

**SIMULACIONES NUMÉRICAS Y CON MODELO A ESCALA EN CIELO ARTIFICIAL.
ESTUDIO DE CASO CON LUZ CENITAL:
INSTITUTO NACIONAL DE EDUCACIÓN FÍSICA DE CATALUÑA, CIUDAD DE BARCELONA.**

M. L. González Matterson¹, J. M. Evans² y J. L. Zamora i Mestre³

^{1 y 3} Departament de Construccions Arquitectòniques I. Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona (ETSAB).
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).
Av. Diagonal 649 – 08028 Barcelona - España
E-mail: leamatterson@gmail.com

RESUMEN: Este trabajo presenta parte de la investigación realizada, en el marco de la tesis doctoral de referencia. Se muestran los resultados obtenidos y la metodología de trabajo aplicada para ampliar los datos de cantidad y calidad de luz natural en el caso de sistemas cenitales en arquitectura deportiva. Se resumen los resultados de las simulaciones con modelos a escala con condiciones de luz difusa (cielo artificial) para obtener valores de Factor de Luz Diurna (FLD %), luz directa (heliódón), imágenes fotográficas obtenidas con el proceso HDRI (High Dynamic Range Image), simulaciones numéricas y la comparación con datos obtenidos in situ en el edificio INEFC (Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya) de la Ciudad de Barcelona. En las conclusiones se establece la importancia de la evaluación objetiva del campo visual y la conveniencia de la utilización de las imágenes HDRI en modelos a escala para obtener una aproximación acertada en la evaluación del campo visual y al balance de luminancias, para los diferentes usuarios, además de la iluminación horizontal.

Palabras clave: iluminación natural, luz cenital, cielo artificial, modelo a escala, Heliódón, Desktop Radiance, luminancia.

INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación se realizó para aportar datos y conclusiones que permitan mejorar y ajustar la metodología del trabajo de tesis. La tesis mencionada analiza las condiciones de iluminación natural en relación con el confort visual de los usuarios, en el caso particular de la luz cenital en arquitectura deportiva, en edificios ya construidos con motivo de las Olimpiadas de Barcelona 1992, (González Matterson et al., 2008). La complejidad de estudios necesarios para la adquisición de datos objetivos para evaluar las condiciones de luz natural en edificios en funcionamiento (Atif et al. 1997), debido a que son costosos, de larga duración y muchas veces impracticables, hace necesario modelizar las condiciones del funcionamiento de los sistemas de luz natural para ampliar la información obtenida in situ, y por otra parte verificar las mejoras propuestas con el fin de mejorar el confort visual de los usuarios (Lasagno et al., 2006).

Se presentan los resultados obtenidos de simulaciones con el modelo a escala en el cielo artificial y en el Heliódón del Laboratorio de Estudios Ambientales (LAB), del Centro de Investigación Hábitat y Energía (CIHE). Por otra parte, se presentan los resultados de simulaciones numéricas y la obtención de imágenes fotográficas de Rango Dinámico Ampliado (HDRI) del modelo a escala. Estas imágenes reproducen los valores de las luminancias en condiciones reales con una exactitud razonable, (Jacobs, 2007). La obtención de las imágenes HDRI, (Inanici, 2005), permiten capturar el rango de variaciones de luminancias en un campo visual determinado en muy poco tiempo y abarcando gran cantidad de variaciones, de manera económica y rápida.

1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El estudio realizado tiene como principal objetivo ampliar y validar, mediante simulación con modelos a escala y simulación numérica, los datos de cantidad y calidad de las condiciones de iluminación natural en edificios donde se realizan actividades deportivas. En este trabajo se muestran los datos del edificio INEFC de la Ciudad de Barcelona. Los objetivos principales del estudio son:

1.1. Realizar una aportación a la metodología de trabajo en lo que respecta a mediciones de las condiciones de iluminación natural en edificios y la evaluación del confort visual de los diferentes usuarios.

¹ **Becaria AGAUR** (Agencia de Gestió d'Ajuts Universitaris de Recerca), Generalitat de Catalunya. Alumna de doctorado en fase de tesis: "*Reconsideración de los sistemas de iluminación cenital en arquitectura deportiva. Análisis y propuestas de mejora para una arquitectura más eficiente y confortable*". Programa de Doctorado: Àmbits de recerca en l'energia i el medi ambient a l'arquitectura. ETSAB. UPC.

