

Dynamic Lighting System to Increase the Attention of Design Students in the Classroom

Andrés-Eduardo Nieto-Vallejo; Jorge-Enrique Camacho; Roberto
Cuervo-Pulido; Edgar Hernández-Mihajlovic

Citación: A.-E. Nieto-Vallejo, J.-E. Camacho, R. Cuervo-Pulido, E.
Hernández-Mihajlovic, “Dynamic Lighting System to Increase the
Attention of Design Students in the Classroom,” *Revista Facultad de
Ingeniería*, vol. 30 (55), e12233, 2021.

<https://doi.org/10.19053/01211129.v30.n55.2021.12233>

Recibido: Diciembre 11, 2020; **Aceptado:** Enero 22, 2021;

Publicado: Febrero 06, 2021

Derechos de reproducción: Este es un artículo en acceso abierto
distribuido bajo la licencia [CC BY](#)



Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de
intereses.

Dynamic Lighting System to Increase the Attention of Design Students in the Classroom

Andrés-Eduardo Nieto-Vallejo¹

Jorge-Enrique Camacho²

Roberto Cuervo-Pulido³

Edgar Hernández-Mihajlovic⁴

Abstract

Dynamic lighting is playing a key role in education, by considering the main photometric variables such as the correlated color temperature and the illuminance to increase student's attention levels inside the classroom. In the case of design students, the project component is fundamental for teaching, where students mainly need to develop activities such as presentation to listen to the teacher instructions, ideation and sketching to propose a solution according to the problem being addressed, and exhibition to present the work that has been done. These activities require specific and adequate lighting conditions to generate a positive impact on the performance of students. This article presents the design of a dynamic lighting system capable of adjusting the correlated color temperature in a range from 2500 K to 6500 K and the illuminance levels in a range from 0 lx to 800 lx to enhance the sustained and fixed attention of design students inside the classroom according to the type of activity that is being developed. The performance of the system was

¹ M. Sc. Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá-Distrito Capital, Colombia). nieto-andres@javeriana.edu.co. ORCID: [0000-0003-1934-8552](https://orcid.org/0000-0003-1934-8552)

² M. Sc. Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá-Distrito Capital, Colombia). j-camacho@javeriana.edu.co. ORCID: [0000-0003-1357-4858](https://orcid.org/0000-0003-1357-4858)

³ Ph. D. Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá-Distrito Capital, Colombia). rcuervo@javeriana.edu.co. ORCID: [0000-0003-4624-0678](https://orcid.org/0000-0003-4624-0678)

⁴ Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá-Distrito Capital, Colombia). edgar.hernandez@javeriana.edu.co. ORCID: [0000-0003-1692-741X](https://orcid.org/0000-0003-1692-741X)

evaluated experimentally by measuring student's attention inside the ergonomics and usability laboratory by using the Gesell chamber, the Emotiv EPOC EEG Headset with 14 electrodes to measure the brain activity and obtain engagement and focus levels, the eye tracking Tobii glasses, and a protocol to evaluate performance including several surveys and camera observation. In conclusion, the dynamic lighting system can improve the attention of design students by configuring the photometric variables according to the type of activity that is being done.

Keywords: attention; color temperature; dynamic lighting; education; illuminance; industrial design.

Sistema de iluminación dinámica para incrementar la atención de los estudiantes de diseño en las aulas

Resumen

La iluminación dinámica puede generar un gran impacto en la educación, ya que tiene en cuenta las principales variables fotométricas tales como la temperatura de color y la iluminancia para aumentar la atención de los estudiantes dentro de un salón de clases. En el caso particular de los estudiantes de diseño, el desarrollo de proyectos es un componente fundamental para la enseñanza, en donde los estudiantes principalmente realizan actividades tales como presentar atención a una presentación, realizar ejercicios de ideación y bocetación, y exhibir sus propuestas. Estas actividades requieren de unas condiciones de iluminación específicas y adecuadas para generar un impacto positivo en el desempeño de los estudiantes. Este artículo presenta el diseño de un sistema de iluminación dinámica capaz de ajustar la temperatura de color en un rango entre los 2500 K hasta los 6500 K y los niveles de iluminancia en un rango entre 0 lx y 800 lx para incrementar la atención sostenida y selectiva de los estudiantes de diseño dentro de un salón de clases teniendo en cuenta el tipo de actividad que se está desarrollando. El desempeño del sistema fue evaluado experimentalmente midiendo la atención de los estudiantes dentro de un laboratorio de ergonomía y usabilidad utilizando una cámara de Gesell, una diadema Emotiv EPOC EEG de 14 canales para medir la actividad cerebral, unas gafas de seguimiento ocular y un protocolo para evaluar el

desempeño utilizando encuestas y observación a través del uso de cámaras. En conclusión, el sistema de iluminación dinámica puede incrementar los niveles de atención selectiva y sostenida de los estudiantes de diseño al configurar la iluminación de manera específica dependiendo del tipo de actividad que se vaya a desarrollar.

Palabras clave: atención; diseño industrial; educación; iluminación dinámica; iluminancia; temperatura de color.

