



Universidad Autónoma del estado de México.

Programa de Doctorado en Diseño

Diseño de una red heterogénea de investigación en
iluminación circadiana domotizada

Gabriel Angel Rosete Lima

Ciudad de Toluca noviembre 2020





Universidad Autónoma del Estado de México.

Programa de Doctorado en Diseño

**Diseño de una red heterogénea de investigación
en iluminación circadiana domotizada**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN DISEÑO

PRESENTA:

GABRIEL ANGEL ROSETE LIMA

Tutor: Dr. Antonio Arellano Hernández. UAEMex.

SINODO

Tutor Adjunto: Dr. Rene Lauro Sánchez Vertiz Ruiz. UAEMex
Tutor Adjunto: Dr. David Joaquín Delgado Hernández UAEMex.

Lector: Dra. Laura María Morales Navarro UAEMex

Lector Externo: Dra. Cecilia Wolff Cecchi UCh



Ciudad de Toluca noviembre 2020



Jurado:

1. Tutor Académico: Antonio Arellano Hernández. UAEMex.
2. Tutor Adjunto: Dr. Rene Lauro Sánchez Vertiz Ruiz. UAEMex
3. Tutor Adjunto: Dr. David Joaquín Delgado Hernández. UAEMex
4. Lector: Dra. Laura María Morales Navarro. UAEMex
5. Lector Externo: Dra. Cecilia Wolff Cecchi. UCh

Resumen

Las actuales aportaciones tecnocientíficas enfocadas al confort, especialmente dirigidas a complementar los espacios arquitectónicos, abren una importante gama de posibilidades al Diseño, profundizando en el conocimiento del ser humano y postulando las características naturales que requiere en su entorno inmediato. Respecto a las aportaciones en el tema, el enfoque se encuentra principalmente en la construcción de una red heterogénea de investigación en *iluminación circadiana domotizada*© que facilite al investigador, la construcción de los estudios aquí señalados, para mejorar la sincronización del ritmo circadiano en los habitantes principalmente asociados a una vida de ciudad, con sus particulares actores geográficos, urbano-administrativos y ambientales que, a su vez, permita fomentar una vida con mayor confort y salud.

En esta investigación, se analizaron una serie de aspectos asociados, de entre los que destacan, la iluminación natural que procede del sol, la iluminación en un espacio construido y las formas de intervención lumínicas artificializadas. Numerosas investigaciones han estudiado la respuesta que tienen los organismos biológicos a esta iluminación natural, así como algunas complicaciones con el uso permanente de iluminación artificial; debido a las actividades sociales, económicas, tecnológicas y laborales, particularmente en las poblaciones urbanas; observando y analizando la forma en que se generan los desajustes en el flujo natural de la neurobiología humana.

En paralelo, se diseñó un *sensor fototrópico*© domotizado que permitió caracterizar la marcha lumínica diaria en sus principales componentes luminosos; posteriormente se diseñó un dispositivo de iluminación circadiana y se puso en experimentación en situación directa con una actividad humana.

El presente trabajo muestra dos tipos de diseño, 1. La construcción de la red heterogénea de investigación en *iluminación circadiana domotizada*©; que, en un principio, se desarrolló a partir del análisis y comprensión de la literatura existente en iluminación, circadianismo y domótica, así como de la observación y práctica en

algunos laboratorios especializados en iluminación. Esto, dio paso a la construcción de las dimensiones que componen la red y a cada uno de sus aspectos y elementos.

2. A partir del diseño anterior, se implementó la puesta en marcha de la red heterogénea de investigación, la cual se formuló en diferentes etapas investigativas que comprende desde el diseño e implementación de instrumental especializado, la caracterización lumínica natural, el desarrollo de un *dispositivo de iluminación circadiana*©, basado en la *marcha lumínica diaria*©, hasta la instalación y puesta en marcha en un espacio de actividades escolares como estudio de caso, para documentar su respuesta de confort.

Durante el estudio de la literatura existente, se encontró que el entorno habitable juega un importante factor de influencia para la implementación de diferentes sincronizadores que estimulan al ritmo circadiano humano. Haciendo uso de la red heterogénea de investigación propuesta en el presente trabajo, se comprobó la obtención y réplica de los valores aproximados para la intervención y emulación lumínica artificial en un espacio arquitectónico, generando propuestas de diseño para espacios integrales, inteligentes, saludables y confortables.

Derivado del diseño de la red heterogénea de investigación en *iluminación circadiana domotizada*©, se generó otra declinación del diseño investigativo, mismo que pasó por aspectos específicos de diseño de: 1. pesquisas sobre la observación del fenómeno natural de la iluminación, mediante el diseño de instrumental avanzado para su observación analítica denominado *sensor fototrópico*©, toma de datos de la exposición luminosa diaria real en un punto geográfico, procesamiento y caracterización de la *marcha lumínica diaria*© (MLD). Estos aspectos fueron desarrollados en la perspectiva de fundamentar las siguientes dos dimensiones. 2. Pesquisas sobre la influencia que existe entre los cambios de la MLD y la sincronización del ritmo circadiano en el ser humano; considerando a la iluminación natural, como el principal medio de sincronización del reloj biológico y, por lo tanto, el soporte fundamental para diseñar dispositivos de iluminación emuladores de la MLD. Estos aspectos fueron tratados de manera relacional con las otras dos dimensiones de la red: por un lado, tomando la utilidad de los resultados de la MLD a la luz de las investigaciones neurobiológicas circadianas y; por otro lado,

fundamentar la idea circadiana del vínculo entre MLD y su emulación artificial. 3. Pesquisas sobre la emulación de la MLD en un espacio construido mediante el diseño de una luminaria capaz de replicar sus principales factores mediante el diseño, integración y aplicación de software y hardware, capaz de emitir instrucciones para la emulación de la MLD en el dispositivo de iluminación adaptable a los espacios arquitectónicos convencionales. Estos aspectos fueron desarrollados a partir de los resultados de las primeras dos dimensiones, mismos que se integraron en la propuesta de investigaciones de dispositivos de *iluminación circadiana domótica*©. Finalmente. Las dimensiones anteriores se integraron en una propuesta de un dispositivo de *iluminación circadiana domotizada*© (ICD) en un espacio escolar como estudio de caso, para investigar cambios en el desempeño de la reproducción colorimétrica del medio circundante, de escolares de educación básica en México; en el entendido que un buen desempeño escolar, sería un símbolo de confort lumínico. Además de lo anterior, en esta propuesta de dispositivo de ICD, se pone en juego las tres dimensiones heterogéneas y muestran la escala mínima de una red de investigación de ICD. El dispositivo, pone en relación y retroalimenta cada una de las tres dimensiones, en el sentido que, respecto a la primera fijaría la MLD en un punto geográfico exacto; a la segunda, precisaría los mejores lapsos horarios de cierta actividad humana y; a la tercera, mejoraría la integración de la propuesta de iluminación emulada.

El enfoque epistemológico de esta investigación es la teoría actor-red. Es una episteme que permite reunir sintéticamente los elementos que interactúan en escenarios asociados indisolublemente. Con este enfoque se diseñó la red heterogénea de investigación en iluminación circadiana domotizada y se puso en marcha mediante instrumentos técnicos para la emulación artificializada del fenómeno lumínico natural para la sincronización del ritmo circadiano, en función de las actividades humanas. Se trata, parafraseando a Arellano, de un enfoque metodológico y de diseño hacia el confort, que proporciona elementos para investigar y desarrollar la elaboración de asociaciones heterogéneas de naturalezas, de artefactos y de colectivos humanos.

Capítulo 1. Marco introductorio	1
1.1 Introducción general	1
1.1.1 Las dimensiones de la red heterogénea de investigación en iluminación circadiana domotizada©	4
1.2 Planteamiento del problema	6
1.2.1 Justificación	8
1.3 Preguntas de investigación	10
1.4 Objetivos	11
1.5 Hipótesis	13
1.6 Descripción técnica de la investigación	14
1.7 Enfoque actor-red	17
Capítulo 2. Diseño de una red heterogénea de investigación en iluminación circadiana domotizada	22
2.1 Retícula para el entendimiento y desarrollo de las investigaciones en iluminación natural y artificial	23
2.2 Retícula para el entendimiento y desarrollo de las investigaciones en ritmo circadiano sincronizado por la iluminación	37
2.3 Retícula para el entendimiento y desarrollo de las investigaciones en domótica	51
2.4 Diseño de una red heterogénea de investigación en iluminación circadiana domotizada©	60
Capítulo 3. Diseño de un laboratorio de iluminación en espacios construidos y caracterización del fenómeno lumínico natural	66
Capítulo 4 Diseño de un <i>dispositivo de iluminación circadiana</i>©	89
Capítulo 5 Diseño de una red de iluminación circadiana domotizada para actividades humanas específicas: estudio de caso en un espacio escolar	102
Capítulo 6. Conclusiones	113
Glosario	122
Trabajos citados.....	123

CAPÍTULO 1

MARCO INTRODUCTORIO



1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL

Esta tesis doctoral consiste en el diseño de una red heterogénea de investigación en *iluminación circadiana domotizada*®, que se declina en dos principales diseños: en primer lugar, el diseño teórico, conceptual y epistémico de una red heterogénea de investigación en iluminación circadiana domotizada; en segundo lugar, el desarrollo de múltiples investigaciones relacionadas a cada una de las dimensiones. Ambos planos dan un primer soporte teórico, epistémico metodológico, conceptual y técnico a la red heterogénea de investigación en ICD.

De acuerdo con Espinoza el enfoque sistémico permite al investigador, el análisis de las múltiples partes del fenómeno, con lo que se alcanza un umbral crítico de la razón tecnocientífica (Espinoza, 2014). Sin embargo, el diseño de la red heterogénea de investigación en ICD requirió de una episteme post-sistémica, misma que permitió poner en relieve no sólo las dimensiones relacionadas sistémicamente, sino la indisociabilidad y mezcla de cada una de esas dimensiones y sus elementos, de manera que la disociación de las dimensiones y sus elementos, sólo fue posible para objetivos analíticos temporales.

Así, la premisa desde la cual se abordó la construcción de la presente red heterogénea de investigación se cimentó a partir de tres dimensiones cognitivas fundamentales y su integración experimental en todas las actividades humanas. La primera dimensión se refirió a una naturaleza *a priori* del fenómeno lumínico natural que se proyecta sobre la superficie terrestre. La segunda se refirió a la naturaleza neurobiológica en el ser humano, consistente en la correlación de las influencias propias de la marcha lumínica del día y la noche con respecto de las actividades fisiológicas del hombre. Se concibió una tercera dimensión que logró emular las condiciones naturales lumínicas durante el paso del día. Al final, se realizó un experimento integrador de los resultados en un dispositivo de ICD en un ámbito de actividad académica, como ejemplo de los ámbitos de actividad humana donde se aplicarían las investigaciones de la Red.

El enfoque epistemológico que subyace en toda la investigación, corresponde con el denominado actor-red. Esta episteme permite al investigador reunir sintéticamente en un haz, los elementos que interactúan en escenarios “asociados indisolublemente” (Arellano, 2015). A partir de ello, se diseñó la presente red heterogénea de investigación que sintetiza el contenido del fenómeno luminoso natural recibido en la superficie terrestre, la recepción humana del primer fenómeno expresada en su adaptación neurobiológica de los ritmos circadianos a la marchas diurna y nocturna; finalmente, la manipulación de artificios iluminativos técnicos que emulan el fenómeno lumínico natural coadyuvando a mantener la sincronización del ritmo circadiano¹ en función de las actividades de los diferentes grupos de la sociedad contemporánea. Se trata, parafraseando a Arellano, de un enfoque metodológico y de diseño hacia el confort, que proporciona elementos para investigar y desarrollar la elaboración de asociaciones heterogéneas de naturalezas, de artefactos y de colectivos humanos (Arellano, 2015).

Derivado del diseño de la red heterogénea de investigación en *iluminación circadiana domotizada*©, se generó otra declinación del diseño investigativo, expresada en el diseño de: 1. pesquisas sobre la observación del fenómeno natural de la iluminación, mediante el diseño de instrumental avanzado para su observación analítica denominado *sensor fototrópico*©², toma de datos de la exposición luminosa diaria real en un punto geográfico, procesamiento y caracterización de la *marcha lumínica diaria*©³ (MLD). Estos aspectos fueron desarrollados en la perspectiva de fundamentar las siguientes dos dimensiones. 2. Pesquisas sobre la influencia que existe entre los cambios de la MLD y la sincronización del ritmo circadiano en el ser humano; considerando a la iluminación natural, como el principal medio de sincronización del reloj biológico y, por lo tanto, el soporte fundamental para diseñar dispositivos de iluminación emuladores de la MLD. Estos

¹ Son los ritmos que rigen a todo ser vivo en sus funciones fisiológicas, como el comer, dormir, hacer deporte, y detona la química necesaria para estar más activos por la mañana o por la tarde.

² Sensor fototrópico© concepto desarrollado por Arellano (2018) referente a un instrumento automatizado para la lectura lumínica natural. Se explicará a detalle en el cuerpo de la tesis.

³ Marcha lumínica diaria® (MLD) Concepto desarrollado por Gabriel Rosete y Antonio Arellano (2018) que se refiere a la naturaleza de la transición lumínica diurna que da inicio en el amanecer, pasando por el día y finaliza al anochecer.

aspectos fueron tratados de manera relacional con las otras dos dimensiones de la red: por un lado, tomando la utilidad de los resultados de la MLD a la luz de las investigaciones neurobiológicas circadianas y; por otro lado, fundamentar la idea circadiana del vínculo entre MLD y su emulación artificial. 3. Pesquisas sobre la emulación de la MLD en un espacio construido mediante el diseño de una luminaria capaz de replicar sus principales factores mediante el diseño, integración y aplicación de software y hardware, capaz de emitir instrucciones para la emulación de la MLD en el dispositivo de iluminación adaptable a los espacios arquitectónicos convencionales. Estos aspectos fueron desarrollados a partir de los resultados de las primeras dos dimensiones, mismos que se integraron en la propuesta de investigaciones de dispositivos de *iluminación circadiana domotizada*®. Finalmente. Las dimensiones anteriores se integraron en una propuesta de un dispositivo⁴ de *iluminación circadiana domotizada*®⁵ (ICD) en un espacio escolar como estudio de caso, para investigar cambios en el desempeño de la reproducción colorimétrica del medio circundante, de escolares de educación básica en México; en el entendido que un buen desempeño colorimétrico, sería un símbolo de confort lumínico. Además de lo anterior, en esta propuesta de dispositivo de ICD, se pusieron en juego las tres dimensiones heterogéneas y mostraron la escala mínima de una red de investigación de ICD. El dispositivo, puso en relación y retroalimentó cada una de las tres dimensiones, en el sentido que, respecto a la primera fijó la MLD en un punto geográfico exacto. La segunda, precisó los mejores lapsos horarios de cierta actividad humana y a la tercera para mejoró la integración de la propuesta de iluminación emulada.

Dicho sintéticamente, en este trabajo se presenta el diseño de una red heterogénea de investigaciones naturalísticas, tecnológicas y humanas sobre *iluminación circadiana domotizada*® y, el diseño, elaboración y aplicación de

⁴ Entiéndase *dispositivo* como la integración de las dimensiones de la red heterogénea de investigación en *iluminación circadiana domotizada*® (ICD) aplicada a espacios construidos para funciones específicas de actividades humanas.

⁵ *Iluminación circadiana domotizada*®: Ver glosario conceptual (ICD).

diversas pesquisas instrumentales, así como, adaptaciones al entorno luminoso en actividades humanas

1.1.1 Las dimensiones de la red heterogénea de investigación en iluminación circadiana domotizada©

Las dimensiones básicas que integran la red heterogénea de investigación en *iluminación circadiana domotizada©* corresponden a cada uno de los términos anteriores, a saber: Iluminación, circadianismo y domótica. En este apartado se presentan sucintamente cada una de ellas; en el entendido que, de éstas, se desprenden una serie de elementos interrelacionados que hacen indisoluble a la red.

1. La primera dimensión de la red se refiere a la luz; palabra que procede del latín *lux*, es una onda electromagnética que está compuesta por partículas conocidas como fotones. La luz natural proviene del sol y debido al movimiento de rotación de la Tierra define el día y la noche.

El ser humano desde su autoconformación fue complementado sus actividades con el uso de luz natural e iluminación artificial. En el siglo XX comenzó a utilizar la iluminación con bombillas incandescentes y después una serie de sistemas de iluminación comerciales capaces de emitir luz de color.

Si bien, los sistemas de iluminación comerciales actuales permiten emplear iluminación LED, así como una regulación y control domotizados, es posible ofrecer a los habitantes de espacios construidos una iluminación artificial estética; sin embargo, estos sistemas no son capaces de emular la MLD. De este modo, la incapacidad de emular la MLD con los sistemas de iluminación actuales origina el dominio de la primera dimensión de la investigación en ICD.

2. La segunda dimensión nace de un concepto médico conocido como *Reloj Biológico*, similar a ello, en el campo de la neurobiología se conoce como *Ritmo*

Circadiano. El ser humano depende enormemente de los estímulos derivados de los efectos físicos naturales del día y de la noche como lo es MLD. La neurobiología es el área del conocimiento que ha estudiado el efecto psico-fisiológico de estimuladores luminosos, su programa de trabajo consiste en aplicar a determinados pacientes ciertas frecuencias lumínicas observando la producción de algunas Hormonas vinculadas principalmente con el sueño y la vigía, procurando encontrar tratamientos terapéuticos a determinados padecimientos (Mark, 2009).

Al analizar algunos espacios arquitectónicos desde una perspectiva circadiana respecto al confort de ciertas tareas humanas, se ha podido registrar la carencia de estos estimuladores y con ello, una disminución ergonómica y de confort en los ocupantes (Wilkins, 2016).