² **Director de beca AGAUR y Co-Director de tesis.** Prof. Dr. Arq. y Director del Centro de Investigación Hábitat y Energía - CIHE. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo - FADU. Universidad de Buenos Aires - UBA. TE: 00 54 4783-7264. E-mail: evansmartin@gmail.com

³ **Co-Director tesis.** Prof. Dr. Arq. y Director del Departament de Construccions Arquitectòniques I. ETSAB. UPC. E-mail: joan.lluis.zamora@upc.edu

1.2 Ampliar y validar la información obtenida in situ, mediante la realización de simulación de modelos a escala en Cielo artificial, de condiciones de iluminación natural, mediante el uso de mediciones en plano horizontal para obtención de FLD % (Factor de Luz Diurna), y la adquisición de imágenes HDRI (High Dynamic Range Image) para evaluar la distribución de luminancias (en candelas/m²) en el campo visual.

1.3. Realizar un resumen de los resultados obtenidos, con respecto al tipo de datos obtenidos y la posibilidad de realizar cambios y modificaciones, mediante la comparación de:

- datos obtenidos en mediciones in situ,
- mediciones obtenidas en simulaciones numéricas,
- mediciones de FLD % obtenidas con modelos a escala,
- obtención de Imágenes fotográficas HDRI con modelos a escala con luz difusa e imágenes fotográficas con luz directa.

1.4. Comprobación del funcionamiento del sistema cenital con mejoras y en diferentes latitudes con modelos a escala, de las variaciones en el comportamiento lumínico interior, al modificar diferentes parámetros, tendiendo a proponer mejoras en cuanto a cantidad y calidad de la iluminación natural, de acuerdo al uso y al confort visual de los diferentes usuarios.

2. CASO DE ESTUDIO

Se ha seleccionado un edificio de la muestra relevada in situ (González Matterson et al., 2008), que posee un sistema de luz cenital y abertura lateral en ambas pistas, para realizar la construcción del modelo a escala; teniendo en cuenta la geometría del edificio:

2.1. Edificio INEFC (Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya)		
	Datos del edificio	
	Ubicación	Barcelona, Latitud 41° 38' N
	Autor (arq.)	Ricardo Bofill, Año 1975
	M ² pista	2.265,76 m ²
	Sistemas de iluminación natural	
	Características	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Claraboya: cubierta con 16 claraboyas planas de 19,36 m² en damero (total 309,76 m²) ▪ Lateral: abertura lateral sobre lado Este de 285,60 m² (h = 6,00 m)
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cuerpo o elemento de conducción = H 3,55 m ▪ Sup. captación = 4,70 m de lado ▪ Sup. difusor interior = 4,40 m de lado 	<p>Porcentaje sup. claraboya sobre pista 13,67%</p>
	Orientación del elemento cenital	Todas las orientaciones. Bóveda celeste y sol directo

Fig. 1, 2 y 3. Planta, Sección con grilla y detalle de claraboya del edificio INEFC

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Se recopilaron los datos obtenidos en el trabajo de campo; y por otra parte se obtuvieron diferentes datos del comportamiento del sistema cenital; mediante simulación numérica y con modelo a escala en el Cielo Artificial y Heliodón (CIHE), para condiciones de luz difusa y luz directa. Se realizaron comparaciones de los datos obtenidos in situ y las simulaciones.

3.1. PROCEDIMIENTOS REALIZADOS

3.1.1. Validación y ampliación de datos obtenidos en un edificio relevado en trabajo de campo. Comparación de los resultados obtenidos en simulaciones e in situ.

- Obtención de imágenes para análisis luminancias en el campo visual y grillas con datos de iluminancias horizontales (lux) y Factor de Luz Diurna (FLD %). Se realizaron simulaciones en Desktop Radiance, 1998-2001 para los mismos días y horarios, para comparar los datos obtenidos en el relevamiento in situ.

- Obtención imágenes fotográficas HDRI para análisis de luminancias en el campo visual (con y sin aporte de luz lateral) y grillas con datos de iluminancias horizontales para el cálculo de Factor de Luz Diurna (FLD %) para condiciones con cielo cubierto.

3.1.2. Verificación y comprobación de resultados con la modificaciones de diferentes escalas en el edificio. Comparación de los resultados obtenidos y las mediciones realizadas in situ.

- Se plantearon propuestas de mejora en el sistema cenital, mediante la incorporación de difusores interiores en las claraboyas para reducir problemas de deslumbramiento de los usuarios.
- Obtención de imágenes por renderizado y HDRI para análisis luminancias en el campo visual y grillas con datos de iluminancias horizontales (lux). Se modificaron diferentes parámetros que se resumen a continuación:
- Variables modificadas:
 - valores de reflectancia de las superficies interiores (carpinterías, paramentos verticales y pavimentos).
 - modificación del cuerpo de la claraboya, (superficie de conducción de la luz), con dos modelos (uno similar al real)
 - elementos interiores para la difusión de la luz natural y disminuir los problemas de deslumbramiento (dos modelos de difusores).