Sistema de iluminação dinâmica para aumentar a atenção dos alunos de design nas salas de aula

Resumo

A iluminação dinâmica pode ter um grande impacto na educação, pois leva em consideração as principais variáveis fotométricas, como temperatura de cor e iluminância, para chamar a atenção dos alunos em uma sala de aula. No caso particular dos alunos de design, o desenvolvimento de projetos é uma componente fundamental do ensino, onde os alunos realizam principalmente atividades como a apresentação de atenção a uma apresentação, a realização de exercícios de ideação e esboço e a exposição das suas propostas. Essas atividades requerem condições de iluminação específicas e adequadas para gerar um impacto positivo no desempenho dos alunos. Este artigo apresenta o projeto de um sistema de iluminação dinâmico capaz de ajustar a temperatura de cor em uma faixa entre 2500 K a 6500 K e os níveis de iluminância em uma faixa entre 0 lx e 800 lx para aumentar a atenção sustentada e seletiva. sala de aula tendo em conta o tipo de atividade que está a ser desenvolvida. O desempenho do sistema foi avaliado experimentalmente medindo a atenção dos alunos em um laboratório de ergonomia e usabilidade usando uma câmera Gesell, uma faixa de cabeça Emotiv Epoc EEG de 14 canais para medir a atividade cerebral, óculos de rastreamento ocular e um protocolo para avaliar o desempenho usando levantamentos e observação por meio de câmeras. Em conclusão, o sistema de iluminação dinâmica pode aumentar os níveis de atenção seletiva e sustentada dos alunos de design ao configurar a

iluminação de uma forma específica em função do tipo de atividade que vai ser desenvolvida.

Palavras-chave: atenção; desenho industrial; educação; iluminação dinâmica; iluminância; temperatura de cor.

I. INTRODUCCIÓN

La iluminación del aula es uno de los aspectos más importantes tanto para profesores como para alumnos, ya que tiene un gran impacto en los niveles de salud, productividad y alerta [1, 2]. Se ha demostrado ampliamente que la comodidad visual en las aulas es un factor crucial para el aprendizaje porque mejora el proceso educativo [3, 4]. Un proceso educativo requiere de múltiples actividades para influir en el estado mental y físico de una persona, con el objetivo de proporcionar conocimientos, y habilidades específicas. Para el caso de los estudiantes de diseño industrial, se requieren actividades específicas en el aula, principalmente la presentación de proyectos, bocetos, elaboración de modelos, prototipos y exhibición, que involucran diferentes formas de construir representaciones mentales de las ideas generadas [5]. El desarrollo de habilidades de estos modos de representación es fundamental para el aprendizaje de procesos de diseño, que implican la construcción de redes atencionales que son indispensables durante la fase de diseño del proyecto.

Basado en múltiples investigaciones sobre ergonomía, la iluminancia y la temperatura del color son las dos principales variables fotométricas que afectan la comodidad visual de las personas, la función visual y el desempeño al ejecutar tareas [6, 7]. Algunos autores evaluaron los efectos de diferentes niveles de temperatura de color sobre el confort visual, el estado de alerta y las preferencias de los estudiantes de la Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud, concluyendo que la luz blanca fría (4000 K) y la luz artificial del día (6500 K) eran más beneficioso para los niveles de alerta y las actividades académicas tanto para las actividades basadas en computadora como en papel [8]. Múltiples sistemas de control de iluminación para reducir el consumo de energía al cambiar o atenuar la iluminación en áreas particulares del aula han sido planteados [9-16]. Ken et al. [17] y Bando et al. [18] evaluaron la percepción de la productividad, la eficiencia y la fatiga en los sitios de trabajo a partir de sistemas de iluminación inteligentes. Por su parte, Lin et al. [19] desarrollaron un sistema de control de iluminación, capaz de ajustar la iluminancia, uniformidad y temperatura de color, con el fin de satisfacer diferentes situaciones de necesidades de los estudiantes.

La mayoría de estos *sistemas de iluminación dinámica* SID están enfocados en reducir el consumo de energía, considerando los niveles de salud, productividad y alerta de estudiantes y empleados. Son pocos los estudios que se han centrado en evaluar las condiciones lumínicas de un ambiente educativo considerando las actividades que se desarrollan de acuerdo con la disciplina que se está impartiendo [20,21]. Dentro del aula se realizan múltiples actividades visuales tales como leer y escribir en el escritorio, escribir en el tablero del aula, dibujar, escuchar y hacer presentaciones, construir maquetas, hacer prototipos, comunicarse entre alumnos y profesores, entre otras. Estas actividades pueden variar considerablemente según la asignatura que se imparta y la profesión del alumno, por lo que requieren unas condiciones de iluminación específicas para su realización de manera más exitosa. El presente estudio tiene como objetivo evaluar la incidencia de la iluminación en la atención sostenida y selectiva de los estudiantes de diseño durante el desarrollo de sus principales actividades que ya han sido mencionadas anteriormente. Se propone un sistema de iluminación dinámica SID para configurar la iluminancia y las condiciones de temperatura de color con el fin de brindar mejores condiciones visuales para el caso de los estudiantes de diseño industrial según las actividades específicas que se estén realizando.

Este artículo se divide de la siguiente manera: la Sección II presenta una descripción de la metodología, la Sección III presenta los resultados, la Sección IV presenta la discusión y la Sección V presenta las conclusiones.

II. METODOLOGÍA

Considerando el objetivo de la investigación y el interés por observar los procesos de enseñanza y aprendizaje en entornos educativos para diseñadores, se propone una metodología exploratoria con enfoque empírico-analítico. Se propuso variaciones en las características lumínicas dentro del laboratorio considerando variables fotométricas como iluminancia y temperatura de color con condiciones que afectan la atención, omisión y coherencia de los estudiantes durante el desarrollo de tres actividades que comúnmente son ejecutadas por los estudiantes durante el proceso de diseño dentro de una asignatura de proyecto: presentación (recibir

instrucciones del profesor), ideación (bocetos) y exposición (espacio de discusión y co-evaluación).

