

Evaluación de carga mental en tareas de cálculo mental bajo distintas temperaturas de iluminación

Mental work load assessment in mental calculation tasks under different lighting temperatures

Alejandrina Ortiz-Rodríguez¹✉, Aidé Aracely Maldonado-Macías¹, Carlos Solís-Téllez

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

RESUMEN

La iluminación es un factor para el confort del trabajo. En cuanto a las deficiencias de iluminación en oficinas se tiene que estudios afirman que la iluminación mal empleada incrementa la carga mental ocasionando efectos adversos a trabajadores de oficina como trastornos físicos y emocionales. Los objetivos de esta investigación es recabar información de síntomas reportados por 38 participantes sobre su percepción de los efectos de iluminación en su trabajo y evaluar la carga mental percibida durante la ejecución de dos tareas de cálculo mental bajo tres diferentes temperaturas de iluminación en 3 individuos que trabajan en oficinas por más de 8 horas consecutivas. El estudio se realizó en Ciudad Juárez, Chihuahua, México, en un espacio controlado de iluminación, sonido y ondas electromagnéticas en una cámara anecoica en la cual se simuló una oficina. El estudio consistió en una encuesta aplicada a 38 participantes. Posteriormente, tres voluntarios realizaron dos tareas de cálculo mental en un tiempo de 15 minutos, bajo tres diferentes temperaturas de iluminación. La carga mental percibida se evaluó mediante el método NASA-TXL. Como resultado se obtuvo que no existe diferencia estadística significativa en los tres individuos, sin embargo, con el método NASA las dimensiones con las puntuaciones más altas son exigencia mental, exigencia temporal y nivel de frustración.

PALABRAS CLAVE: carga mental; grados Kelvin; iluminación; NASA-TXL; temperatura.

ABSTRACT

Lighting is one of the most important factors for work comfort. Regarding the deficiencies of lighting in offices, studies have affirmed that improperly used lighting increases the mental workload causing adverse effects to office workers such as physical and emotional disorders. The objectives of this research is to collect information on symptoms reported by 38 participants about their perception of the effects of lighting in their work and to evaluate the perceived mental workload during the execution of two mental calculation tasks under three different lighting temperatures in 3 individuals who work in offices for more than 8 consecutive hours. The study was carried out in Ciudad Juarez, Chihuahua, Mexico, in a controlled space of lighting, sound and electromagnetic waves in an anechoic chamber in which an office was simulated. The study consisted of a survey applied to 38 participants. Subsequently, 3 volunteers carried out two mental calculation tasks in a time of 15 minutes, under three different lighting temperatures. The perceived mental workload was evaluated using the NASA TXL-method. As results, it was obtained that there is no statistically significant difference in the three individuals, however with the NASA method the dimensions with the highest scores are mental demand, time demand and level of frustration.

KEYWORDS: mental workload; Kelvin degrees; illumination; NASA-TXL; temperature.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Alejandrina Ortiz Rodríguez
INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez / Instituto de Arquitectura, Diseño y Arte (IADA)
DIRECCIÓN: Av. del Charro 450 norte, col. Partido Romero, C. P. 32310, Ciudad Juárez, Chihuahua, México
CORREO ELECTRÓNICO: al194522@alumnos.uacj.mx

Fecha de recepción: 28 de abril de 2021. **Fecha de aceptación:** 10 de noviembre de 2021. **Fecha de publicación:** 17 de diciembre de 2021.



I. INTRODUCCIÓN

El creciente uso de la tecnología, procedimientos y tareas complejos demandan a su vez mayores recursos atencionales de los usuarios u operadores humanos. Dichos recursos son limitados y se dedican a la realización de aquellas tareas más relevantes que pueden llegar a ser excesivamente demandantes y generar carga mental [1].

La definición de carga mental es aún objeto de discusión, ya que hasta el momento se carece de un consenso entre autores, sin embargo, la mayoría de ellos concuerda en que representa la proporción de recursos atencionales que demanda una tarea o grupo de tareas, así como aquella función que relaciona los recursos mentales demandados por las tareas y los recursos disponibles del operador humano para su realización. Dichas tareas implican actividades de procesamiento de información a partir de conocimiento previo, así como de razonamiento para la búsqueda de soluciones de problemas, toma de decisiones y memorización, monitoreo, detección y diagnóstico de fallas, entre otras [1], [2]. También existe cierto debate con respecto a la naturaleza de la carga mental. Por ello, en este trabajo se adopta aquella teoría que atribuye su origen a un conjunto de estresores derivados de la tarea, ambiente y organización que interactúan y que tienen un efecto en el individuo y en su desempeño [3].

Una de los estresores relacionados con el ambiente que genera carga mental es la iluminación general dentro de un espacio donde se realizan tareas cognitivas. La iluminación ha sido objeto de estudio por más de 90 años y como resultado existe una creciente comprensión de cómo las condiciones de iluminación y el sistema visual interactúan para facilitar el rendimiento visual y disminuir la fatiga visual que, a su vez, afecta la percepción del usuario. Esto se debe al sistema circadiano: cómo la luz entra por los ojos [4].

Existe una gran variedad de estudios de iluminación y el efecto dominó en el ciclo biológico, entre ellos el que demostró cómo influencia la iluminación en calidad de carga mental, analizando el diámetro de la pupila y exponiendo a los participantes a diferentes niveles de iluminación [5]. Sin embargo, aún no se ha llegado al zenit de la identificación óptima de iluminación para el confort visual y la percepción del espacio [6].