3.2. DESCRIPCIÓN DE PARÁMETROS

3.2.1. Construcción de modelos a escala (maquetas):

- Se han tenido en cuenta las recomendaciones de uso y materialización de modelos a escala (Evans et al. 1999), en lo que respecta a escala, para facilitar el posicionamiento de los sensores en el interior. Se realizó una maqueta escala 1:50 (teniendo en cuenta la altura equivalente del edificio)
- Materiales de construcción del modelo: se optó por materiales totalmente opacos, así como el sellado de juntas de diferentes elementos, (Evans et al. 1999), para evitar valores residuales de iluminancia.
- Se construyó una parte representativa del edificio en el modelo a escala o maqueta, (un cuarto de la pista con entorno), y se añadieron dos espejos para simular el espacio total del edificio.
- Maqueta: las medidas aproximadas resultantes, 65 x 70 cm de lado y 32 cm de altura.



Fig. 4 y 5. Fotografías del modelo a escala 1:50 del edificio INEFC, en el Cielo Artificial (CIHE-FADU-UBA)

3.2.2. Condiciones de cielo:

3.2.2.1. Cielo Artificial (luz difusa)

- El cielo artificial construido en el CIHE de la FADU-UBA (Evans et al. 1997), simula las condiciones de iluminación más desfavorables, las de un cielo cubierto. El modelo teórico utilizado para su construcción es el propuesto por el CIE (Comité Internacional de l'Eclairage), conocido como 'Standart Overcast Sky' o Cielo Nublado Normalizado. Los múltiples reflejos en los espejos, en los cuatro lados, producen una disminución de la iluminación a menor ángulo de altura, reproduciendo la distribución típica del cielo nublado, estandarizado por el CIE.

3.2.2.2. Heliódón (luz directa)

- El Heliódón construido en el CIHE de la FADU-UBA, es un simulador del movimiento aparente del sol. Se han obtenido imágenes fotográficas de diferentes latitudes y horas del día, para evaluar los problemas del sistema cenital con relación al acceso de luz directa.

3.2.3. Programa de simulación (software) Desktop Radiance Versión 2.0. Beta 2:

- Las simulaciones numéricas se realizaron con el programa para ordenador (software) Desktop Radiance (1998-2001), mediante la construcción de maquetas virtuales en tres dimensiones (3D). Para la realización de las maquetas virtuales, o en tres dimensiones, se tuvieron en cuenta las recomendaciones de dibujo de los manuales del programa.
- Se obtuvieron cálculos sobre: radiación espectral (luminancias + color), e irradiancia (iluminancias + color).

3.2.4. Obtención de datos:

3.2.4.1. Cielo Artificial (luz difusa)

- Se tuvieron en cuenta las recomendaciones realizadas en trabajos similares realizados en el Cielo Artificial del CIHE, (Evans et al. 1999), (Fernández Xifra y Evans 2001).
- Se tomaron mediciones con ingreso de luz lateral (uso de toda la pista) y con la anulación de esta fuente de luz natural (división de la pista en dos).
- Para la obtención de Factor de Luz Diurna % (porcentaje de la iluminancia total disponible), se ha confeccionado una grilla ortogonal y regular.

Características:

-Por la escala de la maqueta y el tamaño real del luxómetro, la medición corresponde a una altura de +1,10 m del nivel de pista (para poder realizar la comparación con los datos obtenidos in situ).

-La densidad de la grilla de medición afecta los valores de FLD (%) mínimo y máximo y por esto los factores de uniformidad y contraste, por lo tanto se realizó una grilla de 81 puntos para facilitar la comparación entre métodos y lograr una mayor cobertura en la representación de isolíneas. Se presentan los resultados para 45 puntos de medición.

3.2.4.2. Heliódón (luz directa):

- Se han obtenido fotografías para comprobación del acceso solar en diferentes latitudes, horas del día y fechas.
 - Latitudes: 0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 35°, 40°, 45°, 50°, 55° y Latitud 41° (Ciudad e Barcelona):
 - Horas del día: 10,00; 12,00; 14,00 hs. (para todas las latitudes)
 - Fechas: Equinoccios (21-03 y 21-11), Solsticio de Invierno (21-06) y Solsticio de Verano (21-12), para Latitud Sur.