Las posibilidades constructivas de la arquitectura para generar espacios adaptados a las tareas humanas, se han enfocado al mejoramiento lumínico de los espacios construidos haciendo uso de los recursos disponibles, en el objetivo de fomentar el ahorro energético. El interés del diseñador ha sido, iluminar los espacios en función de la actividad que se pretende realizar; sin embargo, poco se ha estudiado la relación existente entre las necesidades lumínicas fisiológicas humanas y el espacio construido. La deficiencia anterior, da pie a la investigación en la ICD, desde una perspectiva de dimensión de red heterogénea de investigación.

3. La tercera dimensión es la Domótica y surge a partir del interés de regresar al habitante parte de su naturaleza perdida por la adaptación artificial a su entorno, principalmente en un contexto de ciudad. En este sentido, la ICD⁶ se convierte en una opción lumínica que, de manera automatizada, es capaz de emular toda la dinámica caracterizada en la MLD, en consideración de que cada día es diferente y particular. El diseño e integración de dispositivos especializados son factores clave en la solución domótica de la dimensión y está basada en el estudio del

⁶ ICD o iluminación circadiana domotizada.

fenómeno lumínico natural como dimensión, otorgando los elementos estimulantes circadianos de las otras dimensiones mencionadas.

El diseño integrado de red heterogénea de investigación, pasa por dispositivos entendidos como la escala mínima de la red, integrados por una dimensión naturalística de iluminación, una dimensión humana en su ritmo circadiano y una dimensión artefactual en su integración domótica. Estas tres dimensiones se integran de forma indisoluble epistémicamente y permiten determinar las bases elementales para asumir el problema reticular heterogéneo de investigación como se verá en el siguiente apartado.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema que se pretende resolver con esta investigación, se refiere a la puesta en relación de los diferentes estados del arte de la iluminación, de los ritmos circadianos humanos y de la domótica bajo un diseño único reticular heterogéneo de investigación. Se trata de diseñar un área del conocimiento integrador de las tres dimensiones anteriores puestas en relación en una red heterogénea de investigación de temas y de pesquisas orientadas a crear y desarrollar sintéticamente, una *iluminación circadiana domotizada*©. Aunado a lo anterior, también se trata de indagar y diseñar instrumentaciones para la observación del fenómeno luminoso natural, caracterizar la *marcha lumínica diaria*© en un punto geográfico de interés, el diseño de un dispositivo de *iluminación circadiana*© y, en consecuencia, el estudio del confort en actividades humanas.

En la literatura actual, se puede encontrar una serie de investigaciones principalmente del ámbito internacional, en donde se aprecian aportaciones y propuestas propias para la iluminación circadiana de vivienda, hospitales, transporte, estaciones de trabajo, entre otras. Cuando estas aportaciones de iluminación entran en el mercado nacional, no resuelven necesariamente la expectativa circadiana, ya que son introducidas con argumentos comerciales diversos aludiendo a los cambios de color lumínico, pero dichos cambios se llevan

a cabo por etapas colorimétricas y no se sincronizan al punto geográfico en donde se les utiliza. Como una consideración general, en México, la implementación de tecnología domótica es integrada usando equipos que provienen de otros países, que están enfocados a aplicaciones escalables, mientras que, en el mundo de la ingeniería local, son pocas las intervenciones de diseño aplicado a iluminar de manera automatizada los espacios construidos.

De modo sintético se puede decir que hay un problema en las investigaciones en iluminación que no se ha logrado desarrollar a profundidad. En este sentido, el problema de investigación del presente trabajo consiste vincular las investigaciones de las tres dimensiones para integrar una red heterogénea de investigación en iluminación circadiana domotizada©, panorama aún inexplorado en las ciencias del diseño.

En el planteamiento del problema, se considera pertinente la mención de una serie de cuestionamientos a resolver.

¿Es posible diseñar una red heterogénea de investigación que incorpore las distintas indagaciones en iluminación, en ritmo circadiano y en domótica?

¿Es posible desarrollar pesquisas sobre el fenómeno natural de la iluminación mediante la invención de instrumental avanzado para su observación, toma de datos de la exposición luminosa real en un punto geográfico, procesamiento y caracterización de la MLD anualizada?

¿Es posible lograr la emulación de la MLD en un espacio construido mediante el diseño de un dispositivo de iluminación?

¿Es posible poner en marcha el dispositivo de iluminación y obtener Pesquisas sobre la propuesta de ICD en un espacio de actividad humana como estudio de caso?, específicamente, ¿es posible instalar un dispositivo de ICD en un ámbito escolar como caso de estudio para investigar cambios en el desempeño de la reproducción colorimétrica del medio circundante de escolares de educación básica en México, que sería un símbolo de confort lumínico?

1.2.1 JUSTIFICACIÓN

El planteamiento del problema anterior, permite justificar la importancia del proyecto de investigación; para ello, en el presente apartado se describe el panorama de la intervención actual científica al que grupos internacionales han llegado de manera separada, respondiendo la pregunta ¿Por qué es importante investigar esto?

Datos obtenidos del *National Center for Biotechnology Information* (NCBI 2017), muestra que el 58% de la población de los Estados Unidos es afectada de manera importante por los cambios en su ritmo circadiano en múltiples aspectos, ejemplo: 16% de la población sufre de *Season affective disorder* (SAD), mientras que el 14% de los adultos son afectados por los *Winter blues*. De conformidad con el mismo NCBI, de 30 a 90 minutos de terapia de luz puede remediar hasta el 85% de los casos afectados. Del mismo modo, un creciente número de evidencias sugieren una importante correlación entre la desincronización de los ritmos circadianos y diversas enfermedades tumorales, algunos casos de diabetes, de obesidad y de depresión, de entre otras (Kunz, 2017), así mismo, se han detectado casos relacionados con cambios psicológicos, fisiológicos, neurológicos y productivos por problemas de arritmia circadiana (Folkard, 2003). En México hay datos publicados por la UNAM⁷ afirmando que el 45% de la población adulta presenta trastornos circadianos (Jiménez, 2017). Si todo ello fuera similar para la Ciudad de México, se podría hablar de un problema económico, de salud, de urbanismos y arquitectura, que debería atenderse de manera inmediata.

La bibliografía actual muestra un rezago en la publicación de información en la que se integran estas tres ramas del conocimiento, situación que diagnostica la ausencia de experimentación y aplicación en estas áreas. Como se puede ver, el problema es, desarrollar e integrar estas tres áreas del conocimiento, estudiando

⁷ UNAM Universidad Nacional Autónoma de México.

fenómenos desde sus propias epistemes e integrarlas por medio de las disciplinas del Diseño, como un campo del conocimiento relacional-reticular para alcanzar soluciones que de ello se puedan lograr el confort y la ergonomía lumínicos.

Desde la particular visión de la presente investigación, se considera que el problema existe toda vez que se ha trabajado desde disciplinas separadas y se considera que podrían unificarse en una red heterogénea de investigación (Arellano, 2015). Por una parte, el área del conocimiento de la física, especializada en el estudio del fenómeno de la iluminación, ha logrado catalogar las propiedades dinámicas de la luz natural, mientras que, de manera paralela, se ha estudiado a la iluminación artificial totalmente estática. Por otra parte, en el área médica, se ha vigilado cuantificado y experimentado con el fenómeno desde una perspectiva neurobiológica, llevando a cabo una serie de investigaciones enfocadas a lo terapéutico clínico. Así mismo, la domótica que se basa en generar soluciones de confort, aprovechamiento energético, seguridad y control, también ha desarrollado un gran número de aplicaciones de iluminación en las áreas estéticas y lúdicas. En esta investigación se integrarán las tres áreas en un diseño innovador de conjunto y en cada uno de los tres aspectos.

Con base en la revisión del estado del arte de la domótica y los ritmos circadianos, se infiere que es una oportunidad de intervención en el diseño, dado que la iluminación artificial empleada en los espacios construidos actuales, emite un espectro lumínico fijo y constante en color e intensidad, mandando información errónea al cerebro, principal característica asociada con los problemas de salud, ya que dichos sistemas de iluminación no están diseñados para estimular y sincronizar los ritmos circadianos, en las particularidades requeridas durante un día, un mes determinado y un año, por lo tanto, no se cuenta con sistemas de iluminación artificial especializado. Tal intersticio en el conocimiento actual, muestra la importancia de diseñar una red heterogénea de investigación en iluminación circadiana domotizada©.

1.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACION

Las preguntas que guían esta investigación son las siguientes:

Pregunta general

¿Cómo podemos diseñar una red heterogénea de investigación en iluminación circadiana domotizada©, que ponga en relación cada uno de los tres aspectos?

Aspecto 1: observación del fenómeno lumínico

¿Cómo diseñar instrumentos necesarios para la observación del fenómeno natural de la iluminación?

¿Cómo se puede realizar el diseño de instrumental avanzado para la observación y toma de datos de la exposición lumínica diaria anualizada?

¿Cómo procesar y caracterizar la marcha lumínica diaria©?

Aspecto 2: Sincronización del ritmo circadiano

¿Qué tipo de influencias existen entre los cambios de la marcha lumínica diaria© y la sincronización del ritmo circadiano en el ser humano?

¿De qué manera se puede diseñar un dispositivo de iluminación capaz de emular la marcha lumínica diaria©, como una forma de sincronizar los ritmos circadianos en espacios construidos para el desarrollo de actividades específicas?

Aspecto 3: Emulación de la MLD

¿De qué manera se pueden obtener pesquisas sobre la emulación de la marcha lumínica diaria© en un espacio construido?

¿Qué tipo de software y hardware se debe integrar para la emulación de la marcha lumínica diaria© en un dispositivo de iluminación?

Aspecto 4: Integración de los aspectos

¿Cómo integrar los aspectos lumínicos, circadianos y domóticos en una propuesta de dispositivo de iluminación circadiana domotizada©?

¿Cómo poner en juego las dimensiones heterogéneas para lograr una iluminación circadiana domotizada© encaminada a las actividades humanas que muestre la escala mínima de una red de investigación en iluminación circadiana domotizada©?

¿Puede esta escala mínima de red de investigación en *iluminación circadiana domotizada*© aplicarse experimentalmente a una actividad humana determinada?

1.4 OBJETIVOS

Objetivo general.

Diseñar una red heterogénea de investigación en *iluminación circadiana domotizada*© que permita desarrollar investigaciones particulares a cada una de las tres dimensiones integradas reticularmente, mediante el diseño de instrumentos de observación, luminarias, hardware y software para generar confort lumínico a las actividades de los seres humanos.

Objetivos específicos

Aspecto 1: observación del fenómeno lumínico

Determinar de manera técnica, cuáles son los instrumentos necesarios para la observación del fenómeno natural de iluminación

Realizar un diseño instrumental avanzado para la observación y toma de datos de la exposición lumínica diaria

Procesar y caracterizar la *marcha lumínica diaria*©

Aspecto 2: Sincronización del ritmo circadiano

Indagar que tipo de influencias existen entre los cambios de la *marcha lumínica diaria*© y la sincronización del ritmo circadiano en el ser humano

Diseñar un dispositivo de iluminación capaz de emular la *marcha lumínica diaria*©

Aspecto 3: Emulación de la MLD

Obtener pesquisas sobre la emulación de la *marcha lumínica diaria*© en un espacio construido

Aspecto 4. Integración de los aspectos en un dispositivo de iluminación experimental para actividades humanas

Integrar una propuesta aplicada de software y hardware capaz de emular la *marcha lumínica diaria*© en un dispositivo de iluminación

Integrar los tres aspectos en una propuesta de dispositivo de *iluminación circadiana domotizada*©

Poner en juego las dimensiones heterogéneas en una actividad humana determinada, para mostrar la escala mínima de una red de investigación en *iluminación circadiana domotizada*©.

1.5 HIPÓTESIS

Si es posible diseñar una red heterogénea de investigación en *iluminación circadiana domotizada*©, entonces, se podrán diseñar innovaciones iluminativas de capacidad circadiana controladas domóticamente y poner en juego los aspectos que le componen para mostrar la escala mínima de la red y aplicarla en una actividad humana como caso de estudio.

- Si es posible el diseño y construcción de instrumental especializado para la observación y caracterización del fenómeno lumínico natural entonces, se podrá compilar la información cualitativa que permita modelar la MLD.
- Si es posible estudiar los cambios de la marcha lumínica diaria⁸, entonces se podrá diseñar un dispositivo de iluminación capaz de emular la MLD.
- Si es posible el diseño y construcción de una luminaria dinámica con un sistema de hardware y software capaz de replicar las principales características de las variables lumínicas circadianas, entonces se podrá diseñar un dispositivo de iluminación capaz de emular la MLD.
- Si es posible poner en juego los tres aspectos para el estudio en actividades humanas, entonces se podrá mostrar la escala mínima de una red de investigación en *iluminación circadiana domotizada*© para actividades escolares.

⁸ Se puede suponer que el ciclo de luz diurna en un punto geográfico corresponde con los elementos reguladores del ritmo circadiano.

1.6 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA INVESTIGACIÓN

El método empleado para la construcción de la red heterogénea de investigación se basó principalmente en 7 puntos:

1. la recolección de datos procedentes de la literatura existente. En esa revisión se encontró una especialización y profundización de cada uno de los aspectos, pero también una falta de relación con los otros, por lo que se planeó un primer acercamiento de red heterogénea de investigación que respondiese a las principales definiciones y datos de la revisión de la literatura, concluyendo que eran incompletas ya que se estudiaban por separado. Se pudo ver que cada autor cuenta con una forma de trabajo especializado en su disciplina científica o técnica y por ello, se extrajo una compilación de variables citadas y posteriormente, se hizo acopio de las más usadas.

2. Lo anterior permitió la comparación del catálogo de variables obtenidas con algunos métodos usados en laboratorios especializados en el tema, así como su interpretación y aplicación investigativa.

3. Posteriormente, se llevó a cabo, una revisión profunda a la normativa especializada a nivel internacional y local, en perspectiva del análisis de las variables aplicables por actividades humanas. Cabe señalar que en el área del conocimiento biología, por el tipo de especialidad y en específico, en temas de ritmos circadianos, aun no existe normativa de soporte, por lo que, se reforzó la investigación en la literatura actual. Seguido de ello, y posterior al análisis de las variables, su recurrencia en la literatura, su aplicación investigativa y criterios normativos.

4. A continuación, se llevó a cabo el diseño de una retícula de exploración por cada área del conocimiento.

5. Empleando los criterios del diseño, se propuso la integración de las áreas del conocimiento en un solo cuerpo de asociación, el cual será llamado a partir de este momento, red heterogénea de investigación en iluminación circadiana domotizada©, misma que conforma el corpus epistemológico de la construcción de un área de estudio reticular heterogéneo.

6. En el interés de comprobar el funcionamiento de la Red, se tomaron los elementos de la red y se diseñó en diferentes fases investigativas, la puesta en marcha de la red de investigación en iluminación circadiana domotizada.

7. Finalmente, los hallazgos de la experimentación, se sometieron a observación, validación y discusión, obteniendo elementos suficientes para retroalimentar los pasos del presente método de aplicación.

De ello se muestra la siguiente figura (1), representando el método usado para la construcción y diseño de una red heterogénea de investigación en iluminación circadiana domotizada©.

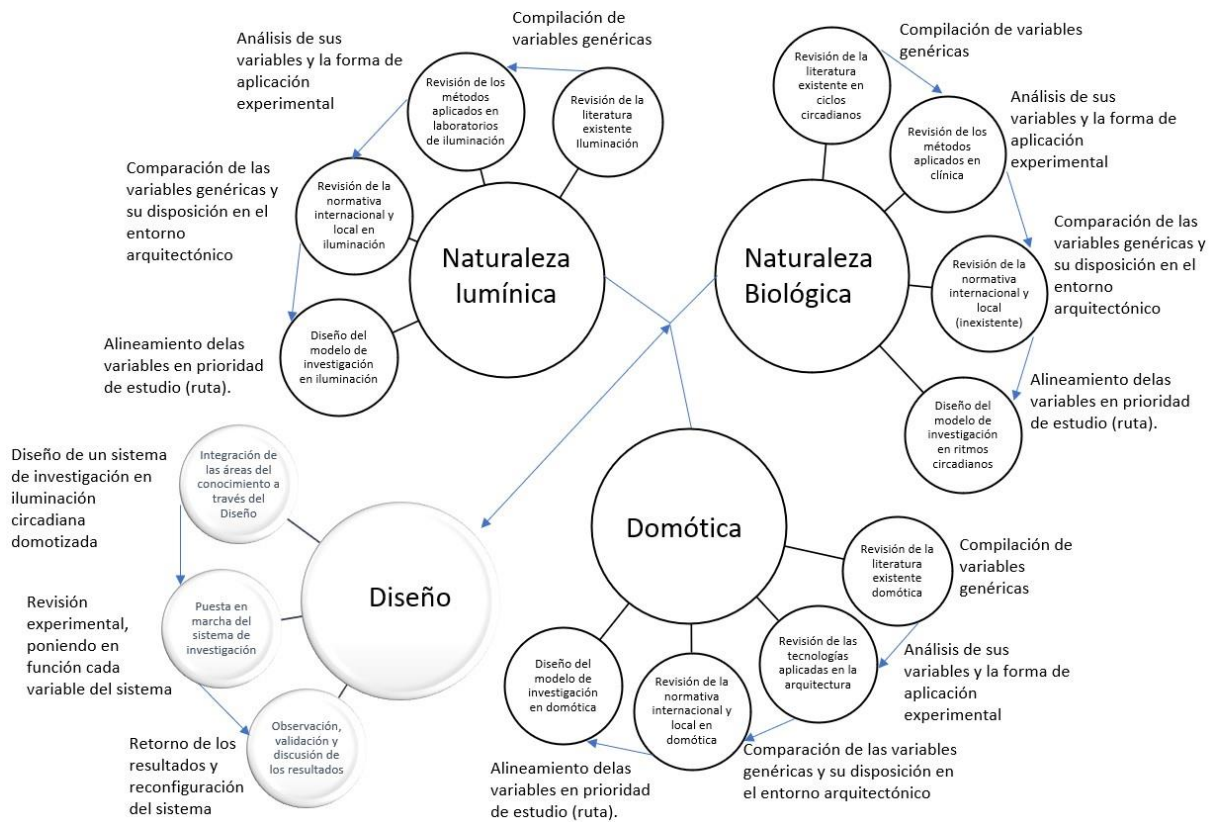


Figura 1: Método usado para el diseño de una red heterogénea de investigación en *iluminación circadiana domotizada*© (Elaboración propia, 2020).