Como antecedente del problema se han presentado evidencias, p. ej., el estudio de la pupila antes mencionado,

donde la iluminación es uno de los factores más importantes para el confort en el trabajo y, otras, como aquella que indica que la temperatura del color de la iluminación puede contribuir a la concentración, salud mental, estado de ánimo positivo, funcionamiento social y pensamiento claro [7].

Antecedentes

Las causas del estrés que afectan el desempeño de actividades pueden tener el origen en trastornos psicofísicos que experimentan los trabajadores desde la llegada al lugar de trabajo, donde se encuentran con situaciones que los ponen en alerta, como áreas de trabajo tumultuosas en las que hay que recorrer grandes distancias con herramientas de trabajo, el tiempo justo, registrar la hora de entrada puntual, retrasos y otros factores, incluidas situaciones no habituales, que pueden llegar a ser estresantes, provocando ansiedad, taquicardia, taquipnea, hipertensión, reducción de la presión parcial de oxígeno, el ruido, la vibración, incluso la temperatura no confortable, la alta humidificación y la inmovilización. Estas circunstancias influyen negativamente en el trabajador, pudiendo llegar a una situación de estrés [8].

La mayoría de los estudios previos han demostrado que el confort en el trabajo es un estado emocional complejo que implica varios factores de carácter personal, tales como factores de diseño. De acuerdo a la psicología ambiental y a empresas constructoras de naves industriales, los factores que influyen la percepción ambiental, causando estrés/fatiga dentro del área de trabajo de operadores, son: falta de espacio, asientos incómodos, pasillos con obstáculos de materia prima, ruido y vibración de las máquinas, pudiendo causar incomodidad la iluminación general; la iluminación individual, que en mucho de los casos no funciona; y la saturación de elementos en el área de trabajo.

La iluminación es un factor importante, ya que los diferentes flujos y colores de iluminación manipulan el estado de ánimo del usuario. La iluminación incorrecta y la temperatura del color mal empleada dentro de la nave industrial generan estrés en el operador. Una iluminación deslumbrante es perturbadora y molesta para la vista debido a que es tan intensa que genera fatiga visual, sobre todo en un espacio donde hay muchos factores que tienen reflejo por el material de la superficie y, por consiguiente, lleva al operador a un estado de crisis mental que genera el estrés. La iluminación de baja in-

tensidad también provoca un ambiente de inseguridad para el operador, ya que su visión es borrosa y lo conduce a sentir angustia. Esta emoción es muy frecuente durante la jornada de trabajo, pero también puede contagiarse a los demás operadores y, por tanto, puede ser perjudicial para el desempeño de actividades.

Síntomas de carga mental en el trabajo

La carga mental en el trabajo es un concepto que se utiliza para referirse a la proporción de recursos mentales demandados por las tareas y los recursos disponibles del operador humano para su realización. Sin embargo, su origen es multidimensional y se relaciona a su vez con conjunto de estresores percibidos por la persona por las exigencias del trabajo mental que realiza. En cualquier empleado, la conexión entre las exigencias de su tarea y los recursos mentales destinados para atender tales exigencias contribuyen a determinar la carga mental de trabajo [9].

La carga mental está relacionada con tareas que implican fundamentalmente procesos cognitivos, procesamiento de información, aspectos afectivos, por ejemplo, las tareas que contienen cierta energía e intervalo de esfuerzo mental de la persona en términos de concentración, atención, memoria, coordinación de ideas, toma de decisiones, autocontrol de emociones necesarios para un desempeño deseable.

El desempeño de la persona con respecto a las facultades cognitivas que hacen factible las actividades mentales, configura sus medios personales para objetar a las peticiones del trabajo mental. Las cualidades de retención, inteligencia, percepción, atención, aprendizaje, etc., son requerimientos que cambian de un trabajador a otro y también pueden ser diferentes dependiendo en los distintos puntos de su vida. Por ejemplo, pueden fortalecerse al adquirir nuevos conocimientos útiles, cuando se conocen tácticas de respuestas más efectivas respecto a trabajo preciso, pero en situaciones físicas o mentales contrarias, pueden estropearse o atenuarse [10].

En general, las condiciones del área de trabajo, en conjunto con la variedad de elementos que generan la carga mental y que aumentan la exigencia la persona que lo experimenta, han referirse para cada lugar o ambiente del lugar de trabajo y pueden converger según de donde provengan:

- sobre los pedidos a la labor a cumplir;

- sobre las condiciones del trabajo y
- externamente del espacio profesional (después del tiempo de trabajo).

Las características individuales influyen en la rigidez que incitan en el individuo las diferentes imposiciones que se derivan de ella. Las características particulares son:

- El grado de anhelo, autoconfianza, estimulación, maneras y obstinación del individuo.
- La cualificación, los conocimientos, la experiencia y las capacidades.
- La edad, nutrición, salud, condición física y estado en general.
- Nivel inicial de activación.