A. Protocolo de comprobación

Se definieron cuatro escenas dentro del laboratorio para representar un ambiente de un aula de diseño bajo diferentes condiciones lumínicas mediante el uso de un sistema de iluminación ubicado en el techo que fue desarrollado para permitir diferentes niveles de configuración de iluminancia entre 200 lx a 800 lx y temperatura de color de 2500 K a 6500 K. La escena A se configuró con una temperatura de color cálida (2800 K) y un alto nivel de iluminancia (800 lx). La escena B se configuró con una temperatura de color cálida (2800 K) y un nivel bajo de iluminancia (200 lx). La escena C se configuró con una temperatura de color fría (6500 K) y un alto nivel de iluminancia (800 lx). La escena D se configuró con una temperatura de color fría (2800 K) y un nivel bajo de iluminancia (200 lx). En cada escena, seis participantes diferentes contaron con material de trabajo como formatos de guía, hojas en blanco y elementos de escritura como lápices, marcadores, borradores y sacapuntas. La Tabla 1 presenta una descripción de cada escena, todos con 6 participantes.

Tabla 1. Descripción de cada escena para la evaluación experimental en laboratorio.

Escena	Temperatura de color (K)	Iluminancia (lx)
Escena A: cálida alta	2800	800
Escena B: cálida baja	2800	200
Escena C: fría alta	6500	800
Escena D: fría baja	6500	200

La prueba constó de tres etapas: una primera etapa denominada presentación, con una duración de 5 minutos, donde se presentó a los participantes un video de un docente que describe una situación cotidiana en nuestra sociedad con problemas ambientales. La segunda etapa denominada ideación, con una duración de 15 minutos, que consiste en la resolución de un problema donde los participantes proponen diferentes alternativas de solución teniendo en cuenta cinco preguntas orientadoras del propósito del diseño. Estas alternativas se registraron en una hoja de gran formato. Luego, cada participante tuvo que evaluar y seleccionar una de las

alternativas o una combinación de varias de ellas, para desarrollarla y describirla con más detalles en una nueva hoja. La tercera etapa denominada exposición, con una duración de 5 minutos, es donde uno de los seis participantes presenta la solución propuesta a los demás participantes.

Todos los datos experimentales se obtuvieron de 16 estudiantes mujeres y 8 hombres del programa de diseño industrial de la Pontificia Universidad Javeriana en Bogotá. Todos los alumnos eran de quinto a décimo semestre y con edades comprendidas entre los 19 y los 25 años. Los participantes fueron seleccionados de una muestra variable de condiciones y características que permiten una experiencia media en el desarrollo de proyectos de diseño industrial para lograr una ejecución de propuestas de nivel intermedio.

Durante la prueba, todos los estudiantes fueron monitoreados mediante el uso de 4 cámaras de alta definición, conectadas en las esquinas del laboratorio para evaluar movimientos, gestos y fijaciones visuales, que se relacionan con la atención. Para cada escena, uno de los estudiantes estaba usando una diadema EMOTIV EPOC EEG de 14 electrodos para medir los niveles de atención sostenida y atención selectiva. Otro estudiante estaba usando unas gafas de seguimiento ocular marca Tobii (ET) para medir los niveles de atención según los puntos de mirada y las fijaciones visuales. Las encuestas de percepción se respondieron al final de cada etapa. Toda la información fue analizada con el fin de verificar los niveles de atención y coherencia frente a las configuraciones de iluminación que fueron definidas en cada escena. La Figura 1 muestra la distribución de los estudiantes dentro del laboratorio por cada escena para evaluar el Sistema de Iluminación Dinámica.

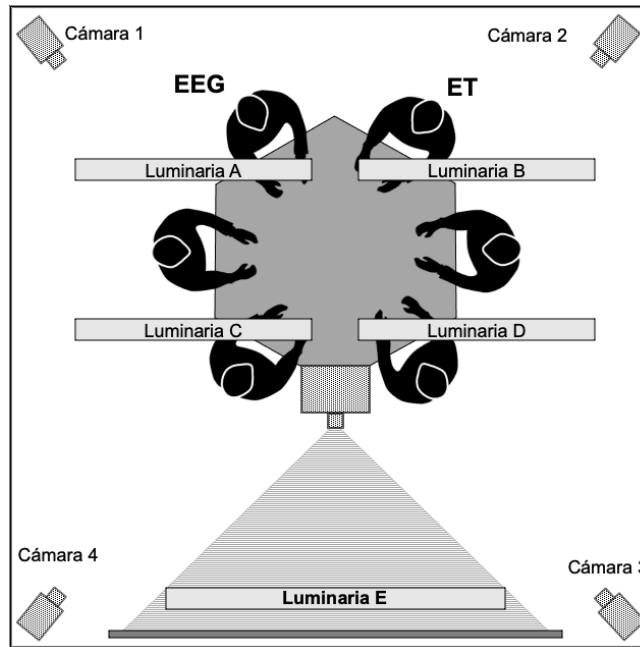


Fig. 1. Distribución de los estudiantes dentro del laboratorio para cada escena.

B. Sistema de Iluminación Dinámica SID

Se diseñó, desarrolló e instaló un sistema de iluminación dinámica SID en el laboratorio para permitir diferentes niveles de configuración de iluminancia y temperatura de color para crear una variedad de ambientes según las necesidades del usuario. El sistema tiene cinco luminarias, y cada luminaria contiene dos tiras de LED con diferentes temperaturas de color (2500 K y 7200 K). El sistema utiliza una técnica de blanco sintonizable (tunable white) controlando la intensidad de las dos cargas de tira de LED de forma independiente. La intensidad relativa de las dos tiras de leds determina la temperatura de color resultante y los niveles de iluminancia de cada luminaria. La Figura 2 presenta un diagrama de bloques del sistema de iluminación dinámica DLS.