1.7 ENFOQUE ACTOR-RED

Este enfoque fue creado inicialmente por Bruno Latour⁹ Michel Callon¹⁰ y John Law¹¹ y se popularizó como Teoría del Actor-Red. En donde su argumento, distingue que los procesos de innovación y desarrollo tecnológico, son resultado de un proceso de negociación entre actores humanos y no humanos. Esto, pretende explorar el enfoque del conocimiento científico y de las asociaciones científicas, tecnológicas e investigativas. El enfoque hace énfasis en que, el conocimiento que se genera, pasa por muchas etapas constructivas, y cada una de ellas se ve influenciada no solo por los agentes directamente estudiados, sino por todos los agentes que se enmarcan en el contexto; por tanto, considera que todos estos agentes humanos y no humanos (artefactos), se involucran en negociaciones sociotécnicas implícitas y explícitas. es decir que, cada interacción humana es sociotécnica y cada operación técnica es tecnosocial. En este sentido, los artefactos también son actores (denominados actantes), los humanos son codependientes de los artefactos, luego entonces, todos llevan una carga asociativa como parte de la generación del conocimiento tecnocientífico.

Uno de los ejemplos de reflexión que comparte Bruno Latour es la siguiente pregunta. ¿matan las armas de fuego o es la gente quien mata? Una explicación del pensamiento moralista podría ser: la gente mata, a través de las herramientas como instrumentos neutrales que pueden ser controlados. Bajo este supuesto, entonces ¿Quién podría ser el responsable? Esto, dependerá de los significados que se les otorgan a los artefactos. Otra explicación de pensamiento tecnologicista podría ser: las armas matan, a través de los hombres cargados de valores que son incontrolados. Bajo este supuesto, entonces ¿la fabricación de armas incluye una

⁹ Bruno Latour, sociólogo y filósofo francés, profesor de la Escuela de Minas en la ciudad de Paris y es especialista en estudios sociales de la ciencia.

¹⁰ Michel Callon, profesor de sociología en la Escuela de Minas en París e investigador del Centro de Sociología de la innovación.

¹¹ John Law, Sociólogo y profesor en la Universidad de Lancaster conocido por su contribución al desarrollo de la Teoría del Actor-Red.

responsabilidad de los fabricantes. Esto dependerá de los usos que se les otorga a los artefactos¹².

Para suplir estas versiones escindidas de los artefactos y los humanos, los autores de la TA-R emplean un método de trabajo denominado *método de la traducción*, mismo que consiste en reunir el acto de un humano como actor y un artefacto con categoría igual al de actor; obteniendo a un nuevo actor híbrido con un nuevo objetivo, ahora, dependiente de ambos agentes correlacionados. Este es un ejemplo que se puede entender rápidamente ya que podría ser extremo en su funcionamiento; sin embargo, aplica para todas las interacciones posibles humano - artefactos, y no sólo con su aplicación designada, sino, con todas las posibilidades de acción directa e indirecta de los actores. De esta manera, ahora se pueden señalar los componentes del enfoque del Actor-Red de Bruno Latour, Michel Callon y John Law:

- Punto de partida, la ciencia y la tecnología en acción frente a las operaciones de los artefactos técnicos.
- Actor-Red, no reductible ni a un actor ni a una red. Son redes heterogéneas de elementos animados e inanimados.
- Indiferenciación entre lo social y lo técnico.
- Los procesos técnicos y sociales se influyen mutuamente y se construyen simultáneamente. Entramado social sin costuras.
- Toda relación social está mediada por artefactos o elementos no humanos, en un tejido sociotécnico.

Así mismo, es importante agregar los siguientes componentes del enfoque de la teoría del Actor-Red que ha trabajado Arellano durante sus investigaciones.

- La ciencia y la tecnología hay que analizarlas como procesos, es decir como acciones de investigación (Arellano, 1999).

¹² Explicación desarrollada por Antonio Arellano (c.p.: 19/10/2020).

- El método de estudio es constructivista, es decir como la co-construcción de sujetos y objetos (Arellano, 2011).
- La TA-R, no es una teoría de la acción de humanos y la operación instrumental de los objetos; ella es un enfoque epistemológico que permite no separar la acción de los humanos y de los no humanos (Arellano, 2011b).

Hasta aquí, se han podido ver las bases originales del enfoque del Actor-Red para los estudios de la tecnociencia. Posteriormente, muchos investigadores que buscaban una forma diferente de correlaciones postsistémicas en la organización sociotécnica, generaron un movimiento conocido como la teoría del actor-red, no obstante, la interpretación incontrolada de este enfoque, fue perdiendo paulatinamente las características metodológicas que vieron su origen y es Arellano (2015), Latour (1997), Collan (1997) entre otros en (Arellano, 1999), quienes indagan e intentan retomar el enfoque original, por lo que, en el interés del presente trabajo, se dará seguimiento a sus trabajos, especialmente al de Arellano.

En el trabajo de Arellano, se pueden ver las formas en que diferentes autores han dado significado a la palabra Red. Las teorías sobre redes han caminado al entendimiento de los actores pertenecientes a la red social. Al emplear el término "Red", muchos investigadores lograron expresar características relacionales entre los actores sociales y los elementos científico-técnicos. Ahora bien, las nociones de Red usada por los estudiosos de la ciencia y la tecnología han sido empleada en la investigación para mostrar las formas de interacción de los conocimientos y los artefactos inmersos en una sociedad, (Arellano, 2004). Sin embargo, la significación del término, ha cambiado paulatinamente, alejándose de su acepción original en la teoría actor-red. Ejemplos de esta perspectiva serían el ferrocarril, la red de iluminación pública urbana, la telefonía, la aeronáutica y últimamente las telecomunicaciones por satélite, incluyendo las autorrutas informáticas. Una de las versiones más fructíferas de red remite al trabajo de Hughes sobre la electrificación en Estados Unidos, en la que se hace equivalente la metáfora de red de electrificación con la red de poder (Hughes, 1983). Influenciado por la teoría de sistemas, define la red simplemente como una estructura coherente; para él, un

sistema es una red y viceversa. En los estudios sociales de la ciencia y la tecnología la noción de sistemas dejó de usarse después de los años noventa. En parte, este cambio se debió a la influencia de la noción de Red (Arellano, 1999).

Michel Callon señala que los actores y las leyes naturales se integran en forma de redes sociotécnicas mediante complejos procesos de traducción conducidos por el ser humano, por su parte, Latour dice que la idea de red está inspirada en la noción de traducción y lo ha expresado como hibridación. Esto supone una mezcla de entidades que producen otras entidades inéditas, de esto, se considera que los intereses sociales son construidos en redes de relaciones heterogéneas. El enfoque de red se designa a un conjunto de elementos heterogéneos interconectados y correlacionados que actúan entre humanos y no humanos, formando actores más duraderos; una red sociotécnica consiste en una malla de acciones cuasi-humanas y cuasi-artefactuales, así como de asociaciones heterogéneas de cosas y humanos capaces de resistir interpretaciones estables e insolubles; por esta razón se ha dicho que una red es una síntesis de naturalezas, discursos y colectivos.

Es, de esta manera, que el presente trabajo, aborda las variables en un sentido heterogéneo. La iluminación, los ritmos circadianos y la domótica, como elementos que proceden de diferente origen del conocimiento y que, en un sentido metodológico, pasan a ser correlacionados secuencialmente y finalmente, se unen de manera insoluble para generar la red heterogénea de investigación en *iluminación circadiana domotizada*©.

La suma de interacciones derivadas de estas asociaciones humanas y artefactuales, se convierten en la metodología de una red heterogénea. Por un lado, existe el aspecto de la iluminación natural que se ha tecnificado con los sistemas de iluminación conocidos; como segundo aspecto, la razón biológica circadiana en el ser humano; misma que ha sido alterada artificialmente por los ritmos de trabajo principalmente en condiciones de ciudad, finalmente, la domótica, como un medio tecnológico capaz de emular la MLD en un espacio construido. Parafraseando a Latour, extendiendo las prácticas de los laboratorios y despachos arquitectónicos

en donde el habitante puede generar relaciones directas con los artefactos (Latour, 1983).

Si estos aspectos fueran descritos desde un enfoque sistémico, quedaría planteado con tres elementos comunicados, pero separados al conjunto (iluminación, ritmo circadiano y domótica). Desde este planteamiento ortodoxo, los elementos, se conciben como sub-sistemas y se pierde la contribución de cada agente, su jerarquía (Arellano, 1999); su vinculación y sinergias poner en relación a cada uno de los aspectos, desde el método actor-red, permite asumir a cada aspecto dentro de la red, interactuar y correlacionarse libremente de tal manera que, cada aspecto se estudia de manera interrelacional con los otros, como actores formando una red heterogénea e indisoluble en sus características investigativas.

Partiendo del análisis de las interacciones humanas en relación directa con las interacciones artefactuales como actores, se evoca a la domótica como una dimensión artefactual capaz de interactuar de manera muy cercana con la estimulación lumínica natural circadiana. De una naturaleza lumínica diurna a una iluminación artefactual emuladora de la MLD, poniendo al ciclo circadiano humano en iguales relaciones investigativas, ya que los procesos técnicos y sociales se influyen mutuamente y se construyen simultáneamente.

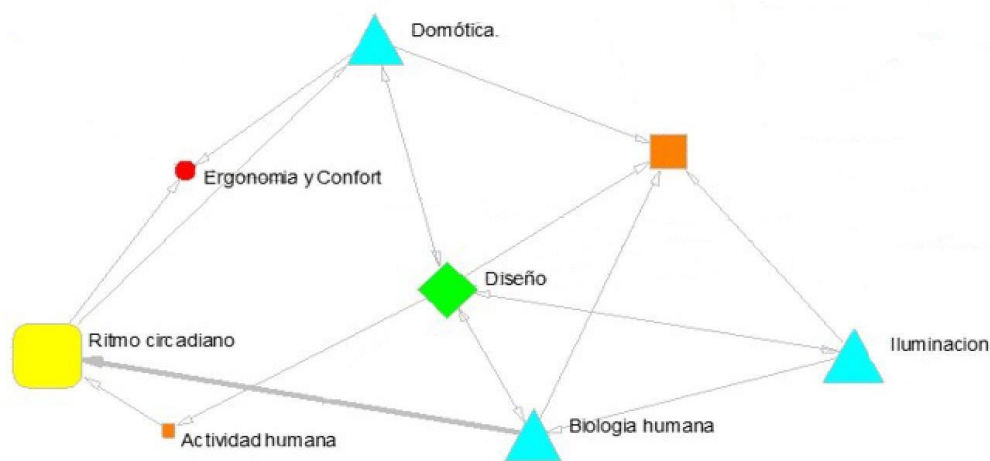


Figura 2: Modelo de la red heterogénea compuesta por tres dimensiones, la iluminación, el circadianismo y la domótica. (Elaboración propia, 2020).

CAPÍTULO 2.



**DISEÑO DE UNA RED HETEROGÉNEA
DE INVESTIGACIÓN EN ILUMINACIÓN
CIRCADIANA DOMOTIZADA**

A continuación, vamos a presentar las rutas de estudio que integraran las dimensiones de una red heterogénea de investigación en iluminación circadiana domotizada®, compuestas por: 1. Ruta de estudio el aspecto lumínico natural y artificial, 2. Ruta de estudio el aspecto circadiano y, 3. Ruta de estudio el aspecto domótico. Finalmente, en el punto 4, se integran estas tres rutas de estudio que, puestas en correlación directa, formando el diseño de la red heterogénea de investigación ICD.

2.1 RETICULA PARA EL ENTENDIMIENTO Y DESARROLLO DE LAS INVESTIGACIONES EN ILUMINACIÓN NATURAL Y ARTIFICIAL

En el presente apartado, se analiza en un sentido correlacionado, los diferentes elementos que componen el estudio de la iluminación;¹³ por tanto, se abordará 1. La forma histórica de entender la luz y su física; 2. El análisis de la iluminación natural¹⁴ y de la iluminación artificial,¹⁵ 3. El estudio de la iluminación arquitectónica y finalmente, 5. Consideraciones para un caso de iluminación en la Ciudad de México (CDMX).

¹³ Es importante hacer una separación de conceptos que pueden causar confusión, por un lado, se encuentra el concepto de la luz, que para el presente trabajo se ha empleado en la noción del fenómeno físico que puede ser natural, procedente del sol y sus cambios naturales propios de su trayectoria, o puede ser artificial, procedente los focos o lámparas. Por otro lado, se encuentra el concepto de la iluminación, concepto que se ha empleado en el presente trabajo, en la noción arquitectónica, creando ambientes interiores y exteriores, en donde la luz ha sido disipada por algún cuerpo ajeno a su origen. Creando efectos de reflexión y refracción principalmente.

¹⁴ El fenómeno de la iluminación natural, se ha entendido en el presente trabajo como la recepción lumínica obtenida dentro de una caja de cristal, en donde no existen elementos antropogénicos que modifiquen sus propiedades, así mismo, se ha entendido en condiciones alejadas de sombras o reflejos y se han omitido las alteraciones por cambios en el clima e interrupciones ajenas al mismo fenómeno.

¹⁵ La iluminación artificial, se ha entendido en el presente trabajo como aquel ambiente iluminado en directas condiciones antropogénicas, por tanto, la iluminación exterior que entra por una ventana y crea un ambiente en un espacio construido, se ha considerado iluminación artificial. Del mismo modo, todo complemento lumínico en el ambiente que procede de fuentes de energía eléctrica, también se ha considerado como iluminación artificial. En el pasado la iluminación por fuego podría ser considerada también como iluminación artificial.

La forma histórica de entender la luz y su física

En un recorrido sobre el entendimiento histórico de la luz, se encontró que los griegos antiguos pensaron que estaba compuesta por partículas que emitían las fuentes lumínicas y éstas a su vez, estimulaban la visión del observador. Empédocles (495-435 a. C.), entendió la luz como un fenómeno formado por ondas, posteriormente, Platón, (427-347 a.C.), pensó que la luz estaba formada por emisiones propias del ojo, teoría que compartió Euclides (325-265 a.c.).

De acuerdo con Rober, Las formas de entender las propiedades de la luz continuaron avanzando, así en 1630 Galileo realizó la primera medición aproximada de la velocidad de la luz, en 1678 Christiaan Huygens explicó la luz como un fenómeno de onda, En 1704 Isaac Newton realizó el experimento crepuscular de la luz reflejada en placas de vidrio, en 1801 Thomas Young mostró que los rayos de luz pueden interferir entre sí, comprobando la teoría ondulatoria, posteriormente en 1890 con la existencia de la tecnología electrónica, Hertz demostró las ondas electromagnéticas de radiofrecuencia y, en 1914 Max Planck retoma la teoría corpuscular de la luz para explicar la radiación por emitida por objetos calientes (Rober, 1999).

En los últimos dos párrafos, se ha dado muestra cronológica de algunas formas de entendimiento de la luz en diferentes momentos históricos, llegando a entender el fenómeno a partir de la teoría ondulatoria. Sin embargo, vendrían nuevas formas experimentales que llevarían a otros estudiosos del fenómeno a complementar dicha forma de entendimiento.

Como lo menciona Hewitt, en 1905, Albert Einstein explicó cómo un metal emite electrones cuando se expone a la luz lo que desafiaba aparentemente la teoría ondulatoria. Él señaló que la luz interactuaba con la materia, no como ondas continuas, sino en forma de piezas diminutas de energía denominadas fotones. Este descubrimiento no borró la idea de la teoría ondulatoria. En lugar de ello indicó que la luz tiene una naturaleza dual: es al mismo tiempo una onda y una partícula (Hewitt, 2004).

En la física se denomina espectro electromagnético a la distribución energética del conjunto de todas las ondas electromagnéticas que emite el sol de manera permanente; mientras que la luz se define como el rango visible del espectro solar del que el ojo humano tiene la capacidad de percibir.

La radiación solar se filtra a través de la atmósfera y en la superficie de la tierra alcanzan longitudes de onda en un rango de 1km a 10^{-6} nm. La porción del espectro a la que el ojo es sensible comúnmente conocido como luz, tiene una longitud de onda en el rango de aproximadamente 380 nm a aproximadamente 780 nm dependiendo las características propias del individuo. La radiación con longitud de onda entre 100nm y 400nm se llama radiación ultravioleta (UV) y generalmente se divide en UV-C (200 - 280 nm), UV-B (280 - 315 nm) y UV-A (315 - 400 nm); mientras que la radiación con longitud de onda entre 780 nm y 1 mm se llama infrarrojo (IR) UV e IR no son invisibles para el humano.

La CIE¹⁶ (*Comission internationale de l'Eclairage*), organismo que proporciona convenciones para la medición práctica y recomendaciones sobre el control de calidad de los datos¹⁷. Establece los parámetros en escala estándar lumen y en lux, para medir el color aditivo usa la escala es RGB¹⁸ (Red, Green, Blue), para la luz natural usa la escala color correlacionado de temperatura (CCT) en grados Kelvin, el sistema de coordenadas cromáticas X y Y¹⁹ entre otras. Todas ellas, unidades de medición lumínica usadas en el diseño de ambientes en la arquitectura; por lo que, gran parte de los diseñadores en iluminación tienen como herramienta los criterios emitidos por la CIE.