La práctica de tareas o acciones muy largas, similares o monótonas puede originar adormecimiento, reducción de la habilidad de reacción y concluir en una fase de aceleración minúscula de pausado progreso que se convierte en oscilaciones en la productividad, así como una desagradable sensación personal de monotonía. Esta se etiqueta como hipovigilancia, que es un trastorno de la estructura de la conciencia en el que existe una disminución del nivel de la atención y de alerta, junto a un entorpecimiento y letargo de la esfera sensorial, motora, cognitiva y afectiva si las acciones emanan de la ejecución de trabajos de atención, principalmente en diligencias de localización muy poco cambiadas. El estado de congestión mental del individuo se puede mostrar en ocupaciones de escenarios de trabajo continuo, en las que se tiene la impresión de inmovilización, de que no se progresa nada o de que no llevan a nada; se identifica por inseguridad nerviosa, fuerte rechazo emocional de la situación o de la tarea repetitiva y otros síntomas adicionales como cólera, enojo, disminución del rendimiento y sentimientos de fatiga e inclinación a renunciar al trabajo.

Planteamiento del problema

Para plantear el problema se presentan evidencias de que las deficiencias de iluminación, tanto general como enfocada en el lugar de trabajo, produce efectos adversos en salud y seguridad, en el desempeño en un ambiente de oficina. Asimismo, se presentan estudios donde la deficiente iluminación puede contribuir a elevar carga mental de trabajo en oficina.

En cuanto a la escasez de iluminación en oficinas, se tiene que ciertos autores [11] afirman que la iluminación

deficientemente aplicada acrecienta la carga mental, ya que produce efectos desfavorables para los trabajadores de oficina, tales como trastornos oculares, fatiga, efectos anímicos y demás. Cabe mencionar que el ser humano no debe estar expuesto a la misma temperatura de iluminación por más de 24 horas, ya que afecta su ritmo circadiano.

En lo que se refiere a efectos adversos en la salud y seguridad, diversos autores han encontrado que la luz es la principal señal para sincronizar el cuerpo humano con el sistema circadiano [4]. Por lo tanto, uno de los factores que genera la carga mental es la iluminación general dentro de un espacio donde se realizan tareas cognitivas. Se realizó un estudio en el cual se demostró cómo influencia la iluminación como carga mental, analizando el diámetro de la pupila y exponiendo a los participantes a diferentes niveles de iluminación, sin embargo, este estudio tuvo algunas limitantes, por ejemplo, que los participantes fueron expuestos a discretos niveles de iluminación y tareas fáciles de realizar. Como resultado, se obtuvieron solo algunos datos para realizar un modelo preliminar que ayude con investigaciones futuras para determinar la carga mental de trabajo por medio de la pupila [3].

No obstante, la carga mental es un fenómeno complejo para los trabajadores de oficina, si bien se han hecho estudios del comportamiento de la pupila y se ha demostrado que la luz LED puede causar molestias visuales por el deslumbramiento [7]. Sin embargo, otro estudio ha confirmado que los trabajadores de oficina que están expuestos a iluminación general por medio de luz LED, a lo largo de la jornada se iba incrementando la fatiga visual y, por ende, la carga mental. Por consiguiente, según los datos recolectados de una serie de pruebas, la pupila incrementaba su tamaño por mayor fatiga visual, sin embargo, este estudio solo se realizó a 24 personas (19 hombres y 5 mujeres) y sus limitantes fueron que usaron discretos niveles de iluminación en tareas e introduciendo largos momentos de descanso entre un cambio de luz a otro, pero no se tomó en cuenta el modelado real del cambio de tamaño de pupila en tornos realistas [3].

En cuanto a los efectos de iluminación y la temperatura de iluminación, otra evidencia está en un estudio [7] en el cual se analizaron 20 artículos de investigación de 2002 a 2017 respecto a la iluminación de oficina, en que se concluyó que, a grandes rasgos, la temperatura de la iluminación influye en la concentración, la salud mental, el estado de ánimo positivo, el funcionamiento so-

cial y el pensamiento claro. También, en los parámetros de sueño la temperatura de color influye en el estado de alerta, el horario de sueño diario, la disfunción diurna, el rendimiento diurno, la energía, la fatiga nocturna, el letargo, la duración del sueño, la calidad del sueño, la actividad autoinformada, la somnolencia durante el día y el cansancio. Esto se debe al ciclo circadiano, que es un efecto dominó en el ser humano, ya que en la luz natural cambia su temperatura de color durante el día y ayuda al usuario a cumplir con este ciclo. Estos aspectos pueden ser incluidos en los requerimientos de diseño de luminarias para que tenga un efecto en la disminución de la carga mental de trabajo [7].

En cuanto al desempeño de trabajo, adicionalmente se encuentran las evidencias del problema, ya que algunos autores afirman que la iluminación general influencia la carga mental de trabajadores de oficina observando la dilatación de la pupila. Como limitaciones, solo se proporcionaron algunos datos para completar un estudio futuro [3]. Por otro lado, la temperatura de la iluminación influye en la concentración, la salud mental, el estado de ánimo positivo, el funcionamiento social y el pensamiento claro [7]. También influye en el ciclo circadiano que, a su vez, es un factor importante que influye en la carga mental en trabajo de oficina. De acuerdo a lo planteado y las evidencias del problema, se presenta la oportunidad de investigación en cuanto al análisis cognitivo de carga mental bajo un espacio controlado de iluminación, ruido y ondas electromagnéticas.

Objetivos

Los objetivos de esta investigación son recabar información por medio de una encuesta aplicada sobre los síntomas reportados por 38 participantes acerca de su percepción de los posibles efectos de la iluminación en su trabajo y evaluar la carga mental percibida durante la ejecución de dos tareas cálculo mental bajo tres diferentes temperaturas de iluminación en 3 individuos que reportan estar trabajando en oficinas por más de 8 horas consecutivas.