3.2.4.2. Simulación numérica:

- Se confeccionaron grillas ortogonales de 36 puntos, de acuerdo a la geometría de los elementos de iluminación natural. Las grillas se han ubicado a +1,10 m del nivel de pista (para permitir la comparación con los datos obtenidos in situ).
 - Iluminancia horizontal (luxes).
- Se obtuvieron imágenes de renderizado de las maquetas virtuales y se analizaron con el programa Desktop Radiance (1998-2001), para obtener un mapa de luminancias del campo visual (Li et al., 2004). Análisis de luminancias en Color Falso (esc:1-1000 Nits).

3.2.5. Reflectancia de materiales

- Se han asignado valores de reflectancia a los colores y las terminaciones de los materiales de arquitectura interior, reproduciendo valores semejantes a los relevados in situ para las actividades de entrenamiento.

3.2.6. Relevamiento geométrico:

- Se recopiló información gráfica como plantas, secciones y alzados del edificio analizado.

3.2.7. Relevamiento fotográfico:

- Se tuvieron en cuenta las recomendaciones para evitar infiltraciones de luz en las juntas entre el lente de la cámara fotográfica y la maqueta, que puedan afectar la distribución de la luz en el interior de la maqueta.

3.2.8. Obtención de Imágenes de Rango Ampliado o High Dynamic Range (HDR):

- Se tomaron 5 exposiciones, en modo manual, donde se modificó la relación del diafragma con respecto a la cantidad de luz: con el valor 0.00, dos sobrepuestas (+1 y +2) y dos subexpuestas (-1 y -2), (Inanici, 2005)
- Las 5 exposiciones, se fusionaron en una sola, mediante la utilización del programa HDR Shop, con la obtención de la curva de respuesta de la cámara fotográfica utilizada.
- Se seleccionaron tres (3) puntos para la ubicación de la cámara, para obtener imágenes del campo visual de los diferentes usuarios: 2 puntos verticales y 1 horizontal (para obtener imágenes del cieloraso y evaluar posibles problemas de deslumbramiento)

3.2.9. Instrumental utilizado:

3.2.9.1. Mediciones in situ

- Cámara fotográfica digital: Sony Cyber-Shot DSC-W50, con sensor CCD de 6.0 megapíxeles, con adaptador para lente Wide x 0.7.
- Luxómetro digital: ISO-TECH 1332. Rango de mediciones = 0.01 lux hasta 200.000 lux. Respuesta espectral = CIE Photopic (CIE curva de respuesta del ojo humano).

3.2.9.2. Mediciones y toma de imágenes en el Cielo Artificial y Heliódón

- Luxómetro Li-Cor (con un adaptador para mediciones en maqueta).
- Cámara fotográfica réflex digital con sensor CCD 10,2 Megapíxeles (Modelo: Nikon D-60 con lente AF-S DX Nikkor 18-55mm f/3.5-5.6G VR), y convertidor tipo ojo de pez Bower digital Super Wide (0.42x AF).

4. RESULTADOS OBTENIDOS

Se presentan las simulaciones como imágenes de renderizado, plantas con valores de iluminancia horizontal en luxes y en Factor de Luz Diurna (FLD%), y el análisis del balance de luminancias, para el Edificio INEFC. También se presentan los valores obtenidos in situ.



Fig. 6, 7 y 8. Fotografías de la pista del INEFC obtenidas en condiciones de competición, retransmisión de TV y entrenamiento..