¹⁶ La Comisión Internacional de la Iluminación (conocida por la sigla CIE, de su nombre en francés *Commission internationale de l'éclairage*) es la autoridad internacional en luz, iluminación, color y espacios de color.

¹⁷ Ver el documento "Guide to Recommended Practice of Daylight Measurement" publicado en 1994

¹⁸ RGB por sus siglas en inglés Red, Green, Blue. Es la composición colorimétrica por adición que genera la mayor parte de los colores visibles al combinar en diferentes proporciones a los colores iniciales.

¹⁹ El sistema de coordenadas colorimétricas, es la forma en que se regulan y representan los colores en un plano, proyectando un mapa de colores y sus combinaciones que da como resultado la base en coordenadas X y Y que se emplean en los catálogos de colores.

En 1991 dio inicio el programa internacional de medición de luz natural (International Daylight Measurement Programme IDMP), creado por un comité técnico de la CIE. La información que proporciona este programa se usa en el diseño y simulación virtual de las edificaciones arquitectónicas, no obstante, el avance técnico en el modelado del fenómeno lumínico geográfico, cuenta con una aproximación del 62% de acuerdo a la ficha técnica Autodesk 2019.

Con el uso de tales técnicas de caracterización lumínica, se ha comprobado que, en cada punto geográfico del planeta, existen particularidades lumínicas especiales; adicionalmente, cada día del año es diferente por factores estacionales. Aún más, el ejercicio de monitoreo de algunos observatorios alrededor del mundo, ha comprobado que las mediciones lumínicas no se repiten en los años subsecuentes. Es por ello, que aún se estudia la forma de modelar el fenómeno lumínico en el planeta; entre tanto, la opción más directa es el censado en cada sitio de estudio.

Iluminación natural e iluminación artificial

En esta parte de la investigación en iluminación arquitectónica, se encontraron dos vertientes, por un lado, la iluminación natural que se introduce en los espacios construidos creando ambientes desde el exterior y por otro lado, la iluminación artificial que es ocupada para complementar los requerimientos lumínicos en las estaciones de trabajo y áreas comunes.

Pasando al tema histórico de la iluminación natural bajo los objetivos de la presente investigación, puede decirse que inició cuando el ser humano inició la colonización del planeta. En cierto sentido, no es falso que las actividades humanas prehistóricas se encontraban definidas por las condiciones presenciales de la iluminación natural procedente del sol y de las posibilidades geográficas de su entorno, esto representaba las condiciones para realizar la mayor parte de sus actividades durante el paso del día y dormir por la noche.

Si se parte del análisis teórico y empírico de la dinámica existente en la naturaleza lumínica, se pueden ver cambios constantes por circunstancias directamente relacionadas con su propia dinámica, modificadas por la rotación y la traslación terrestre y así el sol gracias a la combustión de su masa, crea una esfera casi perfecta de plasma, misma que emite una gama de radiación continua al universo. Enseguida, la radiación viaja por el campo espacio y llega a la atmósfera terrestre en donde se filtra y solo pasan ciertas frecuencias. El fenómeno conocido como movimiento de rotación planetaria, que tiene una duración de 24 horas, provoca un amanecer, un punto máximo del día, un atardecer y una noche. La atmósfera terrestre interviene, filtrando el flujo radiante; por esto es común ver un amanecer con el sol color anaranjado, conforme pasa la MLD el sol aparenta un color blanco segador²⁰ hasta llegar al punto máximo de proyección al punto geográfico observado, posteriormente, inicia su decremento lumínico y colorimétrico llegando nuevamente al atardecer con una cierta coloratura naranja, posterior a ello sobreviene la noche con una parcial ausencia de iluminación.²¹ Finalmente, el fenómeno de traslación planetaria, mismo que se refiere a la trayectoria que circunda la Tierra alrededor del sol; al respecto se ha evaluado como se ha mencionado, que cada día de cada año es particularmente diferente, no solo por la variable estacional, también se ha comprobado que cada año tiene lecturas distintas.

Los cambios de iluminación diarios han quedado inscritos en el término desarrollado especialmente para este tema de investigación, usando la categoría *marcha lumínica diaria*© (MLD),²² misma que se refiere a la suma de transiciones

²⁰ En realidad, el sol no es capaz de emitir una luz blanca por el tipo de radiación que emite, se trata de una estrella juvenil naranja que en algún momento crecerá y será capaz de emitir otras frecuencias mayores, sin embargo, la intensidad lumínica que llega al planeta tierra, visualmente se confunde con el color blanco. El ojo humano percibe el color blanco en el momento que la luz refleja en una superficie que tiene la propiedad de modificar la onda y llevarla a dicho color como sucede con todos los demás colores.

²¹ se considera parcial porque en realidad se cuenta con la iluminación del reflejo de la luna que es un satélite natural y de la bóveda celeste.

²² MLD o *marcha lumínica diaria*©, es un concepto desarrollado por Rosete y Arellano (2018) como resultado de la presente investigación. Para esta primera investigación en específico, el estudio de la MLD se concentró en el intervalo lumínico iniciando el día desde la primera lectura ascendente a 3

lumínicas diurnas y nocturnas en periodos de 24 horas, caracterizadas en sus componentes colorimétricos y de intensidad

Illuminación artificial

Pasando al tema de la iluminación artificial, En el presente trabajo se hace referencia al termino con un enfoque de ambientes iluminados por condiciones antropogénicas, como la arquitectura, y a los medios de generación lumínica que surgieron a partir del siglo XIX basados en técnicas de consumo eléctrico y con aplicaciones encaminadas a la arquitectura y al urbanismo.

El ser humano ha evolucionado lentamente basado en las antiguas formas de vida ligadas a una iluminación natural proveniente de la radiación solar. En cambio, la generalización de los espacios iluminados artificialmente ha cambiado bruscamente el entorno de tal manera que, en los últimos 30 años, un gran número de estaciones de trabajo de actividades humanas, se han acondicionado para depender únicamente de la iluminación artificial, sin importar que se usen en horarios diurnos o nocturnos.

En un recorrido histórico sobre la evolución de las luminarias artificiales, se puede mencionar a Thomas Alva Edison quien construyó la primera lámpara incandescente en 1878, revolucionando los conceptos de iluminación que existían al momento. Posteriormente, se inventó la bombilla con aditivos en 1899 (Council, 2013), la iluminación catódica fluorescente 1938 (Gribben, 2004), y actualmente con la introducción de las tecnologías LED en 1994 (Nakamura, 1994), es posible la ambientación lumínica de recintos, situación que está cambiando la administración de las actividades humanas en interiores y exteriores.

lux antes del amanecer pasando por todo el recorrido diurno y hasta llegar a la lectura descendente de 3 lux después del ocaso. Para los intereses futuros de la red heterogénea de investigación en iluminación circadiana domotizada, será imprescindible el estudio del ciclo completo diurno y nocturno para el cual se está trabajando. Siendo una de las vertientes de investigación, la contaminación lumínica urbana diurna y nocturna Arellano (2020), las estimulaciones al ritmo circadiano nocturno, las actividades humanas cambiantes por el rol de turnos, la arritmia de los ritmos circadianos nocturna, de entre otros.

La integración de las nuevas tecnologías, principalmente, las que se basan en tubos fluorescentes y sistemas LED, representan un importante ahorro energético, y una mayor aplicabilidad arquitectónica. Sin embargo, su promoción de uso y eficiencia ha quedado parcialmente descuidado el estudio de la naturaleza biológica del ser humano, en particular, su sincronización al ritmo circadiano.

Iluminación arquitectónica

En la línea de investigación en materia de iluminación de los espacios construidos, hay dos vertientes: por un lado, se encuentra la iluminación natural y por otro, la iluminación artificial. Los medios requeridos para su caracterización han tenido importantes mejoras técnicas y tecnológicas, para lo cual se ha requerido un gran campo de instrumentalización y normatividad que actualmente dan soporte a este campo de estudio.

Diferentes firmas desarrolladoras de software especializado han puesto en el mercado aplicaciones virtuales para el diseño lumínico virtual del espacio usando los parámetros técnicos de los sistemas de iluminación artificial comerciales. Sus principales objetivos se refieren a reducir el consumo energético y abastecer los campos normalizados de iluminación de acuerdo a los estándares regulados. Algunos ejemplos de programas usados popularmente son: AGi32, Dialux, Relux, WYSIWYG, y Litestar.

En materia del diseño iluminativo en las edificaciones, se puede recurrir al trabajo de Wolff. Es un trabajo basado en la propuesta de protocolos de diseño que funcionan como herramientas para el análisis del comportamiento de la luz en un edificio, detectando problemas lumínicos, para que el diseñador proponga soluciones eficientes. Se trata de un área de investigación que abarca de forma correlacional la luz natural, el uso de materiales arquitectónicos, el diseño de los espacios y los elementos limítrofes. La parte propositiva radica en las estrategias para la rehabilitación lumínica de los edificios (Wolff, 2014).

Diferentes trabajos investigativos realizados por Pattini en el Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda del Conyctet, en Mendoza, Argentina, muestran la preocupación que existe por el uso y aprovechamiento de las técnicas de intrusión lumínica a los espacios arquitectónicos; por ejemplo: el uso de ventanas, fachadas y ductos etc. De igual manera, este autor propone formas de diagnóstico y estrategias de intrusión lumínica para su aplicación en las condiciones geográficas regionales. Algunos de sus trabajos se enfocan al estudio del aprovechamiento de la luz natural en aulas de escuelas (Pattini, 2007) (Pattini, 2005).

Un punto siempre importante a tratar en materia de diseño, es el uso de los materiales propuestos. En el tema que nos ocupa, uno de los más recurrentes para la permisión del flujo lumínico natural es el vidrio plano, en tal caso, es importante considerar que este material no es totalmente transparente y tiene una capacidad de bloqueo aproximadamente del $10\% \pm 5\%$ dependiendo de su química y proceso de producción (Vitromart, 2020). Lo mismo ocurre con los plásticos, el policarbonato y el metil-metacrilato que cuentan con una importante ventaja con respecto al vidrio plano, pero qué, aun así, no son 100% transparentes.²³

Una tendencia actual, es el uso de grandes cantidades de vidrio en las fachadas, integración de domos, metales pulidos que dan reflectancia, concretos y pétreos translúcidos, etc. Son materiales pensados inicialmente en factores estéticos en la arquitectura que complementan a los detalles emitidos por los elementos estructurales. Sin embargo, dichos materiales permiten incrementar la recepción de iluminación natural en los recintos.

En la carrera tecnológica por el aprovechamiento energético, se han desarrollado diferentes sistemas de conducción lumínica natural. Es importante

²³ Este criterio no significa una negación de uso, por el contrario, es una consideración afortunada y que debe contemplarse a la hora de complementar el espacio construido con los sistemas de iluminación auxiliares.

mencionarlos y analizar sus oportunidades de aplicación, desarrollo, retos técnicos y funcionamiento.

La ventana es la parte transparente de la envolvente de una edificación. En ocasiones llega a ser tan amplia que se convierte en la fachada total. El testimonio de la arquitectura antigua, permite apreciar cómo la ventana ha sido el elemento clásico de iluminación natural desde los primeros constructores; éstos dejaban pequeñas cavidades en el muro con el propósito de ventilar y a la vez de iluminar de manera natural el interior; posteriormente, con el dominio técnico para la elaboración de vidrio, este vano fue cubierto, pudiendo controlar los elementos climáticos procedentes del exterior, procurando una mejor esfera de confort en los habitáculos. En general, la ventana ha sido la relación más importante entre el interior y el exterior de una edificación, dejando pasar luz, calor, sonido, aire, entre otros elementos.

Actualmente se continúa usando la ventana y se han desarrollado algunos sistemas complementarios de control que suelen ser los sombreadores retráctiles, las persianas, las cortinas, e inclusive sistemas incorporados directamente a la propia ventana, como el tipo celosías, vidrios digitales, vidrios con filtros, entre otros. Finalmente, la clave se encuentra en la estrategia de uso de tales complementos ante la arquitectura.

Pero, además de la ventana como medio de intrusión de la iluminación natural, existen otros medios por los cuales se pueden iluminar de manera natural espacios enclaustrados o alejados de las ventanas; se trata de los sistemas de conducción lumínica desarrollados en los últimos cincuenta años. son básicamente los ductos y la fibra óptica.

Los ductos de luz, son sistemas auxiliares para la conducción de la luz natural a sitios que carecen de contacto directo con la fachada, ya sea porque es un lugar central, sin acceso al exterior o por restricciones estéticas de diseño. Existen diferentes tecnologías que captan la iluminación natural y la trasladan a sitios recónditos de la edificación, usando las leyes de la reflexión luminosa; su principio

básico es el uso de una lente instalada en un lugar iluminado, dicha lente captura la iluminación y genera un haz de luz que viaja por un ducto metálico de paredes pulidas tipo espejo, al final del ducto se instala un difusor que rompe el haz de luz iluminando el entorno inmediato.²⁴ Las condicionantes estructurales de la edificación, son la principal restricción del sistema considerando que se requiere la perforación o seccionamiento de muros y techos por los que atraviesa el ducto y cada giro representa una drástica pérdida de intensidad lumínica. Otra restricción muy importante a considerar es la adaptabilidad del sistema para recibir la máxima cantidad de luz, de acuerdo a las variaciones estacionales y geográficas del sitio, así como la orientación geográfica de la edificación.²⁵

Uno de los medios de conducción lumínica más eficientes que existen actualmente, son los sistemas basados en fibra óptica, debido a la alta pureza en la conducción y conservación de la luz en todo tipo de trayectorias, permite llegar a cualquier parte de la edificación. Su principio básico es similar al de los ductos de luz; su primer elemento es una lente que captura la iluminación y la convierte en un diminuto haz de luz de muy alta intensidad que viaja por la fibra óptica²⁶ que es un conductor no térmico; al final se instala un difusor que rompe el haz de luz iluminando el entorno inmediato. Sin embargo, su gran desventaja reside en el alto costo económico inicial que representa la adquisición del material y su instalación.

Aquí se deben distinguir dos enfoques de la iluminación; por un lado, se ha enmarcado el uso de la iluminación natural desde el punto de vista del diseño, sus aplicaciones actuales y algunas investigaciones recientes. Por otro lado, los estudios de la física de la luz con respecto al fenómeno que da lugar a la MLD; la unión de ambos enfoques permite reflexionar en el aspecto biológico del ser

²⁴ Los ductos de conducción lumínica se recomiendan para edificaciones que cuentan con espacios enclaustrados y/o profundos; en tales casos, no se complementan las funciones de sombra, ventilación y vistas exteriores que se requieren en algunas actividades humanas.

²⁵ Actualmente se sigue investigando para mejorar las tecnologías de captación y conducción de luz y evitar en la medida de lo posible la pérdida lumínica durante la conducción.

²⁶ La fibra óptica es el medio conductor, es una fibra que procede de la sílice y se modifica al someterla a una serie de procesos térmicos y de elongación.

humano y su confort, incorporando el tema de las actividades humanas reguladas circadianamente en el problema de investigación.

Consideraciones para un caso en CDMX

Si se analiza un espacio en particular, se pueden ver diferentes características que hacen del punto geográfico un caso de estudio. Por ejemplo, si se requiere el estudio para el diseño de una edificación en la CDMX, lo conveniente sería contar con un mapa lumínico circadiano modelado previamente, sin embargo, esta herramienta aún no existe.

Actualmente, existe un solo observatorio especializado en la recolección de información de la radiación solar en la CDMX, perteneciente a la red solarimétrica mexicana y a cargo del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); este observatorio se enfoca al censado y estudio de propiedades energéticas. Parte de esta información, podría ser usada para calcular la reflexión difusa, especular, transparencia y reflexión de los materiales abordados en el diseño.

Hablando de la iluminación diurna que se recibe en la Ciudad de México, es posible considerar un caso de estudio al distinguir los siguientes factores: 1. En esta zona en especial existen al menos 3 climas bien catalogados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) que consisten en, clima templado subhúmedo (87%), clima templado húmedo (6%) y clima semi seco (7%). 2. La topología del lugar registra cambios importantes por una altitud promedio de 2250 metros sobre el nivel del mar con una máxima de 3930 metros. 3. Se consideran tres principales tipos de cielo catalogados que son: cielo nublado, cielo parcialmente nublado y cielo despejado. 4. La red urbana carente de planeación técnica, en donde la retícula responde a la categoría “plato roto” y pierde el sentido de orientación oriente – poniente.

Es interesante recurrir a la revisión de la normativa que regula los criterios para el uso de la luz natural en la arquitectura.²⁷ El uso de dichos criterios permite al diseñador omitir un análisis lumínico en el sitio de interés.²⁸

Derivado del estudio del clima, de la topografía, del tipo de cielo, de la orientación urbana y de la normativa local vigente, el diseñador de espacios habitables, puede ser capaz de acondicionar los espacios arquitectónicos, empleando las técnicas constructivas que permiten un porcentaje amplio del paso de la luz natural y llevar a cabo el complemento lumínico con sistemas comerciales de iluminación artificial.

Como se verá en el capítulo 5 del presente trabajo, es sumamente interesante el análisis de los espacios construidos en uso, toda vez que, en materia de diseño, el actor creativo puede proponer la construcción de áreas adaptadas a las labores especializadas con un afortunado planteamiento de la integración lumínica desde el exterior, agregando ventanas o fachadas completas de vidrio.

Como parte de la discusión de los elementos aquí expuestos, se infiere que es fundamental el diseño de iluminación circadiana domotizada considerando los factores de CCT²⁹ y SPD³⁰ a cada momento del día, a cada día del año, poniendo en relación principal cada actividad del habitante.

²⁷ Gaceta Oficial del Distrito Federal, “Norma técnica complementaria para el proyecto arquitectónico” (México, Gobierno del Distrito Federal, 8 de febrero 2011), Por mencionar algunas normas complementarias del uso de la iluminación: MON 030, NOM 031, NOM 017, NOM 014.