II. METODOLOGÍA

Participantes

Se realizó una encuesta con una muestra de 38 personas que trabajan o estudian en un interior, expuestos a iluminación artificial por más de 8 horas y que al menos

vivieron en Ciudad Juárez, Chihuahua, por 18 meses consecutivos, esto por cuestiones de geografía y factores meteorológicos. Todos los participantes fueron informados acerca de los objetivos y métodos de este estudio y se les pidió su consentimiento por escrito para el uso y publicación de los datos recolectados y se les aplicó una encuesta de sintomatología. Posteriormente, se realizó un estudio experimental a conveniencia (3 participantes) en una cámara anecoica, que es un espacio interior controlado para absorber en su totalidad ondas acústicas y electromagnéticas, situado en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Los 3 participantes realizaron seis tareas por sesión (2 tareas con 3 diferentes temperaturas).

Materiales para el experimento

1. Calculadora Casio fx-115ES PLUS para resolver los problemas de las tareas de cálculo.
2. Cámara de vídeo marca Samsung, modelo A20, para tomar evidencia del experimento.
3. Mesa de trabajo en la cual se realizó el experimento.
4. Computadora *laptop* marca Acer, como apoyo para el experimento.
5. Luminarias de temperaturas de 2700 K, 4000 K y 6500 K, marca Estevez Smart, con las cuales el experimento se llevó a cabo.
6. Software Excel, para obtener la frecuencia de la encuesta de sintomatología.
7. Microsoft Word Pad, para la tarea de redacción, con el propósito de quienes hicieron el experimento no tuvieran la oportunidad de corregir los errores.
8. Microsoft Word, para toda la redacción del documento de investigación.
9. Minitab17, para el análisis de datos estadísticos, se utilizó para el desarrollo de los estadísticos descriptivos.

Método

Se realizó un estudio cuantitativo y cuasi experimental de sintomatología y percepción para evaluar la frecuencia de los síntomas de carga mental. En este estudio, se utilizó Excel para analizar el nivel y frecuencia de la sintomatología adquirida por las respuestas de los individuos encuestados. Para empezar, se aplicó una encuesta a 38 personas para obtener la información necesaria que permita saber el nivel de sintomatología de los encuestados. La investigación de tipo cuasi experimental, con una muestra de 3 individuos, población a conveniencia

por contingencia. Los voluntarios realizaron una serie de tareas en tiempo controlado y dos diferentes temperaturas de iluminación para medir la percepción, mediante el llenado del formato usado por el método NASA-TLX, que es un instrumento de valoración de carga mental basado en una media ponderada de las puntuaciones en seis dimensiones, que son: exigencia mental, exigencia física, exigencia temporal, rendimiento, esfuerzo y nivel de frustración para resultados subjetivos.

Muestra de la encuesta de sintomatología

Para obtener los resultados de sintomatología, se tomó como muestra a 38 individuos con características específicas: los participantes encuestados fueron aquellos que reportaron trabajar en oficina con jornadas laborales completas o más de 8 horas y que hayan residido en Ciudad Juárez, Chihuahua, por lo menos con un tiempo no menor de 18 meses por cuestiones de geografía y climatología y lograr un resultado representativo.

Elaboración de la encuesta de sintomatología

Para elaborar la encuesta se asumieron los conceptos de sintomatología siguientes desarrollados en el libro *Fitting the task to the human* [12]: trastornos emocionales, físicos y perceptivos.

En primera instancia, en la encuesta se explica la temática de la investigación, seguida por el significado de un concepto que es palabra clave para la investigación: *carga mental*. Continúa una breve explicación del objetivo del estudio y se recaba el permiso de los encuestados, mediante la firma de consentimiento, para usar sus datos en un análisis a publicarse posteriormente.

Por otra parte, la sección 2 de sintomatología parte de conceptos fisiológicos como fatiga visual, irritación de los ojos, visión alterada y lagrimeo. En conceptos emocionales, se tomó lo siguiente: crisis, angustia, aislamiento, miedo y falta de ánimo. En los conceptos de percepción se consideró dificultad para concentrarse, disminución de la memoria, inquietud [12].

En esta sección se trata de determinar cuál es el nivel de síntomas que genera el tipo de luz en una oficina, para poder determinar específicamente cuál es el síntoma más recurrente entre las personas que están sometidas a trabajar más de 8 horas en un espacio interior.

La sección 2 constó de 26 preguntas en las que los encuestados evaluaron de menor a mayor, en una escala del 1 al 5, el grado de síntoma físico, emocional y de percepción, según su experiencia. Otro apartado, con una sección de 4 preguntas, las primeras 3 de opción múltiple, fue para saber bajo qué condiciones trabajaban los encuestados en cuanto a tipo de iluminación, localización de la instalación y temperatura de iluminación de su área de trabajo. La última pregunta fue evaluada mediante la escala Likert, para saber qué tan satisfactorio era trabajar bajo las condiciones en las que laboraban.

El cuestionario se basa en la encuesta desarrollada en la materia Seminario de Administración Estratégica y Desarrollo de Empresas 2 de la UACJ, orientada a determinar la sintomatología de estrés/fatiga y carga mental.

Aplicación de la encuesta de sintomatología

La encuesta se aplicó personalmente, en su mayoría en el edificio de la rectoría y, posteriormente, en otras instalaciones de la UACJ por investigadores y estudiantes de posgrado de esta universidad y a personas que están trabajando en oficinas por más de 8 horas consecutivas y expuestas a iluminación artificial.