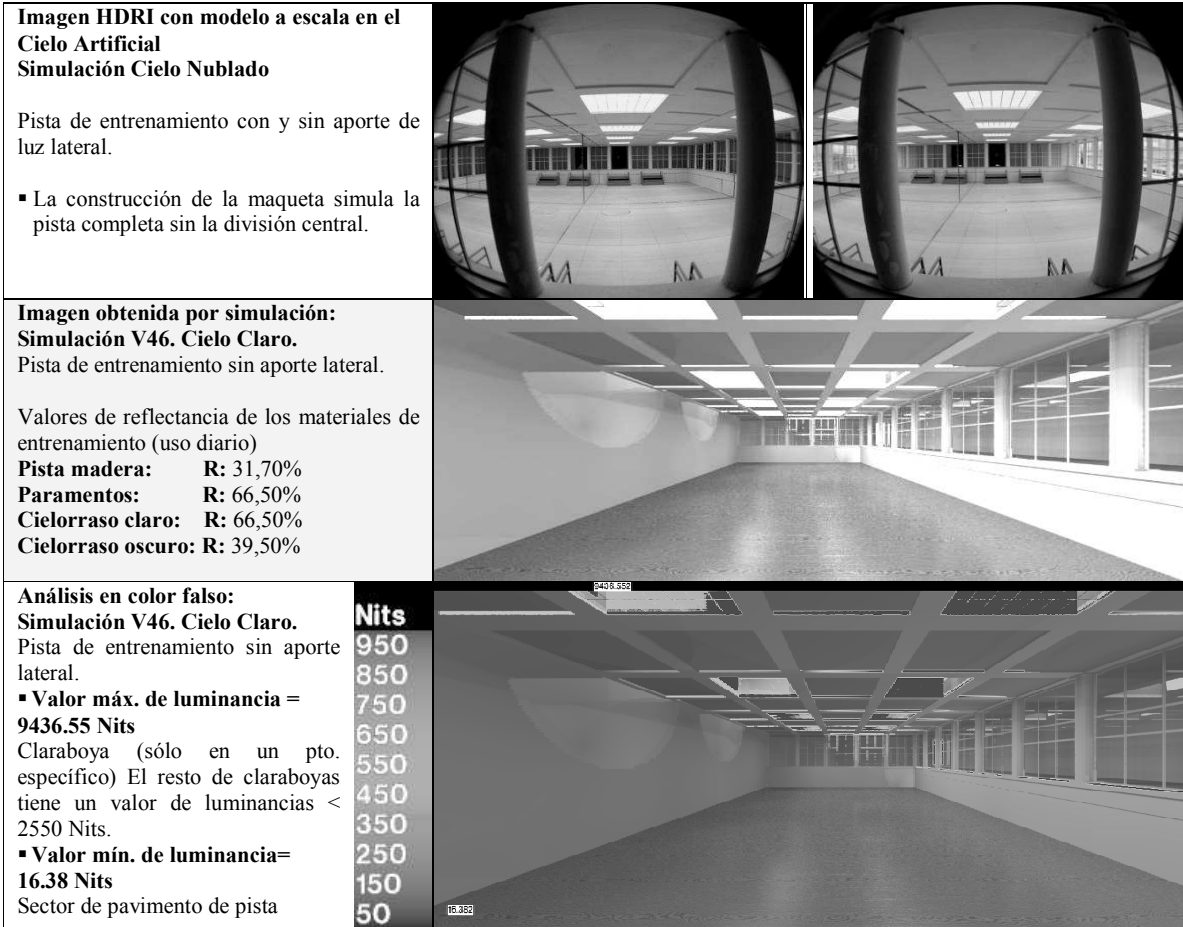


Fig. 9 y 10. Fotografías HDRI del modelo a escala, en Cielo Artificial (CIHE) con y sin aporte de luz lateral.
Fig. 11 y 12. Imágenes obtenidas por simulación y análisis en Color Falso (esc 1 a 1000 Nits) con Desktop Radiance.



<p>Propuesta de mejora: 2 modelos de difusores Imagen obtenida por simulación: Simulación V156. Cielo Claro. Pista de competición con aporte lateral y difusores tipo luminaria con 22 lamas verticales en ambos sentidos h = 0,60m (grilla ortogonal c/ 0,44 m). Valores de reflectancia de los materiales de competición (pavimento, entre otros): Gris, R: 13,80%, Azul, R: 6,48% Verde, R: 27,65%, Rojo, R: 24,44% Gradas, R: 29,80% Vallas, R: 6,74%</p>	
<p>Análisis en color falso: Simulación V156. Cielo Claro. Los difusores reducen los valores de las luminancias en la parte inferior de las claraboyas, efectivamente con valores inferiores al 30%. ▪ Valor de luminancia claraboya con difusores = < 350-450 Nits ▪ Valor máx. de luminancia = 2059,00 Nits: Abertura Lateral ▪ Valor mín. de luminancia= 3,93 Nits Sector de pavimento de pista</p>	

Fig. 13 y 14. Imágenes obtenidas por simulación y análisis en Color Falso (esc 1 a 1000 Nits) con Desktop Radiance.