²⁸ En el presente trabajo se considera que, la normativa debería estar sujeta primeramente a los parámetros específicos del lugar; requiriendo para cada caso en particular, un estudio de iluminación circadiana. Dadas las recomendaciones lumínicas descritas en la normativa, se requiere de un análisis preferentemente virtual durante la etapa del diseño del espacio, conteniendo las variables de estudio para la estimulación circadiana. De esta manera, se podría diseñar la iluminación circadiana interior favorable al habitante.

²⁹ CCT (Color Correlacionado de Temperatura) La temperatura de color de una fuente de luz se define comparando su color dentro del espectro luminoso con el de la luz que emitiría un cuerpo negro calentado a una temperatura determinada. Por este motivo esta temperatura de color se expresa en grados Kelvin, a pesar de no reflejar expresamente una medida de temperatura, por ser la misma solo una medida relativa.

³⁰ SPD Un sistema de control de iluminación Domótico es una solución de control basada en redes de comunicación entre varios componentes, diseñado para regular un sistema de iluminación programado, supervisado y gestionado desde uno o más dispositivos informáticos centrales. Los sistemas de control en la iluminación funcionan para distribuir la cantidad adecuada de luz artificial

Para conocer el método de aplicación aplicado en el diseño de la iluminación circadiana, dirigirse al capítulo 3 en donde se muestra una fase de la experimentación que soporta el diseño de una retícula de estudio para el entendimiento y desarrollo de las investigaciones en iluminación natural y artificial.

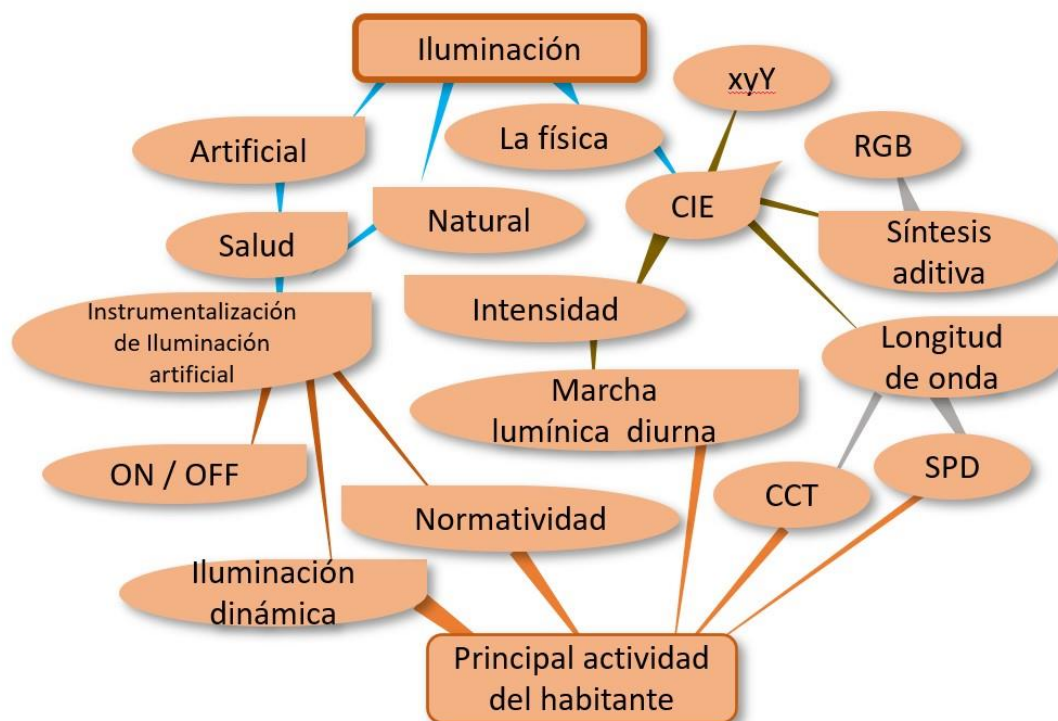


Figura 3: Diseño de una retícula para el entendimiento y desarrollo de las investigaciones en lumínico natural y artificial (Elaboración propia, 2020).

en el espacio y momento necesario, y son ampliamente utilizados tanto en interiores como exteriores en espacios residenciales, industriales o comerciales.

El aspecto de la iluminación natural y artificial, se ha estudiado desde la física, la ingeniería y la arquitectura, en especial encomienda de adaptar el espacio construido. Sin embargo, los intentos que hay en la actualidad de generar iluminación circadiana artificial en México, han dejado a un lado otros aspectos importantes como la investigación integrada de iluminación circadiana domótica, estas investigaciones están latentes en este momento.

Como se pudo ver con anterioridad, existen investigaciones en torno al desplazamiento de la iluminación natural por medios tradicionales, reflectivos y conductivos; sin embargo, todo ello está limitado a ciertas características constructivas y económicas y al final, sin considerar la correlación directa entre aspectos circadianos y domóticos que integren la investigación.

Con la presente investigación se pretende que el profesional del diseño aborde ciertos rasgos creativos y de construcción epistémica, derivada de la comprensión del comportamiento de la naturaleza lumínica, de la marcha lumínica diaria© y de las necesidades lumínicas para un espacio arquitectónico, poniendo en discusión las observaciones tomadas en un punto geográfica determinado con el uso de sistemas de iluminación artificial.

En la perspectiva de la presente investigación de desacreditar el uso de sistemas de iluminación artificial de algún tipo en específico, por el contrario, se alude a que los resultados técnicos y tecnológicos derivados de su uso, han sido encomiables. Así mismo, y en la visión de diseñador,³¹ ha sido preciso abordar la discusión de correlaciones entre la iluminación natural, la iluminación artificial y sus aplicaciones encaminadas hacia una ICD en un espacio adaptado.

³¹ Pensando en el habitante desde sus particularidades individuales, su confort, su ergonomía, su antropometría, puestas en relación con sus actividades particulares y su entorno.

2.2 RETICULA PARA EL ENTENDIMIENTO Y DESARROLLO DE LAS INVESTIGACIONES EN RITMO CIRCADIANO SINCRONIZADO POR LA ILUMINACIÓN

De conformidad con el apartado sobre la ruta de estudio para entender la iluminación (2.1), se puede distinguir una arista en el análisis de relación entre la iluminación y el ser humano como un ente biológico, específicamente con su naturaleza que procede de sus años de evolución y adaptación al entorno iluminado. Por tanto, aquí se presentará en el punto 1, la biología del ritmo circadiano humano y su relación con el día; mientras que, en el punto 2, se expondrá el ritmo circadiano humano en los entornos arquitectónicos. De lo anterior se declinan dos apartados; el apartado 2 A, se abordará la iluminación natural y su importancia para estimular el ritmo circadiano, mientras que en el apartado 2 B, se expondrá de la iluminación artificial y los recientes hallazgos científicos que la asocian con diferentes factores de salud. En el punto 3, se sintetizarán todos los elementos estudiados y se propondrá una retícula para el entendimiento y desarrollo de las investigaciones en el ritmo circadiano sincronizado por la iluminación. Finalmente, en el punto 4, se presentará una discusión de los elementos estudiados en este subcapítulo.

Biología del ritmo circadiano humano

Los ritmos circadianos son los ritmos que rigen a todo ser humano en sus funciones psico-fisiológicas como dormir, despertar, comer. Detona la química necesaria para estar más activos por la mañana o por la tarde, dependiendo del individuo (Dolsen, 2018). Estos ritmos y funciones están siendo estudiados principalmente en el campo de la medicina neurobiológica, encontrando que los principales estímulos de sincronía son: la luz solar, la temperatura, los cambios gravitacionales, los cambios de ruido y la humedad, entre otros. De esta manera, el organismo recibe las señales naturales y reacciona a ellas (Colwell, 2015).

Los ritmos circadianos son complejos y dinámicos, ellos representan unas de las bases biológicas inherentes a todo ser vivo sobre el planeta. Para los objetivos del presente trabajo, se aborda en una perspectiva enfocada al humano como especie, entendiendo que el ser humano requiere de la iluminación para sobrevivir y llevar a cabo sus actividades.

Como se vio en el apartado anterior, existe un ciclo transitorio a cada 24 horas caracterizado por el día y la noche. Posiblemente desde que el Homo Sapiens se constituyó hace cerca de un millón años atrás, el ser humano no ha dejado de adaptarse a su entorno. investigaciones recientemente muestran que la humanidad sigue evolucionando, tratando de sincronizarse al del ciclo diario (Bhadra, 2017).

Hay una gran diferencia entre adaptación y acostumbramiento. El acostumbramiento se ha venido confundiendo con de la adaptación de los espacios arquitectónicos a la vida diaria de los seres humanos. La adaptación tiene una cierta relación con la propia evolución biológica y esto queda demostrado al penetrar en el estudio de los factores neurobiológicos en el ser humano. En los últimos años, los neurobiólogos han vinculado las propiedades químicas humanas a las respuestas para realizar sus diversas actividades y la respuesta neurológica bajo ciertos estímulos propios de la evolución. De acuerdo con dichos estudios, los individuos se han ido ajustando paulatinamente y siguen respondiendo a la influencia de la dinámica lumínica diurna como el principal estimulador para la sincronización de los ritmos circadianos (Paranjpe, 2005).

El ser humano se encuentra inmerso en un contexto lleno de factores que le intervienen como el clima, la geografía, las plantas, los animales, el aire, etc., pero, estos factores se intercomunican y crean una serie de acciones dentro del cuerpo humano. Un buen ejemplo para distinguir este fenómeno, es la interacción que tiene el cuerpo humano con el efecto físico provocado por la iluminación natural en sus transiciones diurnas y nocturnas. Cuando es de día, el ser humano está activo, mientras que en la noche duerme. Pero esto no es una coincidencia, no es una tradición, no es un hábito social, no es fortuito o una costumbre cultural.

Los procesos de sincronización de los ritmos circadianos, son una interacción sumamente compleja que suponen la intercomunicación de todos los factores asociados. El ser humano como un ente biológico rige sus actividades en un ciclo diario. Los diferentes momentos del día y la noche, estimulan al sistema biológico a suprimir en algunos casos y en otros a segregar cierta carga hormonal que estimula el rendimiento de todas las actividades fisiológicas, como el hambre, el sueño, velocidad de reacción, disposición para realizar actividades físicas, entre otras. Cuando el individuo regula correctamente su reloj biológico, se dice que tiene un ritmo circadiano sincronizado.

Diferentes investigaciones han demostrado que el cambio lumínico diurno es el principal estimulador del ritmo circadiano; no obstante, existen otros efectos derivados del fenómeno rotatorio planetario como lo son: los cambios de humedad, los cambios gravitatorios que se pueden ver fácilmente en el cambio de marea, cambios en el ruido diurno, cambios magnéticos, de entre otros (Roelof, 2008), (Roenneberg, 2007).

En el presente trabajo se estudia al cambio lumínico diurno y las posibles reacciones que se producen en el ser humano. Las investigaciones neurofisiológicas enseñan que la luz natural, entra por el ojo, llega a la retina y esta manda una señal al núcleo supraquiasmático (NSQ),³² mismo que es el principal centro de regulación del ritmo circadiano; así el NSQ detona las señales que coaccionan la química del cuerpo. Este mecanismo, determina los momentos del día en los que se activa la glándula pineal que tiene la función de generar y secretar la hormona melatonina. La secreción o supresión de dicha hormona es el factor que sincroniza al reloj biológico. La información gestionada por el sistema

³² El núcleo supraquiasmático, abreviado NSQ, es el centro principal de regulación de los ritmos circadianos. Mediante diversas proyecciones sincroniza los ritmos periféricos y estimula la secreción de melatonina por la glándula pineal. El NSQ es conocido como el marcapasos central ya que se ocupa de sincronizar los diversos ritmos periféricos con los estímulos externos que le informan sobre los cambios de luz y temperatura generados por la rotación de la tierra. estos estímulos se conocen por su término alemán zeitgeber.

supraquiasmático para la supresión o generación de melatonina se encuentra ligada a las propiedades de la luz captada por el ojo.

Ahora bien, el ritmo circadiano humano se entiende que es estimulado y reacciona a partir de factores externos. Se identifica que su principal estimulador es la iluminación natural a lo largo del día y que a cada momento emite señales particulares creando determinada transición química en el individuo. Al entender las interacciones naturales de estimulación y efecto, se puede ver la razón biológica que mantiene regulado al ser humano; mientras que interrumpirla, puede llevar a condiciones irregulares y, por lo tanto, poco favorables para el sujeto.

La iluminación natural deviene información para el sistema supraquiasmático, esta información se expresa principalmente en intensidad y el color de la iluminación; así, la luz azul cuyas ondas miden entre 460nm y 480 nm es la que más efecto de supresión en melatonina tienen. De esta manera, a mayor intensidad de luz, mayor supresión de melatonina (Colwell, 2015).

El ser humano en su vivir diario, sigue patrones que, en el mejor de los casos, forma rutinas de actividades, horarios, funciones, tareas, usos y costumbres. Esta cotidianidad puede llegar a entenderse como un ritmo diario. La biología del cuerpo humano se educa a repetir dichas actividades diarias y se prepara para responder a ello, y su función se sincroniza al paso del día. Por ejemplo, comer siempre a la misma hora genera la señal de hambre cada día a la misma hora, el páncreas, el hígado, el aparato digestivo y demás órganos relacionados se preparan previamente para trabajar en el proceso gástrico y digestivo. Otro ejemplo es, cuando una persona se disciplina a dormir diariamente a la misma hora, recibe luego de un tiempo la señal de sueño de manera anticipada a cada día sin interrupción; el NSQ manda la señal a la glándula pineal que comenzará la secreción de melatonina, esto hará que el cuerpo comience un proceso de relajación y reposo; de igual manera, habrá cambios de temperatura interna y efectos de somnolencia, entre otras reacciones biológicas. Estas señales que se han mencionado, proceden directamente del NSQ y es totalmente involuntario (Gooley, 2015). En general, todas las funciones fisiológicas humanas, tienden a

sincronizarse de esta manera con el pasar del día y la noche; en el área de la neurobiología a estas sincronizaciones se les denomina *ritmos circadianos*.

Expresado en términos genéricos de salud, Mariana señala que la hora del día a la que se debe de suprimir la melatonina es importante para que los procesos circadianos del hombre se den de forma saludable desde el punto de vista fisiológico y psicológico. De acuerdo con la autora si se suprime al mediodía, se pueden generar efectos nocivos para la salud; en cambio, si esta hormona se suprime unas horas después del ocaso, los efectos de la salud serán positivos. Por tanto, la hora del día en la que se suprime la melatonina es clave para mantener los procesos circadianos del hombre funcionando saludablemente (Mariana, 2017).

Las consecuencias de interrumpir estas rutinas, pueden correlacionarse con procesos nocivos para la salud a nivel celular entendidas como patologías clínicas leves que pueden identificarse como ciertos trastornos depresivos, tristeza, jet-lag de entre otros. Nuevas investigaciones han encontrado importantes correlaciones entre esta arritmia circadiana y enfermedades crónicas degenerativas como algunos casos de diabetes y algunos tipos de cáncer (homeostasis, apoptosis, neoplastia, metástasis) (Mark, 2009).

De acuerdo con Miranda, la duración de luz intensa y azul incidiendo en el ojo también afecta a la supresión de melatonina. D conformidad con este autor, cuando la luz considerada no circadiana³³ que sea de baja intensidad y de colores verdes amarillentos inciden en el ojo, durante más de 4 horas, puede llegar a tener efectos de supresión de melatonina y modificar los patrones de los ritmos circadianos. Por tanto, la duración de la luz incidente al ojo, es también determinante para los patrones de los ritmos circadianos (Miranda, 2010).

La distribución espacial de la luz también cuenta en la sincronización del ritmo circadiano. Se ha comprobado que, si la luz se distribuye preferentemente

³³ Se considera luz no circadiana a la luz que no pertenece a los cambios lumínicos naturales diurnos, recordando que, en materia de color, corresponden únicamente a la escala en grados kelvin que va del aparente anaranjado al aparente blanco. Colores diferentes como el verde, violeta, rojo, café, etc, son considerados como luz no circadiana.

hacia las áreas inferiores de la retina, la supresión de melatonina será mayor que si se distribuye hacia las áreas superiores.

En síntesis, para el estudio del efecto de la luz en las actividades humanas, se deben considerar las características inherentes en la luz que estimulan al ritmo circadiano humano, siendo éstas: 1ª. La intensidad de la luz a partir de 1000 luxes, 2ª. El color en el rango de 460nm-480nm, 3ª. La hora del día en el que incide la luz en el ojo, 4ª. El tiempo de incidencia de la luz en el ojo y, 5ª. La distribución espacial de la luz.



Figura 4: Características inherentes en la luz que estimulan al sistema circadiano humano (Elaboración propia, 2020).

Las características de la luz circadiana que se acaban de mencionar transitan durante la MLD. El ritmo circadiano del hombre se ha adaptado a esta variación y es la información contenida en la luz natural la que le indica al NSQ cuando reaccionar de un modo o de otro. Si esta información iluminativa fuera constante, como es el caso de los sistemas de iluminación artificial usados actualmente en la mayor parte de los espacios arquitectónicos, ocurriría que la melatonina se produciría o se suprimiría constantemente. Por su parte, los procesos psicofisiológicos tendrían un comportamiento irregular (Wang, 2017).

El ritmo circadiano humano en la arquitectura

Es preciso considerar los elementos inherentes a la transformación del entorno no natural entendido como espacio arquitectónico, en afectación directa con la sincronización del ritmo circadiano del individuo, principalmente en actividades propias de ciudad. Pero la razón del entendimiento de lo circadiano va más allá de lo descrito en este punto, y para efectos del presente trabajo, se ha dirigido al conocimiento más preciso de los aspectos lumínicos que sincronizan al reloj biológico desde lo neurológico en el ser humano inscrito en un espacio arquitectónico y su bienestar.