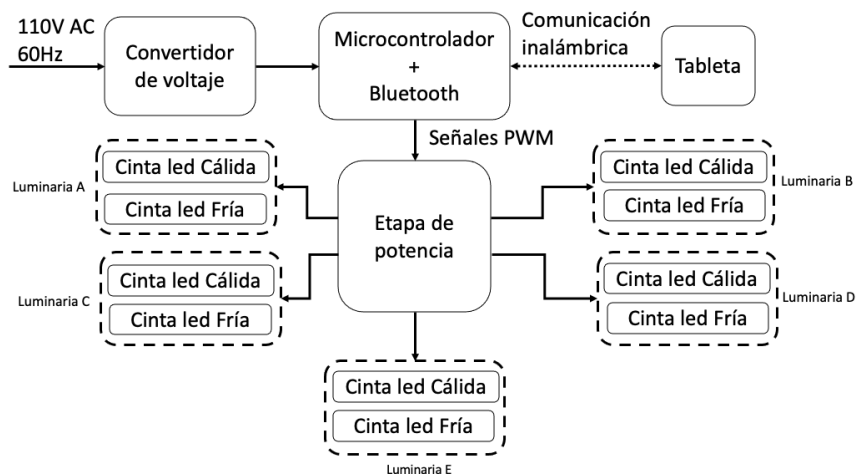


Fig. 2. Diagrama de bloques del Sistema de Iluminación Dinámica.

1) Configuración de hardware. El Sistema de Iluminación Dinámica SID está compuesto por un microcontrolador ATmega 328P-AU, una etapa de conmutación de potencia basada en transistores, cinco luminarias y un módulo Bluetooth para permitir la comunicación con una aplicación. Cada tira de leds recibe una señal PWM (Pulse Width Modulation) de forma independiente para configurar las condiciones de iluminación según la actividad que se vaya a desarrollar. La Figura 3 muestra una imagen del sistema de iluminación dinámica DLS que se está instalando dentro del laboratorio.



Fig. 3. Foto de la instalación del sistema de iluminación dinámica dentro del laboratorio.

2) Software. Se desarrolló un software para configurar desde una tableta las condiciones de iluminación en el Sistema de Iluminación Dinámica SID de acuerdo con la actividad que se va a desarrollar. La Figura 4 presenta un diagrama de flujo del sistema de iluminación dinámica.

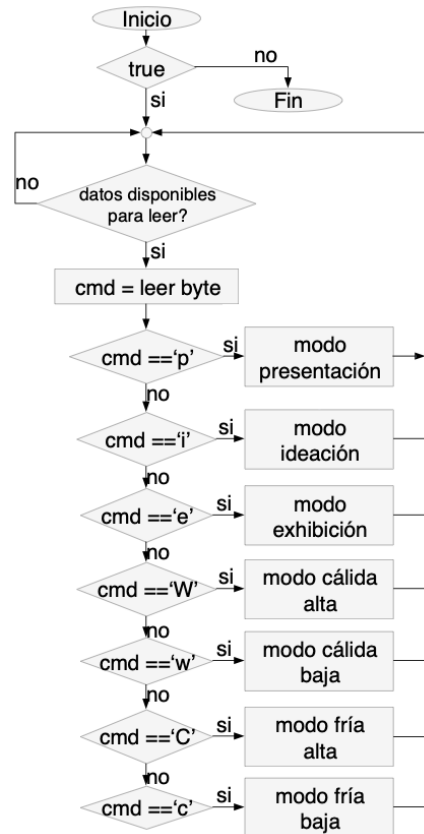


Fig. 4. Diagrama de flujo con la descripción del algoritmo que fue implementado en el sistema de iluminación dinámica.

III. RESULTADOS

El SID fue evaluado experimentalmente dentro del laboratorio con 24 estudiantes de diseño industrial bajo diferentes condiciones de iluminación de acuerdo con cada escena que se definió previamente en la Tabla 1. Para cada escena, los datos recolectados de las gafas de seguimiento ocular, la diadema EEG y las cuatro cámaras, fueron analizados para comparar los niveles de atención de los estudiantes durante cada actividad de presentación, ideación y exhibición.

La atención visual de los participantes se midió con las gafas de seguimiento ocular en base a puntos de mirada, fijaciones visuales y mapas de calor en diferentes Áreas de Interés (AOI). Un área de interés es una herramienta que se utiliza para seleccionar un área del estímulo visual con el fin de obtener métricas visuales específicas relacionadas con esa área. En la etapa de presentación se definió el área de interés como el área de la pantalla del proyector de video. En la etapa de

ideación se definió el área de interés en el escritorio donde los participantes estaban dibujando y escribiendo. En la etapa de exhibición se definió el área de interés en la pared frontal donde los participantes observaban y escuchaban la exposición de la solución propuesta por uno de los otros estudiantes. Las Figuras 5 y 6 muestran un mapa de calor de los puntos de mirada que se midieron durante la etapa de presentación e ideación, respectivamente, para condiciones de iluminación cálida alta y fría alta.