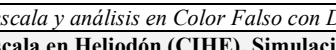
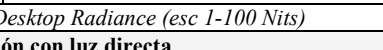
<p>Imágenes HDRI Cielo Artificial Simulación Cielo Nublado</p>	<p>Pista de entrenamiento sin aporte lateral.</p>	<p>Pista de entrenamiento con aporte lateral.</p>																						
<p>Análisis en color falso: Simulación Cielo Nublado Pista de entrenamiento sin aporte lateral.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Valor máx. de luminancia = 145,20 (1) 102.45 Nits (2): <li style="padding-left: 20px;">Claraboya en 1er. plano, el resto < 100, según ángulo visión. Abertura lateral > 95 < 100 Nits. ▪ Valor mín. de luminancia= 5-8 Nits <li style="padding-left: 20px;">Paramento de fondo, sectores de grada. (*) Relación luminancias en el campo visual < 1:40. 	<p>Dos modelos de Claraboya: 1- Sin cuerpo de conducción o directa.</p>	<p>2- Cuerpo de conducción de H= 3,55 m. (2) Aumenta un 45% la luminancia de la parte inferior de la claraboya.</p>																						
<table border="1"> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">Nits</td> </tr> <tr> <td>Claraboya en 1er. plano, el resto < 100, según ángulo visión. Abertura lateral > 95 < 100 Nits.</td> <td style="text-align: right;">95</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">85</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">75</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">65</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">55</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">45</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">35</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">25</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">15</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">5</td> </tr> </table>		Nits	Claraboya en 1er. plano, el resto < 100, según ángulo visión. Abertura lateral > 95 < 100 Nits.	95		85		75		65		55		45		35		25		15		5		
	Nits																							
Claraboya en 1er. plano, el resto < 100, según ángulo visión. Abertura lateral > 95 < 100 Nits.	95																							
	85																							
	75																							
	65																							
	55																							
	45																							
	35																							
	25																							
	15																							
	5																							

Fig. 15 y 16. Imágenes HDRI del modelo a escala y análisis en Color Falso con Desktop Radiance (esc 1-100 Nits)




<p>Relevamiento fotográfico con modelo a escala en Heliodón (CIHE). Simulación con luz directa Pista de entrenamiento sin aporte lateral.</p>		
<p>Se resumen los resultados obtenidos en latitudes intermedias, para analizar el acceso de luz directa sola pista. Esto constituye una de las principales causas de disconfort para los tres usuarios de estos edificios: deportistas, espectadores y retransmisiones televisivas.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Latitud 35°: Se verifica acceso de sol en pista en Equinoccios a partir de las 11, 00 hs hasta las 13,00 hs. ▪ Latitud 40°: Se verifica acceso de sol en pista en Equinoccios a partir de las 11, 00 hs hasta las 13,00 hs. 		
		
10,00 hs.	12,00 hs.	14,00 hs.

Fig. 17, 18 y 19. Imágenes obtenidas con modelo a escala en Heliodón para los Equinoccios de la Latitud 35° (Sur)

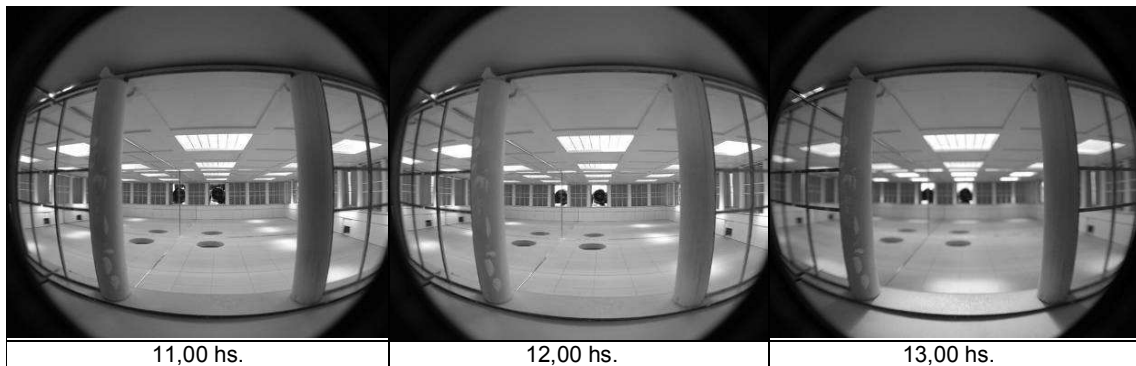


Fig. 20, 21 y 22. Imágenes obtenidas con modelo a escala en Heliodón para los Equinoccios de la Latitud 40° (Sur)