Diseño cuasi experimental

Para evaluar la carga mental de dos diferentes temperaturas de iluminación, se diseñó el siguiente experimento para poder recabar los datos de los participantes por medio del método NASA-TLX, que se desarrolló en una sesión para cada uno y cuyas actividades consistieron en hacer tareas de cálculo mental y redacción en un ambiente controlado (cámara anecoica) de iluminación, ruido y ondas electromagnéticas. Todos emitieron sus respuestas en el formato NASA-TLX. Las tareas fueron diseñadas de la siguiente manera: la tarea de cálculo consta de 12 operaciones de multiplicación, el cual se les dio un tiempo de 15 minutos expuestos a una temperatura de iluminación escogida aleatoriamente. Posteriormente, hicieron una prueba de redacción con la misma temperatura de iluminación, en la cual consistió en copiar un fragmento de un artículo científico y transcribirlo en una *laptop* marca Acer, con un tiempo de 10 minutos.

Muestra del experimento

Se realizó un muestreo a conveniencia con 3 personas que trabajaron o estudiaron en un interior expuestos a

iluminación artificial por más de 8 horas y que al menos hayan vivido en de Ciudad Juárez, Chihuahua, durante 18 meses consecutivos por cuestiones de geografía y factores meteorológicos. Todos los participantes fueron informados acerca de los objetivos y métodos de este estudio y se le pidió su consentimiento por escrito para el uso y publicación de los datos recolectados.

Tareas

Se evaluaron las dos tareas siguientes:

- **Prueba de matemáticas:** Consistió en realizar 9 multiplicaciones de diferente complejidad con una temperatura de 2700 K en un tiempo estimado de 15 minutos medidos con un cronómetro de celular Samsung A20, luego tomaron un intervalo de descanso de algunos minutos con los ojos cerrados e iniciaron la siguiente tarea con 9 multiplicaciones con diferentes cifras, pero misma complejidad para las siguientes dos temperaturas: 4000 K y 6500 K.
- **Redacción:** En esta tarea, se solicitó a los participantes que realizaran una tarea de oficina, que consistió en copiar un fragmento de un artículo científico a un documento Microsoft Word con una iluminación de 3 diferentes tipos de temperatura (2700 K, 4000 K y 6500 K), así como también 3 diferentes fragmentos de artículos. A los participantes se les dio un tiempo de 8 minutos para concluir la tarea y se les tomó el tiempo con un cronómetro de un teléfono móvil marca Samsung modelo A20.

Análisis de la carga mental con NASA-TLX

El método NASA-TLX es un procedimiento multidimensional que sirve para medir subjetivamente la carga mental de las personas. Esta herramienta ayuda a interpretar los resultados según las escalas que los participantes contestan en la escala de valoración antes de realizar la tarea y otro formato de escalas al terminar la tarea, de manera tal que se puede analizar las respuestas y darles una interpretación.

Fase 1. Ponderación de NASA-TLX: Los voluntarios en el experimento iniciaron respondiendo qué dimensiones en par tenían más peso para ellos y luego se sumaron las dimensiones y después se colocaron en una tabla para su valoración.

Fase 2. Valoración de escalas NASA-TLX: Los participantes realizaron una tarea y después contestaron el formato de evaluación de carga mental de trabajo. Con base en estas respuestas se realizaron cálculos matemáticos para sacar la suma total de los datos recabados y el promedio final.

Análisis de datos

Con los datos obtenidos a partir del cuasi experimento, se utilizó el software Minitab con la finalidad de realizar un análisis a estos mismos por medio de una prueba T de dos muestras y así tener una percepción clara sobre el impacto de la temperatura en la carga mental.

Procedimiento

Se programó una sesión individual en la que a los participantes se les dijo el propósito de la prueba. La tarea a ejecutar por el participante se asignó de forma aleatoria.

El programa de cada sesión fue el siguiente:

- Se les informó a los participantes el propósito del estudio y se les pidió que llenen el formato de consentimiento.
- Se les explicó a los participantes la tarea que deberán de realizar y se les explicó las dimensiones de NASA-TLX.
- Una vez instruidos y equipados, los participantes realizaron la tarea en forma continua, en un lapso de 15 para matemáticas y 8 minutos para redacción y memoria.
- Al final de cada tarea, los participantes se les pidió que evaluaran la carga mental de trabajo por medio de NASA-TLX.
- Los participantes fueron videograbados durante la sesión.

Instalaciones

Este trabajo se realizó con condiciones de iluminación y ruido controlado dentro de una cabina anecoica situada en las instalaciones de la UACJ. No se permitió que los participantes vieran las tareas antes de su turno ni se les notificó el cambio de temperatura para no predisponer los efectos que puedan surgir, por lo que la presencia se restringió a uno por cada cambio de temperatura de iluminación.



Figura 1. Jerarquización metodológica.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de sintomatología

En este apartado se presentan los resultados de la encuesta de sintomatología. En primer lugar, se analizaron las respuestas de las 38 personas que trabajaron en oficina por más de 8 horas consecutivas.

La **Figura 2** indica los síntomas en porcentajes que los encuestados percibieron acerca de la iluminación en su área laboral. Ahí se muestran los diferentes ítems con mayor importancia, siendo estos fatiga visual, seguido por la irritación de ojos, fatiga, disminución de la memoria, dificultad para concentrarse, falta de productividad, falta de ánimo, problemas para dormir, cambios de humor e inquietudes y nerviosismo. Efectivamente, los encuestados presentaron síntomas que afectan el desempeño a la hora de efectuar sus actividades en el trabajo.