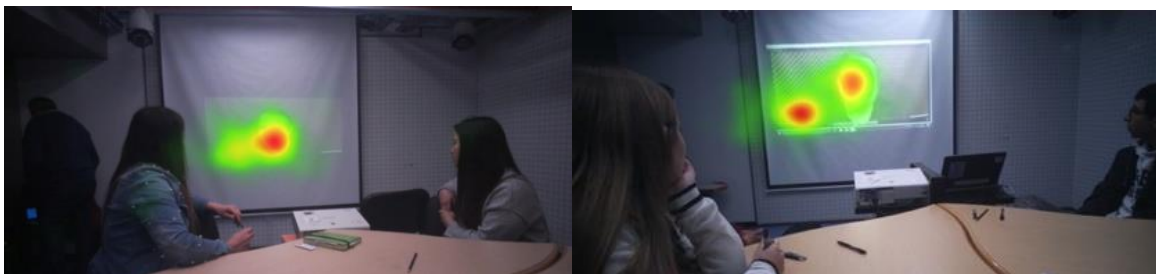


Fig. 5. Mapa de calor de puntos de mirada en la etapa de presentación. La foto de la izquierda corresponde a la escena A: iluminación cálida alta. La foto de la derecha corresponde a la escena C: iluminación fría alta.

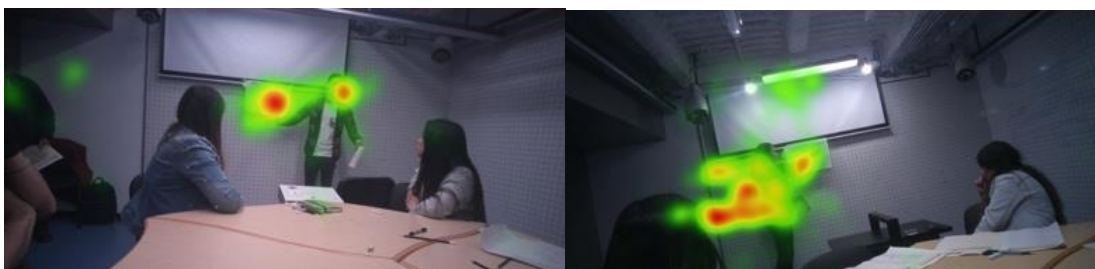


Fig. 6. Mapa de calor de puntos de mirada en la etapa de exhibición. La foto de la izquierda corresponde a la escena A: iluminación cálida alta. La foto de la derecha corresponde a la escena C: iluminación fría alta.

La Tabla 2 muestra las métricas de atención visual durante las etapas de presentación y exhibición.

Tabla 2. Atención visual durante la etapa de presentación y exhibición usando gafas de seguimiento ocular.

Escena	Tiempo duración etapa de presentación (ms)	Tiempo de fijaciones visuales en la etapa de presentación (%)	Tiempo duración etapa de exhibición (ms)	Tiempo de fijaciones visuales en la etapa de exhibición (%)
Escena A: cálida alta	167933	68%	73572	53%
Escena B: cálida baja	182267	64%	102132	21%
Escena C: fría alta	183721	66%	118329	41%
Escena D: fría baja	178764	45%	96366	45%

Se utilizó la diadema Emotiv Epoc EEG para medir los niveles de atención sostenida y atención selectiva. La atención sostenida se caracteriza por un aumento de las ondas beta junto con ondas alfa atenuadas y se define como la dirección consciente de la atención hacia los estímulos relevantes para la tarea. La atención selectiva es una medida de la atención fija a una tarea específica, así como la frecuencia con la que la atención cambia entre tareas. Las Figuras 7 a 9, muestran los niveles de atención sostenida de los estudiantes durante las etapas de presentación, ideación y exhibición para diferentes condiciones de iluminación. La Figura 10 muestra los niveles de atención selectiva de los estudiantes durante la etapa de ideación para diferentes condiciones de iluminación. Los datos fueron escalados para ajustarse a una escala de 0 a 1.

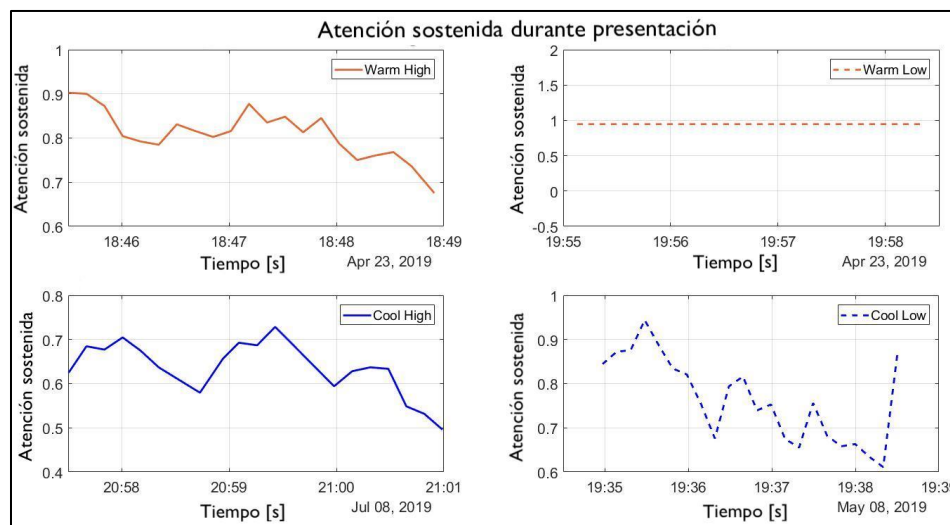


Fig. 7. Niveles de atención sostenida durante la etapa de presentación.