Es importante considerar que las investigaciones reseñadas anteriormente sobre luz y ritmos circadianos se expresa en a los avance que se están haciendo de manera convergente desde otras áreas del conocimiento para la mejor utilización de los recursos lumínicos artificiales, por ejemplo: las condiciones favorables en los umbrales del confort en la arquitectura (Meythaler, 2017), la psicología ambiental (Uzzell, 2017), los aspectos de habitabilidad en sus diferentes especialidades; así mismo, el cuidado médico a partir de los ritmos circadianos (Ferrarin, 2017), los rangos de operación de los dispositivos genéricos de la domótica para regular la funcionalidad técnica y tecnológica de la Iluminación circadiana (Tang, 2016).

La arquitectura ha venido adoptando los resultados de las investigaciones de iluminación en beneficio de los habitantes; no obstante, la integración del concepto “domótica”³⁴ permite la manipulación de los elementos como variables, en todas sus características; abriendo un abanico de posibilidades arquitectónicas, orientadas al mejoramiento del confort del habitante.

Si esta manipulación de ambientes pudiera ser trasladada al espacio construido y con un enfoque para la sincronización de los ritmos circadianos en el humano, como algunas aplicaciones básicas lo dejan ver (Wright, 2015) y; de

³⁴ En este momento se habla de domótica como un concepto general de automatización en los espacios arquitectónicos. Mas adelante se estudiará a la domótica en sus formas investigativas y habrá un declinamiento por la domótica iluminativa en la especialización de circadianismo.

manera simultánea, entregar el control de las mismas, el arquitecto podría atender importantes elementos de salud física, neurológica y psicológica (Kunz, 2017), (Simon, 2016).

El estudio de la iluminación en la arquitectura debe analizarse desde la comprensión de dos tipos de fuente lumínica, la iluminación natural y la iluminación artificial. Se deben ver como aspectos inseparables, pero analíticamente se pueden estudiar en sus propios límites.

Iluminación natural y artificial en la arquitectura

Cuando se habla de la iluminación natural en la arquitectura, también se debería pensar en las diferentes transiciones lumínicas inherentes al fenómeno diurno, ya que cuenta con una serie de cambios colorimétricos y de intensidad sumamente importantes que estimulan la sincronización del ritmo circadiano humano brindando al habitante un espacio saludable y de confort.

En el pasado, numerosas actividades productivas se realizaban cotidianamente durante el día; actualmente se llevan a cabo a cualquier hora con apoyo de iluminación artificial. Sin embargo, recientes investigaciones han estudiado las diferencias existentes entre la exposición del ser humano a la luz natural y a la luz artificial en los espacios arquitectónicos, encontrando que la primera proporciona una gran variedad de estimulaciones bioquímicas durante el día. Adicionalmente se ha comprobado que la luz del día reduce el estrés y aumenta la productividad (MBC, 2005), (Boyce, 2003), (Heschong, 2003). Así mismo, se ha encontrado que el clima en general influye a la salud y el estado de ánimo de las personas (Denissen, 2008), (Watson, 2000).

Smolensky comenta que, un importante grupo de médicos considera que la iluminación diurna estimula la síntesis de la vitamina D, los baños de sol ayudan a estabilizar el sistema nervioso central y promueve la reproducción molecular interna. Más allá del rango visible de la radiación solar, hay radiaciones no perceptibles directamente, que pueden destruir las células del cuerpo, causando problemas en la piel y en diversos órganos del ser humano (Smolensky, 2001).

Al hablar de iluminación artificial arquitectónica, se piensa en sistemas de iluminación comerciales, en los que, sus cambios en uso normal corresponden únicamente a “encendido y apagado”, sin embargo, la potencialidad tecnológica de las luminarias contemporáneas y los sistemas de control, se extienden hasta la emulación de la MLD para ofrecer una iluminación circadiana domotizada.

Los sistemas de iluminación incandescente, fluorescente y LED, permiten que una gran parte de la población haga uso de los espacios construidos con otra perspectiva funcional a la luz del incremento de la vida del ser humano. En esta relación de, iluminación artificial, espacio arquitectónico y reflexión académica en el diseño, se concibe a la iluminación dada por el sol, solo como un valor arquitectónico, haciendo a un lado las demás propiedades naturales del fenómeno, asumiendo que son reemplazadas por los sistemas de iluminación convencionales.

La exposición a luz brillante artificial durante la noche suprime la secreción de melatonina, reduce el sueño y aumenta el estado de alerta. La desalineación circadiana causada por la exposición crónica a ritmos diferenciales o arritmias, puede tener efectos negativos sobre las funciones psicológicas, cardiovasculares y / o metabólicas. también causa la interrupción de la fase circadiana. Adicionalmente, se ha informado que las longitudes de onda de luz más cortas alteran la secreción de melatonina, incluso si la luz no es brillante. Es importante generar un ritmo de vida constante en los seres humanos, esto tiene que ver con una calidad de vida y las actividades habituales, dado que los cambios repentinos, provocan destiempo en el suministro natural de la bioquímica en el cuerpo.

En otra materia al paralelo, se puede encontrar que las propiedades de la radiación lumínica artificial, son estudiados como un tratamiento no farmacológico para la atención de una variedad de problemas relacionados con la salud, incluidos problemas de la piel (tratamiento con radiación UV), trastorno afectivo estacional (SAD), depresión, jet-lag, trastornos del sueño en el ritmo circadiano, disturbios y problemas de comportamiento (Hoof J, 2012). La terapia lumínica consiste en la exposición a la luz considerando rangos específicos del espectro de radiación en periodos controlados de tiempo e intensidad.

Iluminación circadiana

Ahora bien, no se puede desdeñar que en la literatura en iluminación natural y la iluminación arquitectónica, hay referencias especializadas que hablan de iluminación circadiana y también laboratorios especializados que investigan la iluminación natural como estimulador del ritmo circadiano. Este es un tema que expresa las particularidades en torno a los aspectos anteriores de la iluminación y la importancia de su uso en las actividades humanas.

Diferentes investigaciones destacan en la literatura, como son los trabajos realizados en la *University of South Australia*, la Universidad Politécnica de Madrid, el *Rütger Wever institut* en Alemania y el *Sleep & Circadian Neuroscience Institute* en Italia, entre otros, en donde se llevan a cabo importantes investigaciones en el desarrollo de la iluminación circadiana, enfocadas a disminuir los padecimientos asociados con la desincronización de los ritmos circadianos.

Gracias a la combinación de las tecnologías LED, las aplicaciones de iluminación circadiana están generando un campo dinámico de iluminación como nunca antes se había controlado (Milz, 2017); por ejemplo: en el metro de Moscú, se ha instalado un sistema de iluminación circadiano basado en tecnología alemana (Leeming, 2017). También, investigadores de la empresa Walalight promueven la iluminación circadiana saludable para empresas y corporativos de Estados Unidos y Canadá (WalaLight., 2017). El *Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, U.S* está publicando resultados en materia de iluminación circadiana para personas con prótesis removibles (Marquezan, 2017), los factores humanos que impactan a la iluminación y la salud (Bullough, 2017), la influencia que tiene la temperatura y el color de la iluminación en el confort (Wang, 2017), y la sincronización de los ritmos circadianos en USA (Mariana, 2017), entre otros.

En otros lugares del mundo se investigan las afectaciones a los cambios en la personalidad (Micic, 2016), la sincronización de las actividades diarias con el reloj biológico (Aoki, 2017), los problemas en la salud y los trastornos circadianos

causados por el uso de luminarias genéricas (Emens, 2017), las mejoras en la salud derivadas del uso de iluminación circadiana (Gooley, 2017).

El caso más cercano a la temática abordada en el presente trabajo es el que se realiza en el *Lighting Research Center at Rensseler Polytechnic Institute*, en los Estados Unidos de Norte América. En este centro se han realizado importantes avances en materia de la caracterización lumínica natural, logrando establecer los parámetros de color e intensidad estándar para cada día del año, así como algunas aplicaciones dedicadas a la estimulación del ritmo circadiano por medio de lámparas especializadas.

En México también hay estudios en el tema, principalmente desde el campo de la neurobiología. Datos afirman que el 45% de la población adulta presenta trastornos circadianos (Jiménez, 2017), en la facultad de ciencias de la UNAM, se han estudiado parte de los elementos que causan obesidad asociada al reloj circadiano (Miranda, 2010), así como en el departamento de fisiología, se investiga desde la neurobiología de los ritmos circadianos, en el departamento de bioquímica se publica en materia de la inmunidad biológica que se puede generar al sincronizar los ritmos circadianos (Ramírez, 2014), entre otros. Así mismo, la UNAM cuenta con una clínica de trastornos del sueño que, en colaboración con el hospital general de México y otras instituciones, investigan de manera puntual esta familia de temas (Torre, 2014).

Como se puede ver, mucho se está discutiendo e interpretando en función de las afectaciones físicas, psicológicas, fisiológicas y neurológicas procedentes de la desincronización del ritmo circadiano y se han propuesto diferentes tecnologías que intentan replicar las condiciones naturales estándar. Tales afectaciones se ven modificadas por las características naturales (del entorno natural), de lo que se infiere una diferencia entre el concepto del estándar natural y lo que en realidad se vive en un punto geográfico con sus particularidades sociales, como lo es la Ciudad de México.

También se puede ver que la naturaleza de los ritmos circadianos no es estable y se ven afectados por motivadores atmosféricos, estacionales, geográficos, etc. Además, se agregan los cambios administrativos como el cambio de horario o las contingencias ambientales, que imponen variaciones en el flujo de los ritmos circadianos generados artificialmente.

Desarrollo de la retina

Finalmente, es preciso hacer una recopilación de información general que lleve a la construcción de la retina de estudio para el entendimiento del aspecto circadiano como se ha estado hablando en el presente apartado. Desde el fenómeno natural, hasta la sincronización con el habitante.

El flujo de la estimulación circadiana al NSQ se presenta de la siguiente manera. La dinámica lumínica de la que se ha hablado en este apartado entra directamente por el ojo y la señal es recogida por los conos y bastones que se encuentran en la retina, especialmente en la parte inferior, posteriormente, esta señal se conduce directamente al NSQ sin pasar por las zonas de conciencia en el cerebro, esto quiere decir que no se toman decisiones conscientes en este proceso específico. Posteriormente y dependiendo del tipo de señal que es recibida, el NSQ manda la señal a cada glándula relacionada con el proceso fisiológico estimulado. Por tanto; si existe una señal lumínica sin cambios, o con cambios diferentes a la naturaleza del ciclo circadiano, el NSQ reaccionará de manera involuntaria a dicho estímulo, haciendo trabajar a las glándulas sin pertinencia; provocando el tipo de patologías mencionadas.

Considerando este tipo de variables, tenemos que el ritmo circadiano se sincroniza principalmente por la influencia de dicha iluminación diurna, pasando por la retina, recibida por el ipRGCs³⁵ y enviando la señal directamente al NSQ, este núcleo estimula la segregación y la supresión en la producción de las hormonas que sincronizan a los procesos biológicos con los ritmos circadianos como se puede ver en la siguiente figura 5.

Derivado del estudio de estos criterios que se han analizado durante todo el apartado, se ha configurado de manera esquemática, una retícula de estudio para el entendimiento y desarrollo de las investigaciones en ritmo circadiano estimulado por iluminación.

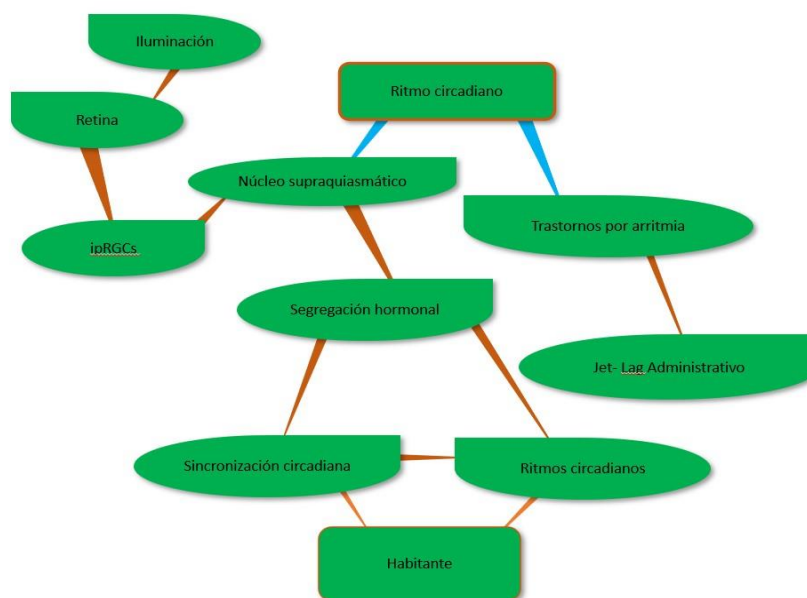


Figura 5: Diseño de una retícula para el entendimiento y desarrollo de las investigaciones en ritmo circadiano estimulado por iluminación (Elaboración propia, 2020).

³⁵ Las células ganglionares retinianas fotosensibles intrínsecamente (ipRGCs), también llamadas células ganglionares retinianas fotosensibles (pRGC), o células ganglionares retinianas que contienen melanopsina (mRGC), son un tipo de neurona en la retina del ojo de los mamíferos . La presencia de ipRGC se observó por primera vez en 1923 cuando los ratones sin varilla y sin cono aún respondían a un estímulo de luz a través de la constricción de la pupila, lo que sugiere que las varillas y los conos no son las únicas neuronas sensibles a la luz en la retina. No fue hasta la década de 1980 que comenzaron los avances en la investigación de estas células. Investigaciones recientes han demostrado que estas células ganglionares de la retina, a diferencia de otras células ganglionares de la retina, son intrínsecamente fotosensibles debido a la presencia de melanopsina , una proteína sensible a la luz. Por lo tanto, constituyen una tercera clase de fotorreceptores, además de las células de barra y cono.

Discusión

Los estudios basados en el ritmo circadiano, proceden principalmente de las líneas de investigación en neurobiología, son avances muy importantes que siguen dando pie a la investigación de frontera. Desde el punto de vista de la investigación aplicada que va de lo circadiano al entorno construido, se puede señalar que es una disciplina reciente. Se deben reconocer los trabajos que se aproximan a la presente propuesta de investigación, se han logrado pesquisas en un reducido número de ensayos y faltan diversas aristas del conocimiento asociado por estudiar. Pero desgraciadamente, todos estos ensayos han sido de manera local y con perspectivas muy concretas como se mencionó en su momento.

La mayor parte de la literatura se limita, desde cada perspectiva de investigación, a su propio control de las variables directamente asociada y por ello, poco se ha indagado en términos del habitante y su vida diaria ante el entorno construido ergonómico. Sin duda, hace falta la integración de pesquisas locales y foráneas en donde se permita el análisis químico, físico, fisiológico y psicológico del individuo sincronizado en su ritmo circadiano, será una oportunidad investigativa futura, el medir y caracterizar dichos elementos correlacionales con el confort y la ergonomía desde una perspectiva de diseño.

La característica más importante en este sentido, es que, aún faltan investigaciones propias en el tema que pongan en directa relación lo circadiano, con los aspectos de la iluminación. En el presente trabajo se ha tomado la idea de la MLD considerándola como la señal principal que debería seguir la ruta de adaptación circadiana, por lo que si bien las investigaciones neurobiológicas son importantes para la salud y eventualmente para el desarrollo de la arquitectura; en el presente trabajo se asume el riesgo de proponer el desarrollo de tecnologías iluminativas para alcanzar la emulación de la MLD como la fuente lumínica principal para sincronizar ritmos circadianos saludables. Es importante señalar que, en ausencia de información referente la iluminación circadiana, el experimento que se describe en el capítulo 5 puede constituirse justamente como potencial de un laboratorio de investigaciones en ICD.

La retícula fue abordada desde dos perspectivas básicas, la primera, entendiendo la naturaleza biológica del ser humano, principalmente desde el elemento circadiano. Aquí se ha entendido la importancia ergonómica desde lo neurológico y el camino que puede plantearse para alcanzar mayores niveles de confort, desde la visión del Diseño. La segunda perspectiva, es la puesta en relación de la biológica humana con la iluminación (natural y artificial) en un espacio adaptado. Estas dos perspectivas de la presente investigación, deberían ser aspectos inseparables. Finalmente, se alcanzan a distinguir elementos faltantes en esta construcción, por lo que se alude a la pregunta ¿Cómo agregar un medio de conciliación entre los dos aspectos anteriores? Lo cual se abordará en el siguiente apartado.

2.3 RETÍCULA PARA EL ENTENDIMIENTO Y DESARROLLO DE LAS INVESTIGACIONES EN DOMÓTICA

La retícula de entendimiento y desarrollo de las investigaciones en domótica iluminativa será presentada en los siguientes apartados. El marco histórico del desarrollo de los recursos tecnológicos. Un panorama internacional y local de los avances en domótica, así como algunas aplicaciones en el espacio arquitectónico. La presentación de la domótica como un recurso capaz de aportar soluciones de diseño tecnológico para avanzar y mejorar la iluminación circadiana. La propuesta de una retícula de entendimiento y desarrollo de las investigaciones en domótica y finalmente. La discusión de los elementos estudiados en este subcapítulo.

Historia de la domótica

La domótica es la rama del conocimiento encargada de integrar los sistemas capaces de automatizar el equipamiento de un espacio arquitectónico, se basa en cuatro fundamentos generales que son: la seguridad, el confort, el aprovechamiento energético y el control. La palabra *domótica* procede de la unión de dos palabras,

domus que significa casa y *tica* que significa autónomo, es decir que se gobierna a sí mismo. La conjunción de los aspectos electrónicos para programar una tarea, ha sido a constante de cada una de las aplicaciones de la domótica en un espacio arquitectónico, de tal manera que se programa una tarea ante ciertas condiciones, se ejecuta la tarea y se informa al sistema del resultado de la tarea. Estos sistemas autónomos han evolucionado de manera importante gracias al uso de la inteligencia artificial, en donde el mismo sistema es capaz de aprender de manera independiente, las condiciones de acción y reacción de una o varias tareas realizadas de manera simultánea.