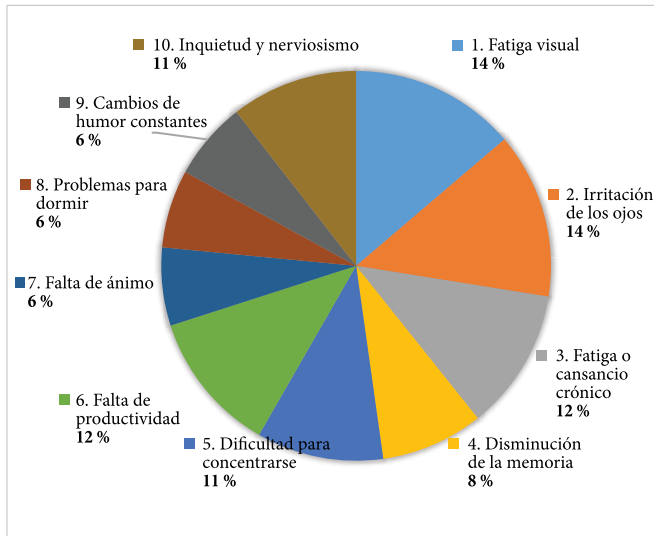


Figura 2. Resultado de frecuencia de síntomas en porcentaje.

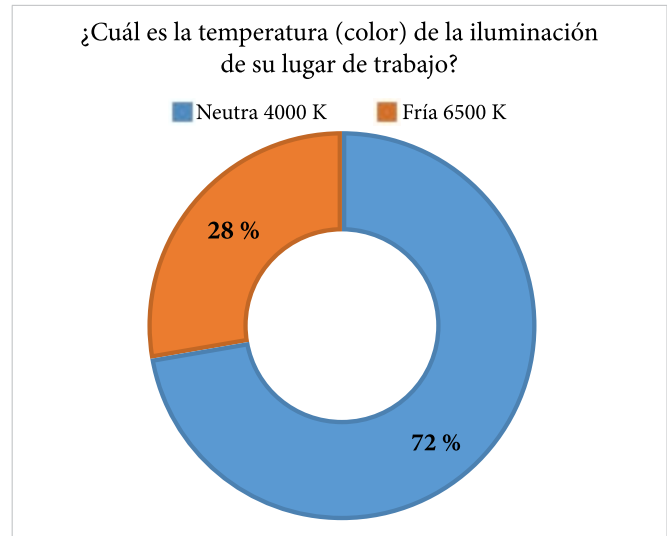


Figura 4. Resultado de frecuencia de síntomas en porcentaje.

Resultados sobre condiciones de trabajo de iluminación en porcentaje

En el siguiente apartado se presentan los resultados de las preguntas de condiciones de trabajo de iluminación sobre el tipo de lámpara del área de trabajo, el tipo de temperatura de iluminación y la satisfacción de trabajar bajo estas condiciones. La Figura 3 indica que el mayor porcentaje de encuestados realizan labores bajo lámparas fluorescentes.

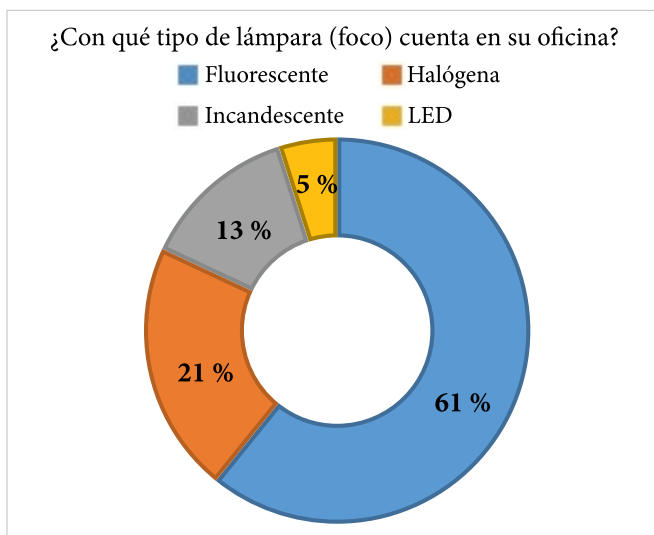


Figura 3. Resultado de frecuencia de síntomas en porcentaje.

La Figura 4 presenta los resultados obtenidos según el tipo de temperatura de iluminación. Se observa que el mayor porcentaje de los encuestados cuentan con una temperatura neutra en su ambiente laboral.

Por último, la Figura 5 permite visualizar el nivel de satisfacción con el que cuentan los encuestados al realizar sus actividades laborales con su iluminación actual. La mayoría de ellos manifestaron tener un nivel de satisfacción regular.

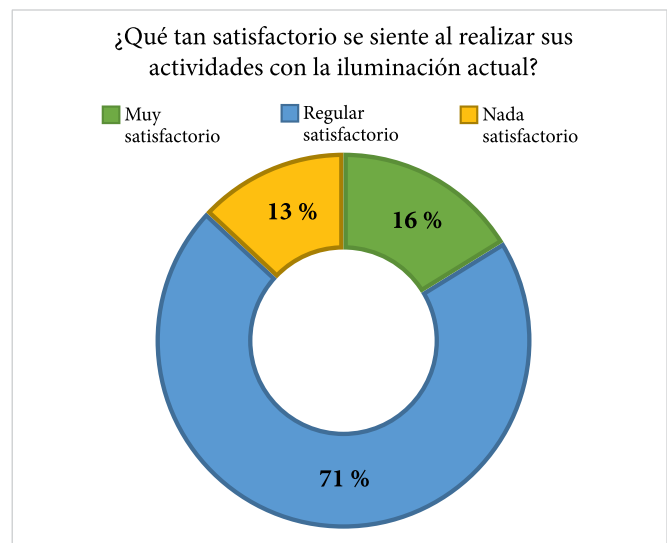


Figura 5. Resultado de frecuencia de síntomas en porcentaje.