<p>Modelo a escala en Cielo Artificial: Comparación de las mediciones in situ y simulación del Factor de Luz Diurna %:</p> <ul style="list-style-type: none"> La utilización del espejo modifica los valores de iluminancia horizontal en los puntos próximos (columna 5 y fila C5) Los valores de la simulación obtenidos demuestran un incremento de 3 a 4 veces en relación con los obtenidos in situ, sobretudo en los valores mínimos, lo que eleva el coeficiente de uniformidad. <p>(*)El valor recomendado de FLD% para instalaciones deportivas en gral. es de 2% y se considera que a partir de 1,5% se requiere luz artificial (Generalitat de Catalunya).</p> <p>(*)Uniformidad recomendada ($\leq 1: 1,50$), ($\geq 0,666$)</p>	<p>Medición in situ: Pista de entrenamiento con elemento divisor central, sin abertura lateral.</p>	<p>Simulación de condiciones de medición in situ: Cielo Artificial Pista de entrenamiento con elemento divisor central, sin abertura lateral..</p>															
	<p>Medición in situ- 06 de Febrero (FDL %) Cielo nublado a intermedio</p> <table border="1"> <tr><td>FLD % máximo</td><td>2,55 %</td></tr> <tr><td>FLD % mínimo</td><td>0,54 %</td></tr> <tr><td>FLD % medio</td><td>1,50 %</td></tr> <tr><td>Uniformidad</td><td>0,21</td></tr> </table>	FLD % máximo	2,55 %	FLD % mínimo	0,54 %	FLD % medio	1,50 %	Uniformidad	0,21	<p>Medición modelo a escala (FDL %) Cielo artificial (Overcast- CIE) CIHE</p> <table border="1"> <tr><td>FLD % máximo</td><td>9,46 %</td></tr> <tr><td>FLD % mínimo</td><td>4,70 %</td></tr> <tr><td>FLD % medio</td><td>7,28 %</td></tr> <tr><td>Uniformidad</td><td>0,50</td></tr> </table>	FLD % máximo	9,46 %	FLD % mínimo	4,70 %	FLD % medio	7,28 %	Uniformidad
FLD % máximo	2,55 %																
FLD % mínimo	0,54 %																
FLD % medio	1,50 %																
Uniformidad	0,21																
FLD % máximo	9,46 %																
FLD % mínimo	4,70 %																
FLD % medio	7,28 %																
Uniformidad	0,50																

Fig.23, 24, 25 y 26. Tablas y gráficos de plantas con valores de FLD %, obtenidos in situ y con modelo a escala.

5. CONCLUSIONES

Para la evaluación del confort visual, en este estudio, se verifica la importancia del ajuste y calibración de herramientas de simulación numérica, mediante modelos a escala y con adquisición de imágenes digitales HDRI, para la evaluación del confort visual, en relación con el balance de luminancias y el nivel de iluminancia horizontal, aunque éstos no son los únicos aspectos a evaluarse para el confort visual. Asimismo, quedan por profundizar otros aspectos que modifican el confort visual, tanto subjetivos como objetivos, como la reproducción y la temperatura de color (que afectan además a la percepción) y las expectativas de los usuarios en relación a la iluminación natural (Fontoynt, 2002) y (Lasagno et al., 2006). A continuación se detallan las conclusiones parciales, en relación con la iluminancia horizontal y el balance de luminancias:

5.1. Niveles de iluminancia:

- Para las actividades deportivas y sus diferentes usuarios, la iluminancia horizontal, debe ser complementada con otros parámetros, a veces de complicada obtención o simulación, ya que el usuario tiene un campo visual de 360° y no hay sólo una superficie que pueda considerarse como plano de trabajo.

5.2. Balance de luminancias:

5.2.1. Simulaciones numéricas:

- Requieren menos equipamiento y tiempo para realizarse. Poseen herramientas para la cuantificación de luminancias, pudiendo renderizar la maqueta desde diferentes puntos de vista y acercarse así, a los requerimientos de confort visual de los diferentes usuarios.
- La materialización de las maquetas en 3 dimensiones, en algunos casos, pueden producir resultados incorrectos, como sombras o exceso de brillos en aristas y superficies. A pesar de esto, el nivel de las imágenes obtenidas, en comparación

con el relevamiento fotográfico, es óptimo. Es importante ajustar las simulaciones con la mayor cantidad de parámetros de calibración in situ. Contribuyen de manera confiable a detectar problemas de deslumbramiento y tomar decisiones de

5.2.2. Imágenes HDR:

- Para el análisis del campo visual, la adquisición de imágenes HDRI en modelos a escala, demuestra excelentes resultados para la evaluación de algunos de los aspectos del confort visual, como el balance de luminancias.
- Es necesaria la materialización de los modelos a escala con buen nivel de acabados.
- Para obtener resultados objetivos, deben tomarse además, mediciones in situ de luminancias para calibración de las imágenes fotográficas obtenidas.

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible por la obtención de una beca para estancias de investigación de la AGAUR (Agencia de Gestió d'Ajuts Universitaris de Recerca), del Comissionat per a Universitats i Recerca del Departament d'Innovació, Universitats i Empresa de la Generalitat de Catalunya, para la realización del estudio: "Validación y ampliación de los datos obtenidos, verificación y comprobación de mejoras, mediante simulaciones gráficas y con modelos a escala de las condiciones de iluminación natural en edificios deportivos de la Ciudad de Barcelona"; en el CIHE, FADU, UBA. Este estudio se encuadra dentro de la tesis doctoral en curso: "Reconsideración de los sistemas de iluminación cenital en arquitectura deportiva. Análisis y propuestas de mejora para una arquitectura más eficiente y confortable"; ETSAB, UPC.