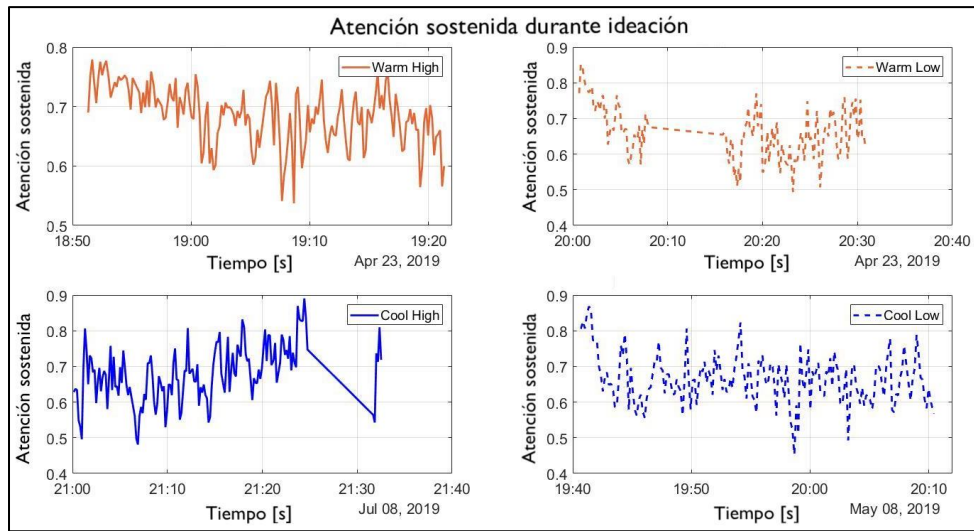


Fig. 8. Niveles de atención sostenida durante la etapa de ideación.

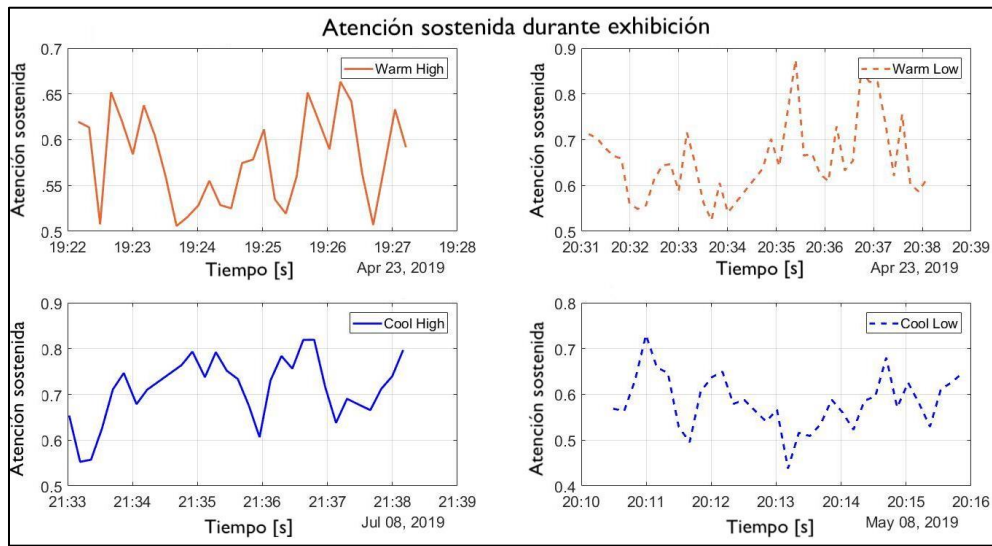


Fig. 9. Niveles de atención sostenida durante la etapa de exhibición.

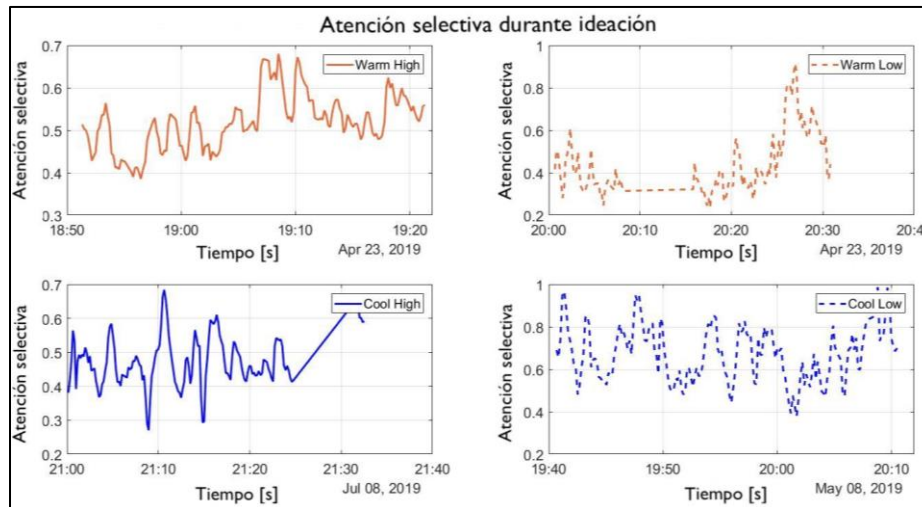


Fig. 10. Niveles de atención selectiva durante la etapa de ideación.

Las Tablas 3, 4 y 5 muestran los niveles promedio de atención sostenida y atención selectiva durante las etapas de presentación, ideación y exhibición.

Tabla 3. Niveles promedio de atención sostenida y atención selectiva usando la diadema EEG en la etapa de presentación.