La *automatización*, palabra que viene de autómatas, fue usada inicialmente por la empresa General Motors en el año 1947 y de aquí, surgieron diferentes aplicaciones, tal es el caso de la domótica que evolucionó paulatinamente. Por los años 1960 gracias al desarrollo del microprocesador, se lograron diferentes avances en la técnica y una mayor difusión (Harper, 2003). Posteriormente, las tecnologías inalámbricas e inteligencia artificial fueron adoptadas. Para el año 2000 y subsiguientemente, se diseñaron diferentes protocolos de comunicación que permitieron el desarrollo abierto de las aplicaciones, principalmente para edificios de gran envergadura, por lo que, quedó abierto el tema de las aplicaciones para el hogar. Fue a partir del año 2005 cuando empezaron a aparecer una serie de pequeñas empresas dedicadas a este sector, mismas que atendieron principalmente a los clientes con mayor poder de consumo, debido a los altos costos que hasta el día de hoy representa la implementación de la Domótica en la vivienda.

Acerca de la domótica, mucho se ha avanzado en los últimos años, principalmente en torno a la simplificación de los recursos electrónicos e informáticos que requiere para su implementación. Entre los más importantes destacan las tecnologías de procesamiento de datos basadas en microprocesadores de multinúcleos, así como enormes centros para el almacenaje de información en dispositivos minúsculos y con precios relativamente bajos como

las tarjetas SD.³⁶ Con ello, la industria en el ramo electrónico, está solucionando los problemas de comunicación y control, mientras que la industria de la informática, ha desarrollado grandes plataformas especializadas para gestionar los recursos requeridos por la domótica.

Sobre la comunicación, se trabaja para tener todos los protocolos domóticos bajo el control de un mismo sistema estandarizado. Aunque la mayoría de los fabricantes intentan que sus productos sobresalgan en este intento de dominar el mercado, se puede ver un interés paralelo para incorporar todas las formas de conectividad a un mismo sistema, las más populares son: Bluetooth,³⁷ WiFi,³⁸ ZigBee,³⁹ oZ-Wave⁴⁰ y si se quisiera a hacer de manera particular, el costo del hardware aumentaría enormemente por conceptos de desarrollo especial. Actualmente se están haciendo investigaciones con un sistema capaz de converger en la compatibilidad con los protocolos de comunicación referidos, mediante una versión unificada, sin embargo, seguirá siendo un sistema de conectividad de mediano y alto costo.⁴¹

Se puede ver que los futuros trabajos en domótica estarán en directa relación con la integración de la robótica avanzada, la realidad aumentada y la inteligencia artificial.⁴² Se infiere que, la domótica investiga para atender diversos aspectos de

³⁶ Secure Digital (SD) es un formato de tarjeta de memoria para dispositivos portátiles

³⁷ Bluetooth: Protocolo de comunicación inalámbrico unidireccional de corto alcance, solo puede enlazar con un equipo a la vez.

³⁸ Wi-Fi: Protocolo de comunicación inalámbrico bidireccional de corto alcance que puede comunicarse con diferentes dispositivos a la vez

³⁹ Zig- Bee: Protocolo de comunicación inalámbrico bidireccional de corto alcance, especialmente diseñado para aplicaciones de domótica.

⁴⁰ oZ-Wave: Protocolo de comunicación alámbrico e inalámbrico bidireccional de corto alcance.

⁴¹ Zig- Bee: Empresa dedicada al desarrollo de aplicaciones de comunicación para la domótica.

⁴² Zig- Bee: Empresa dedicada al desarrollo de aplicaciones de comunicación para la domótica.

⁴² En el 2018 en la 15th international conference on Smart homes and health telematics se habló de las futuras investigaciones en materia de domótica presentando los siguientes proyectos. Envejecimiento de las ciudades inteligentes, la medicina y sus recursos dirigidos al envejecimiento del ser humano y su bienestar, entornos Inteligentes, casas inteligentes, espacios urbanos inteligentes y nuevos conceptos de asistencia del espacio habitable en las ciudades inteligentes, salud y educación terapéutica mediante recursos multimedia, interfaz hombre-máquina, inteligencia ambiental, modelado de información física y conceptual en entornos inteligentes, tecnologías cognitivas para

los ambientes artificiaados, la temperatura, la humedad, la acústica, la iluminación de entre muchos otros. En esta línea se enmarca la presente investigación.

Como en otros aspectos del desarrollo tecnológico, se aprecia una correlación entre implementación de tecnologías domóticas y países con mayor poder adquisitivo (figura 6). Así, el Norte de América y Europa, son las regiones con mayor presencia de aplicaciones domóticas (Sophos, 2017). Países como México, Brasil y Chile, se encuentra enfocada principalmente al ahorro energético en edificios de gran envergadura, dejando de lado el confort y la seguridad (IMEI),⁴³ (Ramírez, 2017), debido a sus altos costos de adquisición e instalación. En lo referente a México, poco se está haciendo al respecto, pero Sophos considera que la domótica pronto será adoptada en la vida diaria de los ciudadanos (Sophos, 2017).

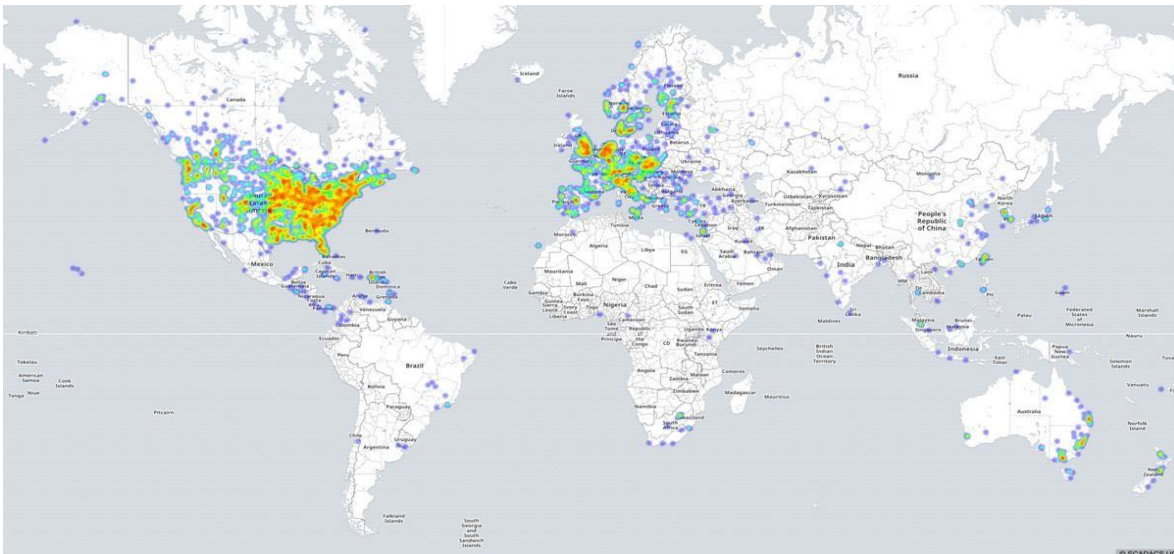


Figura 6: El mapa muestra los países con mayor uso de la domótica del mundo (Sophos, 2017).

todas las etapas de la vida y el fomento de las capacidades funcionales individuales, factores humanos, ética y usabilidad para las personas con deterioro cognitivo, incluyendo las personas mayores y las personas con discapacidad de todas las edades, tele-asistencia y tele-rehabilitación, robótica personal y sillas de ruedas inteligentes, conciencia del contexto, computación autónoma, sensores portátiles, sistemas de monitorización de salud en el hogar, privacidad problemas de seguridad, evaluación de tecnología y análisis de impacto.

⁴³ En la conferencia, Tendencias tecnológicas en controles de iluminación, Ramírez A. (mayo 2017), comentó las características actuales de la intervención domótica en México, de acuerdo con la asociación mexicana del edificio inteligente y sustentable A.C. (IMEI), México.

Domótica aplicaciones en la Arquitectura

Muchas aplicaciones domóticas están siendo estudiadas en diferentes centros de investigación en el mundo, destacando algunos de ellos⁴⁴ que trabajan en la investigación, el diseño, el desarrollo, la implementación y la evaluación de entornos inteligentes privados y urbanos, las tecnologías de asistencia, el coaching y los sistemas de telemática. Se trata de académicos e industriales que trabajan junto con los usuarios finales para explorar cómo utilizar las tecnologías para fomentar la vida independiente y ofrecer una mejor calidad de vida.

Hoy en día, se puede instalar en casa multitud de elementos controlables desde terminales móviles o a través de Internet, como por ejemplo bombillas, interruptores, televisores, equipos de sonido, persianas, cerraduras, grandes y pequeños electrodomésticos, sistemas de climatización, de riego, de vigilancia remota, etc. Además, se pueden programar diferentes acciones fijas que sucedan según un horario concreto o incluso hacer que reaccionen de un determinado modo a un estímulo o señal externa gracias a los sistemas condicionales, pero, sobre todo, el concepto Smart Home, no queda en un simple encendido y/o apagado (ON / OFF); desde la óptica de la domótica, se trata de gestionar cada recurso para el mejor aprovechamiento de su rendimiento, en función de su usuario directo.

El interiorismo, cuenta con una suma importante de dispositivos tecnológicos para la manipulación de los ambientes en el espacio habitado; tales como iluminación, temperatura, humedad, ventilación, acústica, etc. Éstos son sólo algunos ejemplos de aplicación para mejorar el confort. Sin embargo, en este análisis de opciones tecnológicas para los espacios construidos, se ha encontrado un intersticio en el

⁴⁴ Referido al año 2016 y principios del 2017: Christian Roux, Institut Mines Télécom, France, Carl K. Chang, Iowa State University, USA, Sumi Helal, University of Florida, USA, Z. Zenn Bien, Advanced Institute of Science and Technology, Korea, Ismail Khalil, Johannes Kepler University, Austria, Chris Nugent, University of Ulster, United Kingdom, William Cheng-Chung Chu, Tunghai University, Taiwan OB, Mounir Mokhtari, Institut Mines Télécom, Singapore, Daqing Zhang, Institut Mines Télécom, SudParis, France, Hisato Kobayashi, Hosei University, Japan, Bessam Abdulrazak, Université de Sherbrooke, Canada, Yeunsook Lee, Yonsei University, Korea, Tatsuya Yamazaki, NICT, Japan, Cristiano Paggetti, I+ S.r.l, Italy, Nick Hine, University of Dundee, United Kingdom.

conocimiento y las tecnologías de la iluminación artificial provocado por las tendencias del aprovechamiento energético.

Hablando de un recurso altamente relacionado con la domótica, se encontró al concepto *internet de las cosas*, que en un principio podría confundirse con las aplicaciones asignadas a la domótica, pero que en sí misma, cuenta con el enfoque de una serie de aplicaciones asignadas a casi cualquier objeto que se pueda automatizar; está dedicado al control de las cosas cotidianas del hogar como un cepillo de dientes, un colchón de cama, una mesa, los zapatos, etc. Pero este recurso pierde su autonomía al ser dependiente de la WWW.⁴⁵ Por medio de sensores y actuadores logra cumplir sus cuatro principales fundamentos; monitoreo, control, optimización y automatización. Tales aspectos se encuentran correlacionados con las aplicaciones de Smart home y pueden ser compartidos en un principio, pero el diseñador debe ser capaz de evaluar las estrategias propias del proyecto considerando sus cuatro debilidades básicas, 1. Vulnerabilidad ante hackeos en la web, 2. Pérdida de la privacidad de las acciones realizadas, al ser un recurso de plataforma abierta.⁴⁶ 3. Fallas de autonomía e interconexión al ser dependientes de la web 4. Utilización de baterías de alto consumo, ya que su conexión es continua y regularmente son objetos portátiles,

Una de las líneas de investigación aquí abordada, es la domótica iluminativa. Es la parte tecnológica que estudia el control, el aprovechamiento energético, el confort y la seguridad, desde la utilización de los actuadores lumínicos existentes. En especial, controlar una tira de LED's RGB no representa un reto extraordinario; gran parte de la historia de la domótica se encuentra llena de aplicaciones de control de ambientes iluminados haciendo uso de las opciones de color e intensidad que permite la luz generada por LED's RGB, tampoco es la única manera de generar la gama de colores aproximados a la radiación natural; pero se infiere que, después

⁴⁵ En informática se conoce a la WWW como World Wide Web, que es un sistema de documentos enlazados entre sí y se puede acceder a ellos por medio de internet.

⁴⁶ Las plataformas abiertas son sistemas informáticos de uso gratuito y de aplicación comunitaria, esto representa la liberación de los derechos de uso de este tipo de recursos aceptando compartir la información que en ello se produzca de manera totalmente libre.

de la revisión del estado del arte de la domótica, esta pudiera resolver el problema de manera directa, otorgando una serie de parámetros que controlen la fuente de luz y esta a su vez, actúe a diferentes estímulos preestablecidos.

Domótica como recurso circadiano

La domótica, ha permitido la prospección y control de los elementos lumínicos en diversos arreglos arquitectónicos, por lo que se consideró en el presente trabajo, como una alternativa viable de interrelación con el ambiente lumínico y las actividades humanas. En el campo de la investigación neurológica, se han hecho múltiples estudios con proyección de ciertas frecuencias lumínicas específicas, y se han adoptado con mucho éxito en el campo terapéutico. Así mismo, existen laboratorios de investigación en iluminación artificial que han propuesto el uso de la tecnología LED para robustecer dicha terapia lumínica; se han propuesto sistemas de iluminación que emiten cambios en el CCT y aplicaciones virtuales para el análisis del entorno.

Es importante agregar la variable geográfica que define la latitud y longitud en convergencia con las características geo-ambientales del lugar, ya que de igual manera crean particularidades únicas; así mismo y en el área de la bioneurología, hay muchos estudios de la implementación de terapias lumínicas, basadas en domótica para padecimientos patológicos.

En los estudios de la domótica se encuentra la tecnología iluminativa que puede acercarse de manera artificial las características propias de la luz natural. Diversos laboratorios especializados buscan soluciones relacionadas a la provisión de luz artificial con características para la estimulación del sistema circadiano a través de la domótica, para una región en específico y su población local, como en el caso de (Georgios, 2017), (Peek, 2017), (O'Reilly, 2017).

En la revisión de la literatura se puede ver que, existen sistemas de iluminación circadiana comercial en diferentes partes del mundo, así mismo, hay laboratorios especializados en la construcción de prototipos para experimentación.

Los estudios en todas las áreas de la investigación lumínico ambiental circadiana están fechados en la última década y en este contexto se ubica la presente investigación.

Abordando el tema que atañe al presente trabajo desde la integración del aspecto domótico y poniéndolo en relación directa con lo circadiano iluminativo, es importante señalar al Lighting Research Center – Rensselaer Polytechnic Institute, en donde se llevan a cabo diferentes estudios referentes a la aplicación de la iluminación artificial y sus diferentes posibilidades circadianas. Algunos proyectos directamente enfocados al estudio del hábitat y sus posibilidades lumínicas, hacen uso de la automatización para controlar los cambios en intensidad y color, otros se enfocan a la terapia lumínica y otros más a la salud ocupacional.

Retícula para el entendimiento y desarrollo de las investigaciones en domótica

Con este criterio, se presenta la retícula para el entendimiento y desarrollo de las investigaciones en domótica iluminativa como se muestra en la figura 7. la cual consiste en dar guía de los aspectos de estudio requeridos y que se presentan con un orden cognitivo con base en la domótica iluminativa circadiana, para su aplicación en la Red.

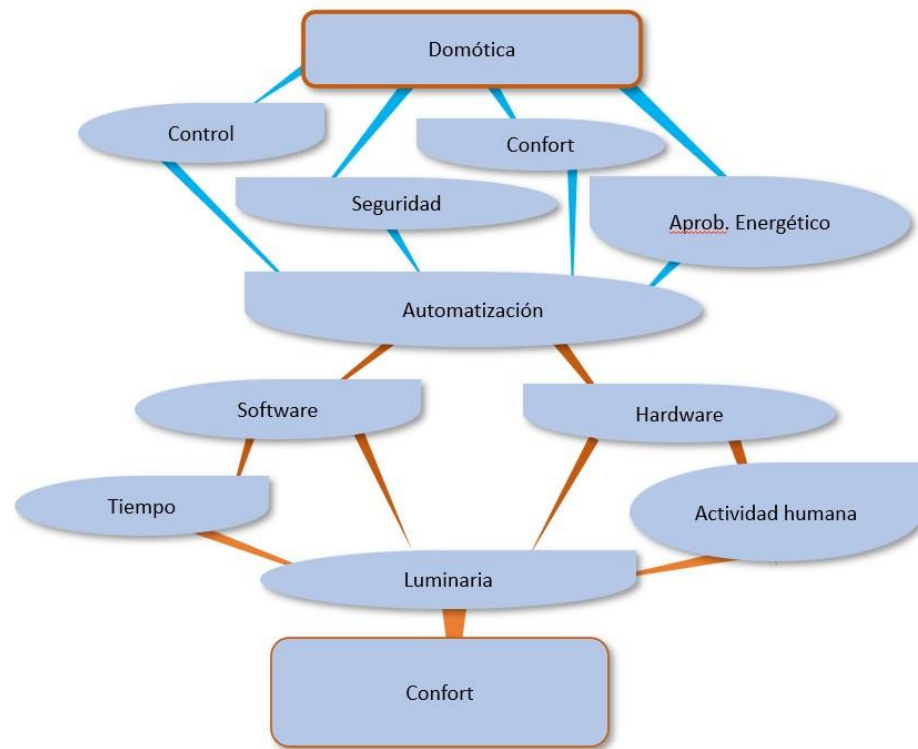


Figura 7: Retícula para el entendimiento y desarrollo de las investigaciones en domótica iluminativa

(Elaboración propia, 2020).