Este trabajo se realizó con la colaboración del CIHE: Dr. Arq. Silvia de Schiller, Claudio Delbene, Veronca Snoj y Guillermo Adamo (arqs.) y Diego Abalsamo. Asimismo con la colaboración del Arq. Mariá Bordas y los directores y personal del edificio INEFC por permitir el trabajo de campo en el Instituto.

REFERENCIAS

- Atif, M.R., Love, J.A. and Littlefair, P., (1997). Daylighting Monitoring Protocols & Procedures for Buildings. NRCC-41369. Canada: National Research Council Canada. IEA (International Energy Agency) Task 21 / Annex 29: Daylight in Buildings, 14 pp.
- Evans, J. M., Baroldi, G. M., Marmora, M. I., 1997. Equipamiento para el estudio de iluminación natural. Diseño, construcción y calibración de un cielo artificial. IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construido, Salvador, Bahía, Brasil, 24-28 de noviembre 1997, pp. 319-322.
- Evans, J.M; Bogatto M.; Mármora, M. I.; Baroldi, G., 1999. Uso de modelos a escala en el cielo artificial. Características de reflexión de los acabados superficiales interiores y exteriores. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Salta, Argentina. Volumen 3 N° 2, pp. 08.169-08.172. (ISSN 0329-5184)
- Fontoynt, M., (2002). Perceived Performance of daylighting systems: lighting efficacy and agreeableness" Solar Energy Vol. 73, No. 2, pp.83-94.
- González Matterson, M. L.; Zamora I Mestre, J. L. y Evans, J. M., (2008). La luz cenital en la arquitectura deportiva de latitudes intermedias. Estudio de casos de las olimpiadas de 1992 en las ciudades de Barcelona y Granollers. Rosario, Santa Fé. Actas del Congreso LUXAMERICA 2008. Tomo I, capítulos I-IV, pgs. I.10- I.19.
- Inanici, M. (2005). Per-pixel lighting data acquisition and analysis with High Dynamic Range photography. Congreso Internacional de Iluminación, León, 10 pp.
- Jacobs, A. (2007). High Dynamic Range Imaging and its Application in Building Research. Advances in building Research 2007, Volume 01, pp 177-202.
- Lasagno, C., Rodríguez, R. Ferrón, L., y Pattini, A. (2006) Estrategias de iluminación natural de espacios para adultos mayores. Caso de estudio. LUXAMERICA 2006, IX Congreso Panamericano de Iluminación.
- Li, D.H.W., Lau, C.C.S. and Lam, J.C., (2004). Predicting daylight illuminance by computer simulation techniques. Lighting Research & Technology, 36(2), pp. 113-129.

Programas (software)

DESKTOP RADIANCE © v 2.0. Beta 2. (1998-2001) Marinsoft, Inc & Lawrence Berkeley National Laboratory. User manual & Tutorial. DESKTOP RADIANCE. v 2.0. Beta.(1998-2001) Building Technologies Department. Lawrence Berkeley National Laboratory. 1 Cyclotron Rd., 90-3111, Berkeley, CA 94720. <http://radsite.lbl.gov/radiance>.

HDR SHOP © V 1.0.3 (2001) University of Southern California. Desarrollado por el USC Institute for Creative Technologies.

NUMERICAL SIMULATION AND SCALE MODEL IN ARTIFICIAL SKY. STUDY OF TOP LIT CASE: NATIONAL INSTITUTE OF PHYSICAL EDUCATION IN CATALONIA, CITY OF BARCELONA.

ABSTRACT: This paper presents part of the research conducted for the PhD thesis of reference. Shown are the results obtained and the methodology of work used for enhancing the quantity and quality of data relating to daylighting in case of top lit systems in sports-halls architecture. It summarizes the results of working with simulations run on Desktop Radiance, scale models in diffuse light conditions (artificial sky) to obtain values of Daylight Factor (DF %), direct light (Heliodón), photographic images obtained with the HDRI (High Dynamic Range Image) process and comparison with data obtained in situ in the case study building INEFC (Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya) in Barcelona. Conclusions include the importance of the objective evaluation of the field of vision and the convenience of the use of HDRI images on scale models to approximate the visual field assessment and the balance of luminances, for different users, apart from horizontal illuminance.

Keywords: daylighting, top lit, artificial sky, scale model, Heliodon, Desktop Radiance, luminance.