-de-tenis/>
- [19]<https://ilumeyco.com/idi/>