Escena	Atención sostenida (escala de 0 a 1)	Atención selectiva (escala de 0 a 1)	Nivel máximo de atención sostenida
Escena A: cálida alta	0.8104	0.4339	0.1961
Escena B: cálida baja		0.2942	-0.2770
Escena C: fría alta	0.6342	0.4672	-0.0275
Escena D: fría baja	0.7642	0.5322	-0.0980

Tabla 4. Niveles promedio de atención sostenida y atención selectiva usando la diadema EEG en la etapa de ideación.

Escena	Atención sostenida (escala de 0 a 1)	Atención selectiva (escala de 0 a 1)	Nivel máximo de atención sostenida
Escena A: cálida alta	0.6853	0.5206	0.6274
Escena B: cálida baja	0.6605	0.4419	0.3983
Escena C: fría alta	0.6814	0.4740	-0.0400
Escena D: fría baja	0.6641	0.6723	0.2980

Tabla 5. Niveles promedio de atención sostenida y atención selectiva usando la diadema EEG en la etapa de exhibición.

Escena	Atención sostenida (escala de 0 a 1)	Atención selectiva (escala de 0 a 1)	Nivel máximo de atención sostenida
Escena A: cálida alta	0.5796	0.5434	0.5997
Escena B: cálida baja	0.6613	0.4683	0.3385
Escena C: fría alta	0.7127	0.6209	0.0193
Escena D: fría baja	0.5841	0.6875	0.2624

IV. DISCUSIÓN

Al analizar los datos de las gafas de seguimiento ocular y las métricas de rendimiento de la diadema Emotiv Epoc EEG, los resultados muestran que los niveles más altos de iluminancia pueden aumentar la atención selectiva de los estudiantes de diseño durante el desarrollo de actividades como presentación, ideación y exhibición. Con condiciones de temperatura de color fría e iluminancia alta, los estudiantes obtuvieron puntos de mirada más dispersos y pasaron menos tiempo haciendo fijaciones. Los estudiantes durante las condiciones de alta iluminación cálida dedicaron más tiempo al realizar fijaciones visuales en los estímulos visuales del área de interés y esto podría relacionarse con una mayor atención visual. Durante la actividad de presentación, donde los estudiantes están escuchando la instrucción de un profesor o viendo una proyección en una pantalla, los niveles de atención sostenida fueron mayores con temperaturas de color cálidas (2800 K). Durante la actividad de ideación, donde los estudiantes están bocetando, generando soluciones alternativas y llevando a cabo procesos de ideación, los niveles de atención sostenida y atención selectiva fueron mayores con temperaturas de color cálidas (2800 K). Durante la actividad de exhibición, donde los estudiantes están escuchando una exposición de otro estudiante que está presentando su propio trabajo, los niveles de atención selectiva fueron mayores con una temperatura de color fría (6500 K) pero el tiempo dedicado a las fijaciones visuales fue mayor con una temperatura de color cálida (2800 K). Con estos resultados, una temperatura de color cálida puede resultar útil para incrementar los niveles de atención de los estudiantes cuando están desarrollando una sola tarea. Una

temperatura de color fría puede ser útil cuando los estudiantes necesitan desarrollar múltiples actividades como escuchar, escribir y ver una exposición.

V. CONCLUSIONES

Se diseñó e implementó un sistema de iluminación dinámica SID basado en la técnica blanco sintonizable dentro de un laboratorio para evaluar los niveles de atención de 24 estudiantes de diseño durante el desarrollo de sus principales actividades como presentación, ideación y exhibición bajo diferentes condiciones de iluminación. Los niveles de atención de los estudiantes se analizaron en función de los datos recopilados de unas gafas de seguimiento ocular y una diadema Emotiv EPOC EEG con 14 electrodos. Los resultados del experimento mostraron que los niveles promedio de atención son mayores con niveles más altos de iluminancia (800 lx) y con una temperatura de color cálida (2800 K). Con temperaturas de color frías (6500 K) los estudiantes estaban más alerta y las fijaciones visuales estaban más dispersas reduciendo la atención visual.

El SID funciona con una App instalada en una tableta, que permite a los usuarios configurar las condiciones de iluminación artificial según el tipo de actividad que se vaya a realizar dentro del aula.

El SID fue útil para la prueba y como prototipo se puede utilizar para desarrollar en futuros trabajos un sistema de iluminación dinámica capaz de medir la luz natural mediante el uso de sensores para combinar luz natural y artificial con el fin de obtener las condiciones de iluminación deseadas y reducir el consumo de energía para que se pueda implementar dentro de un aula.

El protocolo de prueba que se implementó logró validar que podemos medir las variables de interés para la investigación y en términos generales se pudo verificar que la iluminación en las aulas de diseño afecta los procesos de enseñanza y aprendizaje. El protocolo de prueba se puede utilizar en trabajos futuros para obtener más datos y aumentar el número de participantes con el fin de validar los resultados.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Andrés-Eduardo Nieto-Vallejo: Recolección datos, Análisis Formal, Software, Validación, Escritura-borrador original, Escritura- revisión y edición.

Jorge-Enrique Camacho: Conceptualización, Recolección datos, Metodología, Administración del proyecto, Escritura-borrador original.

Roberto Cuervo-Pulido: Conceptualización, Metodología, Escritura-borrador original, Escritura- revisión y edición.

Edgar Hernández-Mihajlovic: Conceptualización, Metodología, Escritura-borrador original.