Resultado del cuasi experimento

En la evaluación con NASA-TLX, las temperaturas en el cuasi experimento fueron 4000 K luz neutra y 6500 K luz fría. En las figuras siguientes se muestra el comportamiento de la percepción en promedios ponderados por temperatura y dimensiones.

La Figura 6 muestra que las dimensiones que generan más carga mental en el experimento es la exigencia mental, con un valor de 261 puntos; exigencia temporal, con 199 puntos; y nivel de frustración, con 259 puntos. A simple vista no se puede observar mucha diferencia entre las dimensiones con respecto a las temperaturas, sin embargo, la temperatura 3 de 6500 K luz fría indica que se redujo el esfuerzo más de 50 puntos en comparación con la temperatura de 4000 K.

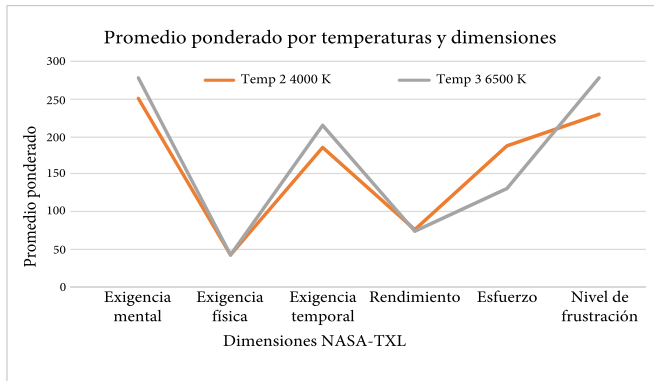


Figura 6. Promedio ponderado por temperaturas y dimensiones.

La Figura 7 muestra que en la percepción de los voluntarios, a simple vista las dos temperaturas se comportan de una manera similar, sin embargo, las medias ponderadas indican que la temperatura 2 de 4000 K tiene una valoración de 65 puntos y la temperatura 3 de 6500 K es de 68 puntos. Como se puede observar, en los resultados de las medias ponderadas existe una mayor diferencia entre la temperatura 2 y 3. Esto quiere decir que la temperatura 3 de 6500 K, que es luz fría, provocó más carga mental en los voluntarios a la hora de realizar las tareas de cálculo mental. La temperatura 2 de 4000 K fue la que menor carga mental causó durante el experimento. Para saber si son significativas estas diferencias, se hizo una prueba T de dos muestras a través de Minitab 17.

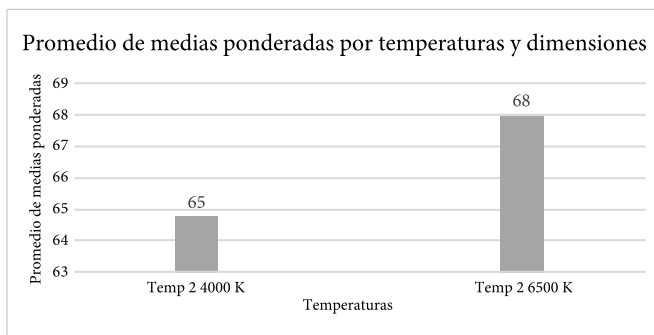


Figura 7. Dimensiones y temperaturas en conjunto de promedio ponderado.

Como resultado de la prueba T, se obtuvo un valor de P de 0.884 mayor al error permitido de la prueba $\alpha = 0.05$, lo que indica que estadísticamente no existe una diferencia significativa entre temperaturas con relación a la carga mental. En la Figura 8 también se puede observar en la gráfica de caja la igualdad de promedio entre las temperaturas.

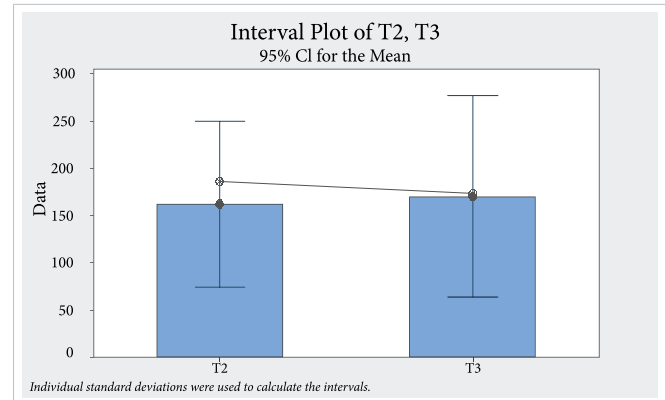


Figura 8. Gráfica de caja entre las temperaturas.

IV. CONCLUSIONES

Durante el experimento, que tuvo duración de aproximadamente más de dos horas por participante, se pudo observar que, al mencionar las instrucciones de cada tarea, los participantes reaccionaron de diferente manera en cada tipo de iluminación, expresándolo verbalmente. Se tomó nota y vídeo del experimento en cada temperatura.