FINANCIAMIENTO

Este artículo es parte de los resultados del proyecto de investigación “Incidencia del ambiente lumínico de las aulas en los procesos de enseñanza-aprendizaje para la formación de arquitectos y diseñadores” que fue financiado por la Pontificia Universidad Javeriana.

REFERENCIAS

- [1] W. Van Bommel, G. Beld, “Lighting for work: a review of visual and biological effects,” *Lighting Research and Technology*, vol. 36, no. 4, pp. 255-269, 2004. <https://doi.org/10.1191/1365782804li122oa>
- [2] A. Hameed, S. Amjab, “Impact of Office Design on Employee’s Productivity: A case study of Banking Organizations of Abbottabad Pakistan,” *Journal of public affairs, Administration and Management*, vol. 3, no. 1, pp. 1-13, 2009
- [3] A. Michael, C. Heracleous, “Assesment of natural lighting performance and visual comfort of educational architecture in Southern Europe,” *Energy and buildings*, vol. 140, pp. 443-457, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.087>
- [4] M. Winterbottom, A. Wilkins, “Lighting and discomfort in the classroom,” *Journal of Environmental Psychology*, vol. 29, no. 1, pp. 63-75, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2008.11.007>
- [5] M. Arbelaez. “Las representaciones mentales,” *Revista de Ciencias Humanas*, vol 29, pp. 1-8, 2002
- [6] L. Bellia, F. Bisegna, G. Spada, “Lighting in indoor environments: Visual and non-visual effects of light sources with different spectral power distributions,” *Building and Environment*, vol. 46, no. 10, pp. 1984-1992, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.04.007>
- [7] C. Barkmann, N. Wessolowski, M. Schulte-Markwort, “Applicability and efficacy of variable light in schools,” *Physiology and behavior*, vol. 105, no. 3, pp. 621-627, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2011.09.020>
- [8] S. B. M. Tamrin, Y.G. N. Guan, C.C. Sia, K. Karmegan, “Effects of light’s colour temperatures on visual comfort level, task performances, and alertness among students,” *American Journal of Public Health Research*, vol. 1, no. 7, pp. 159-165, 2013. <https://doi.org/10.12691/ajphr-1-7-3>

- [9] Y. Chen, Q. Sun, "Artificial intelligent control for indoor lighting basing on person number in classroom," in *9th Asian Control Conference*, Istanbul, 2013, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/ASCC.2013.6606030>
- [10] Suresh S., H. N. S. Anusha, T. Rajath, P. Soundarya, S. V. P. Vudatha, "Automatic lighting and Control System for Classroom," in *International Conference on ICT in Business Industry & Government*, Indore, 2016, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICTBIG.2016.7892666>
- [11] Y. Wu, X. Pan, J. Yang, C. Yu, "Design and simulation of the auto-control system of classroom lights," in *International Conference on Automatic Control and Artificial Intelligence*, Xiamen, 2012, pp. 794-798. <https://doi.org/10.1049/cp.2012.1097>
- [12] L. Martirano, "Lighting systems to save energy in educational classrooms," in *10th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, Rome, 2011, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/EEEIC.2011.5874691>
- [13] J. Luansheng, L. Chunxia, G. Xiumei, M. Chongxiao, "The Design of Intelligent Lighting System in College Classroom," *Energy Procedia*, vol. 17, pp. 90-95, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.02.068>
- [14] L. Changsong, D. Shuxia, "The research of LED intelligent lighting system based on the fractional order controller," in *IEEE Workshop on Advanced Research and Technology in Industry Applications*, Ottawa, 2014, pp. 469-471. <https://doi.org/10.1109/WARTIA.2014.6976297>
- [15] A. Gupta, P. Gupta, J. Chhabra, "IoT based power efficient system design using automation for classrooms," in *Third International Conference on Image Information Processing*, Wagnaghat, 2015, pp. 285-289. <https://doi.org/10.1109/ICIIP.2015.7414782>
- [16] A. Silitonga, I. G. L. W. Indrawan, "Blind and lighting control to maintain comfort light intensity of the classroom utilizing Microcontroller ATmega8535," in *International Conference on Information Technology and Electrical Engineering*, Yogyakarta, 2013, pp. 438-443. <https://doi.org/10.1109/ICITEED.2013.6676282>
- [17] A. Kim, S. Wang, L. McCunn, "Building value proposition for interactive lighting systems in the workplace: Combining energy and occupant perspectives," *Journal of Building Engineering*, vol. 24, e100752, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100752>
- [18] W. Bando, M. Miki, N. Hiroaki, R. Tomioka, H. Aida, "Lighting Control to Optimize the Illuminance and Color Temperature Satisfaction in Working Areas," in *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Japan, 2018, pp. 2335-2340. <https://doi.org/10.1109/SMC.2018.00401>
- [19] Y. Lin, W. Cheng, C. Wu, Y. Sun, "An intelligent lighting control system based on ergonomic research," in *International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks*, XianNing, 2011, pp. 4744-4747. <https://doi.org/10.1109/CECNET.2011.5768912>
- [20] E. Hansen, S. Nielsen, D. Georgieva, K. Schledermann "The Impact of Dynamic Lighting in Classrooms. A Review on Methods," In: Brooks A., Brooks E., Vidakis N. (eds). *Interactivity, Game Creation, Design, Learning, and Innovation*, Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76908-0_46
- [21] B. Sun, Zhang, Cao, "Development and Implementation of a Self-Optimizable Smart Lighting System Based on Learning Context in Classroom," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17. no. 4, e1217, 2020. <https://doi.org/10.3390/ijerph17041217>