Respecto a los resultados obtenidos en los aspectos de sintomatología, se pudo observar que, de los síntomas fisiológicos planteados durante la encuesta, son 10 de estos los que representan un mayor impacto de malestar. Este hecho representa una oportunidad para hacer un estudio a futuro con mayor profundidad.

A partir de estos mismos resultados, es patente que la mayoría de encuestados laboran bajo lámparas fluorescentes, lo que puede ser un factor determinante al momento de establecer relaciones referentes a síntomas de malestar. Es el mismo caso respecto a las temperaturas de iluminación usadas, pues la mayoría de los encuestados concuerdan en presentar grados de satisfacción regular referentes a la iluminación con la cual realizan sus actividades laborales.

Según lo obtenido en los resultados experimentales, la dimensión con mayor carga debido a la temperatura de iluminación recae en la exigencia mental, seguido de nivel de frustración y exigencia temporal, indicando que existe un mayor impacto al momento de realizar tareas que demanden actividad mental.

Estadísticamente se pudo corroborar que no existe diferencia significativa en los resultados de carga mental al realizar actividades bajo las dos temperaturas usadas (4000 K y 6500 K).

Posibles estudios interesantes a futuro podrían considerar un rango de temperaturas de iluminación más amplio, lo que puede brindar la posibilidad de encontrar variaciones.

Un factor interesante a considerar para futuros estudios sería contemplar una muestra mayor a la usada en este trabajo y observar las posibles variaciones que puedan surgir referentes a este factor.

REFERENCIAS

- [1] N. A. Stanton, P. M. Salmon, G. H. Walker, C. Baber y D. P. Jenkins, *Human Factors Methods: A Practical Guide for Engineering and Design*. Ashgate, 2005.
- [2] R. Parasuraman, T. B. Sheridan y C. D. Wickens, "Situation Awareness, Mental Workload, and Trust in Automation: Viable, Empirically Supported Cognitive Engineering Constructs", *J. Cogn. Eng. Decis. Mak.*, vol. 2, no. 2, pp. 140-160, 2008, doi: [10.1518/155534308X284417](https://doi.org/10.1518/155534308X284417).
- [3] E. D. Megaw, "The definition and measurement of mental Workload", en *Evaluation of Human Work*, J. R. Wilson y E. N. Corlett, Eds., Boca Ratón, Florida: CRC Press, 2005.
- [4] C. Jarboe, J. Snyder y M. G. Figueiro, "The effectiveness of light-emitting diode lighting for providing circadian stimulus in office spaces while minimizing energy use", *Light. Res. Technol.*, vol. 52, no. 2, pp. 167-188, 2020, doi: [10.1177/1477153519834604](https://doi.org/10.1177/1477153519834604).
- [5] B. Pflieger, D. K. Fekety, A. Schmidt y A. L. Kun, "A Model Relating Pupil Diameter to Mental Workload and Lighting Conditions", en *CHI '16: Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2016, pp. 5776-5788, doi: [10.1145/2858036.2858117](https://doi.org/10.1145/2858036.2858117).
- [6] G. Tonello, N. Hernández de Borsetti, H. Borsetti, L. Tereschuk y S. López Zigarán, "Perceived well-being and light-reactive hormones: An exploratory study", *Light. Res. Technol.*, vol. 51, no. 2, pp. 184-205, 2019, doi: [10.1177/1477153517750714](https://doi.org/10.1177/1477153517750714).
- [7] J. van Duijnhoven, M. P. J. Aarts, M. B. C. Aries, A. L. P. Rosemann y H. S. M. Kort, "Systematic review on the interaction between office light conditions and occupational health: Elucidating gaps and methodological issues", *Indoor Built Environ.*, vol. 28, no. 2, pp. 152-174, 2019, doi: [10.1177/1420326X17735162](https://doi.org/10.1177/1420326X17735162).
- [8] M. Lu, S. Hu, Z. Mao, P. Liang, S. Xin y H. Guan, "Research on work efficiency and light comfort based on EEG evaluation method", *Build. Environ.*, vol. 183, oct. 2020, doi: [10.1016/j.buildenv.2020.107122](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107122).
- [9] J. Wang, R. Ohtsuka, K. Yamanaka, K. Shioda y M. Kawakami, "Relation between Mental Workload and Visual Information Processing", *Procedia Manuf.*, vol. 3, pp. 5308-5312, 2015, doi: [10.1016/j.promfg.2015.07.625](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.625).
- [10] I. Käthner, S. C. Wriessnegger, G. R. Müller-Putz, A. Kübler y S. Halder, "Effects of mental workload and fatigue on the P300, alpha and theta band power during operation of an ERP (P300) brain-computer interface", *Biol. Psychol.*, vol. 102, no. 1, pp. 118-129, 2014, doi: [10.1016/j.biopsycho.2014.07.014](https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2014.07.014).
- [11] T. Lashina, S. Chraïbi, M. Despenic, P. Shrubsole, A. Rosemann y E. van Loenen, "Sharing lighting control in an open office: Doing one's best to avoid conflict", *Build Environ*, vol. 148, pp. 1-10, en. 2019.
- [12] S. Gattward, "Fitting the Task to the Human", *Physiotherapy*, vol. 84, no. 5, p. 242, may. 1998, doi: [10.1016/S0031-9406\(05\)65562-9](https://doi.org/10.1016/S0031-9406(05)65562-9).