1. Discusión

Como se pudo ver en presente apartado, son muchas las líneas de investigación en las que se está trabajando actualmente en materia de domótica. Los avances, cada vez son mayores y las aportaciones en el conocimiento, infieren la aplicación de tecnologías novedosas y cada vez más especializadas. Lamentablemente, aún faltan muchos aspectos de la domótica que no han podido ser resueltos. La posibilidad de llegar a un dominio tecnológico que pueda ser aplicado a la mayor parte de la población en el mundo, sigue siendo un reto latente y campo de la investigación futura.

Para los fines del presente trabajo, se puede ver que aún faltan grandes metas que alcanzar, ya que no se han encontrado investigaciones en las que se ponga el aspecto de la domótica en relación directa con el aspecto de la iluminación natural y el aspecto del ritmo circadiano.

Es el momento en el que el diseñador puede entender el aspecto de la domótica desde una perspectiva lumínica que posibilita la emulación de la MLD, sin embargo, para llevarlo a cabo, es necesario poner los tres aspectos en correlación, en perspectiva directa de la vida diaria del ser humano, es decir, pensando desde el Diseño, al habitante en cada una de sus múltiples actividades diarias.

En el presente trabajo, la domótica permitió el control de los elementos del entorno, en este caso la iluminación, para lo cual, se desarrolló un software y un hardware que tuvieron como principales variables a la MLD y una actividad humana. Esto dio como resultado, un *dispositivo de iluminación circadiana*© y por ende, un mejor nivel de confort.

2. 4 DISEÑO DE UNA RED HETEROGÉNEA DE INVESTIGACIÓN EN ILUMINACIÓN CIRCADIANA DOMOTIZADA©

Siguiendo la estructura anteriormente presentada (2.1, 2.2 y 2.3), el lector, ha podido conocer los principales elementos que componen cada aspecto de esta investigación. Es aquí, donde haciendo acopio del conocimiento generado por la investigación actual de la iluminación, del circadianismo y de la domótica se pasa al diseño de una red heterogénea de investigación integrada por estos tres aspectos.

Al analizar como aportación cada punto anterior, se encuentra la construcción de las retículas de estudio, en donde se invita a los investigadores en el tema, seguir paso a paso los elementos que lo conforman. Como se ha dicho anteriormente, se ha considerado la configuración de cada retícula para la

comprensión y análisis de las investigaciones. Pero, al revisar la discusión final de cada aspecto, se puede ver en resumen lo siguiente. Primero, en cada área del conocimiento existe un gran número de investigadores estudiando diferentes partes de su dominio, así sea en la iluminación, la neurobiología de lo circadiano o bien, en la domótica en general; estas investigaciones están generando innovaciones y mejoras continuas. Segundo, se puede apreciar que, pese a las muchas aportaciones en el conocimiento de cada una de estas áreas del conocimiento e innovación, aún existen muchos intersticios que deben ser investigados y desarrollados. Finalmente tercero, se ha diagnosticado una falta de interacción entre las tres áreas del conocimiento, aunque si bien hay estudios que relacionan dos o tres de estas especialidades, no se ha encontrado ningún rasgo en la integración reticular de ellas ni de categorías analíticas vinculantes que puedan ser integrados como elementos de una red heterogénea de investigación en iluminación circadiana domotizada©.

Bajo los fines propios de esta investigación, se ha comprendido que no solo se deben considerar las áreas del conocimiento como aspectos separados; deben ser entendidos y valorados como dimensiones indisolubles, en la construcción de una red de investigación en iluminación circadiana domotizada.

Su integración por medio del diseño las pone en juego, siendo cada una de las dimensiones, efectos de interacción y correlación reticular, esto, a su vez, formará la visión pos-sistémica de una red heterogénea.

Como se ha enmarcado en la hipótesis principal del presente trabajo, “Si es posible diseñar una red heterogénea de investigación en iluminación circadiana domotizada©, entonces, se podrá poner en juego los aspectos que le componen para mostrar la escala mínima de la red y aplicarla en una actividad humana como caso de estudio”. Es en este preciso momento, en donde toma forma la esencia misma de esta investigación al diseñar esta figura de red para poner en juego lo que ahora se denomina como “dimensiones”, mostrando una escala mínima de la red, y aplicando sus elementos en una actividad humana como se podrá ver en el capítulo

5.

Es la integración de diversos conocimientos, como se ve ahora, que, al ser heterogéneos, permiten una multiplicidad de investigaciones aplicadas. Es la posibilidad de entender la red desde el ámbito del diseño, para conducir la investigación hacia una serie de diversas experimentaciones aplicadas que pueden ser abordadas en múltiples contextos, pero que, en el beneficio de poner en marcha esta nueva figura conceptual, metodológica y epistémica (figura 8), se presentará un caso de estudio en específico.

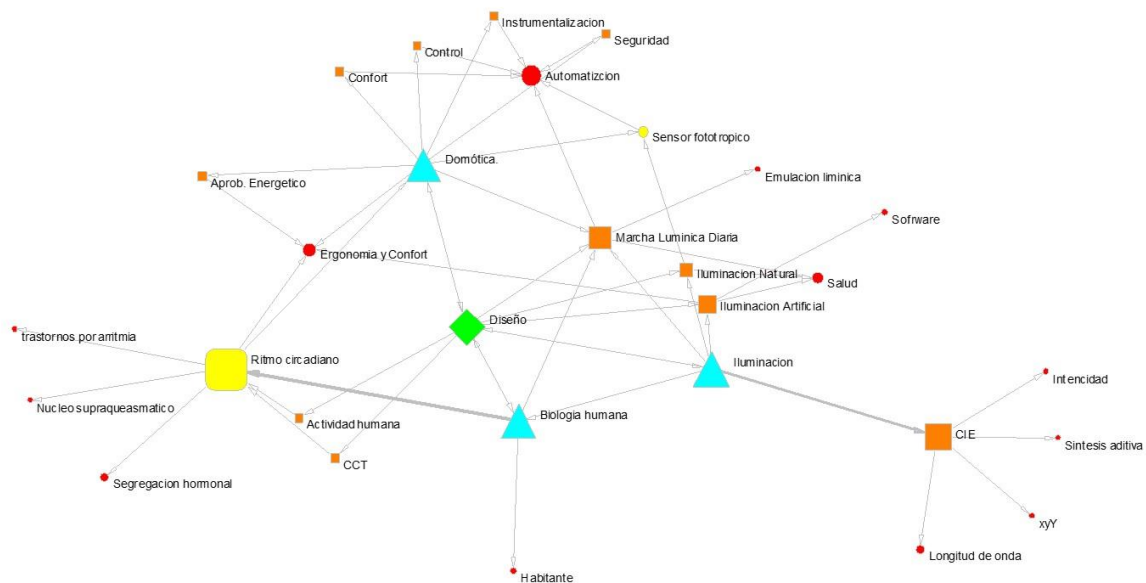


Figura 8: Red heterogénea de investigación en *iluminación circadiana domotizada*©
(Elaboración Rosete y Arellano 2020).

En las teorías clásicas de la innovación se asume que existe un proceso lineal de elaboración de conocimientos que inicia en la ciencia básica, continúa con la investigación aplicada y concluye con la puesta en el mercado de novedosos objetos y servicios.⁴⁷ Sin embargo, en el presente trabajo, las divisiones anteriores no ocurren; en cambio, se comprende la importancia de poner en marcha cada aspecto inherente a la propuesta de elaborar una retícula de investigaciones heterogéneas. La idea es que, conjuntando los elementos teóricos, metodológicos y prácticos de la investigación, funcionen como un canal de retroalimentación de los conceptos y aspectos materiales que componen la red en cada una de sus dimensiones. De esta manera, se puede ver el proceso de investigación cómo una red heterogénea de investigaciones interdependientes como lo construye Arellano, generando la propuesta final y dando soporte cuantitativo y cualitativo a la hipótesis formulada (Arellano, 2015).

En la presente investigación, se diseñó una batería de indagaciones de manera interdependiente y secuencial que se podrá ver a lo largo de los siguientes tres capítulos. Han sido formulados con base a su contenido específico y a la par, analizan de forma reticular las distintas dimensiones de la Red. De esta manera, en el capítulo 3, se describen las fases de la investigación referentes principalmente al estudio de la iluminación en relación con las otras dimensiones. Mientras que el capítulo 4, se ha dedicado principalmente a mostrar la fase de la investigación referente a la dimensión de la domótica, puesta en relación con las otras dos dimensiones. Finalmente, el capítulo 5, es la muestra experimental de la dimensión biología humana, que se pone en relación indisoluble de las dos dimensiones anteriores; en este sentido, es preciso dar lectura a estos capítulos concibiendo sus relaciones metodológicas de investigación, ya que cada etapa correlacionada,

⁴⁷ Al respecto, Arellano ha escrito que: “La popularidad de la distinción entre creación y aplicación de conocimientos radica en la fuerza cultural de Occidente que ha impuesto su racionalidad a casi todo el planeta. En efecto, esta distinción fue elaborada por los fundadores del pensamiento occidental como una separación entre la teoría y la técnica; particularmente, Aristóteles estableció la diferencia entre episteme haciendo alusión a la actitud teórica y contemplativa del mundo y la techne para distinguir la actitud humana que produce materialmente el mundo” (Arellano, 1999).

entregó información indispensable a la siguiente y fue así, como se logró poner en marcha a cada aspecto de la red de investigación.

Para poner en marcha la dimensión naturalística de iluminación expresada en el capítulo 3, se realizó la caracterización lumínica por técnicas estándar, poniendo a prueba diferentes instrumentos especializados y siguiendo los estándares de la normativa vigente, posteriormente, se diseñó, se integró y se puso en marcha un conjunto de sensores automatizados de autoría propia; en el interés de obtener una indagación del fenómeno.

Poniendo en relación las dimensiones de iluminación y domótica, se observaron los métodos e instrumentos usados por algunos laboratorios especializados en el estudio de la iluminación natural, y en la crítica de los límites que éstos representaban, se llegó a la conclusión de que se podría proponer otra forma de observar, caracterizar y analizar el fenómeno lumínico natural, por tanto, se indagó, ensayó con múltiples recursos tecnológicos y finalmente, se diseñó un instrumento automatizado llamado aquí *Sensor Fototrópico*®, que dio como resultado, una caracterización diferente, bajo los intereses propios del presente trabajo.

De igual manera en el capítulo 4, se puso a la dimensión artefactual de la domótica como centro de la indagación y en relación con la dimensión de iluminación. En uso de este nuevo instrumento, se realizó el análisis y ajuste de la información, se comparó en función de otro observatorio y con la información obtenida se procedió a la siguiente etapa de la investigación. El desarrollo de un *dispositivo de iluminación circadiana*®, controlado por un algoritmo (software) capaz de manipular las variables implícitas, para ello se abrieron cinco etapas de construcción. Primera, se diseñó un modelo matemático basado en los componentes ambientales detectados. Segunda, se indagó, se diseñó, se puso a prueba, se analizó e integró el hardware capaz de responder ante el recurso lumínico. Tercera, en paralelo, se diseñó el software inicial de control. Cuarta, se llevó a cabo la validación y comparación con los resultados de la caracterización de la MLD, y el ajuste del algoritmo de manera cíclica para obtener la aproximación

esperada. Finalmente quinta, la validación del funcionamiento deseado, mediante su análisis en un laboratorio especializado en iluminación.

En esta nueva etapa de la investigación descrita en el capítulo 5, se decidió poner al centro la dimensión humanística circadiana en relación indisoluble con las dimensiones de iluminación y domótica. Toda vez que se contó con un *dispositivo de iluminación circadiana*© validado, la siguiente etapa de la indagación, consistió en poner en marcha dicho recurso en un espacio arquitectónico, para comprobar su funcionamiento en torno a una tarea humana. Finalmente, en el interés de obtener un acercamiento a los resultados de la indagación, se diseñaron, aplicaron y analizaron pruebas a una población humana inscrita en un espacio académico escolar tomado como caso de estudio. Con lo cual, se hizo un corte a la indagación para este trabajo doctoral.

En el interés de mostrar esquemáticamente la trayectoria que se siguió, se muestra a continuación el gráfico (figura 9) que describe las etapas de la indagación y su correlación con las dimensiones de la red; cabe reiterar que, cada una de las etapas de investigación, dan pie a la siguiente, suministrando los elementos necesarios para su secuenciamiento y fundamentación metódica en razón de la red heterogénea de investigación.



Figura 9: Secuencia usada en la puesta en marcha de la red heterogénea de investigación (Elaboración propia, 2020).

CAPÍTULO 3



La primera fase de la indagación para la caracterización de la *marcha lumínica diaria*® fue la puesta en relación de la primera dimensión de la red de investigación en *iluminación circadiana domotizada*®, se trató de la iluminación pasando por el rigor investigativo que establece la CIE y las normas vigentes en México (NOM), llegando a la observación automatizada del fenómeno.

A continuación, se presenta la primera dimensión de la red heterogénea de investigación que recaba la retícula de estudio para el entendimiento y desarrollo de las investigaciones en iluminación natural y artificial. empleada durante la caracterización lumínica en la presente etapa investigativa.

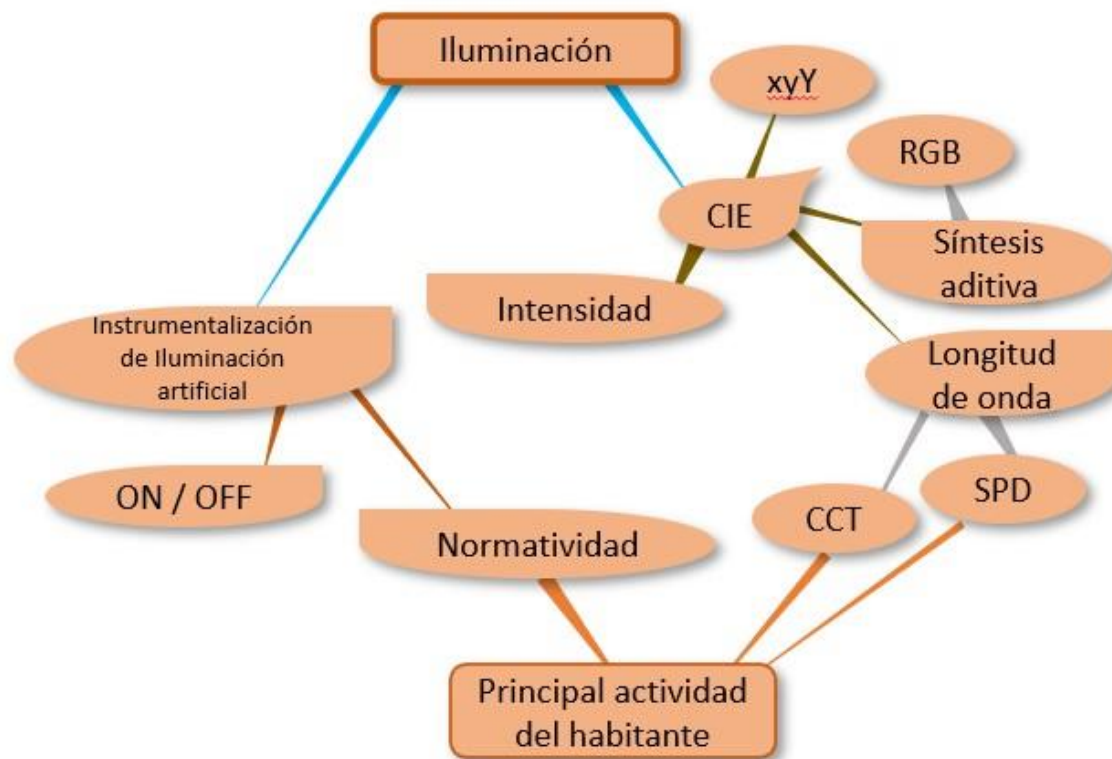


Figura 10: Rural de estudio para la implementación del monitoreo lumínico diurno (Elaboración propia, 2020).

Para investigar las posibilidades y limitaciones de la iluminación natural de un espacio construido, se procedió a caracterizar la iluminación en un espacio

similar al que se usó para la puesta en escena de un dispositivo de *iluminación circadiana domotizada*® en un ámbito de actividad humana específica.⁴⁸

Cuando se habla de iluminación natural, el diseñador, suele referirse a un sinnúmero de condicionantes fijadas en los espacios iluminados con la radiación solar, siendo éstos catalogados en dos categorías, interiores y exteriores; sin embargo, la mayor parte de las actividades humanas urbanas, se llevan a cabo bajo una cubierta (techo); lo cual significa que estos espacios dependen de la refracción de los objetos cercanos para obtener las condiciones mínimas de iluminación y permitir su de habitabilidad.

En el presente trabajo se presentó el estudio exploratorio de iluminación en dos propiedades específicas: la intensidad luminosa y el color correlacionado de temperatura, con base en los criterios de algunas investigaciones al paralelo y la normativa vigente en México.⁴⁹ Posteriormente, se presentó el mapeo de los resultados. Todo esto, basado en la ruta de análisis y estudio expresado en el esquema de la figura 11, basado en la red heterogénea de investigación del presente trabajo.

⁴⁸ En el capítulo 3.5 se presentan los resultados de la puesta en escena de un dispositivo de iluminación circadiana domotizada® en un ámbito escolar.

⁴⁹ NOM-25-STPS-2008, Res SRT N° 84/12, NOM-030-ENER-2012, NOM-030-ENER-2012, UNE 12464.1, ISO/CIE-8995-1:2002, Norma ISO 8995, INTE 31-08-06-2000.

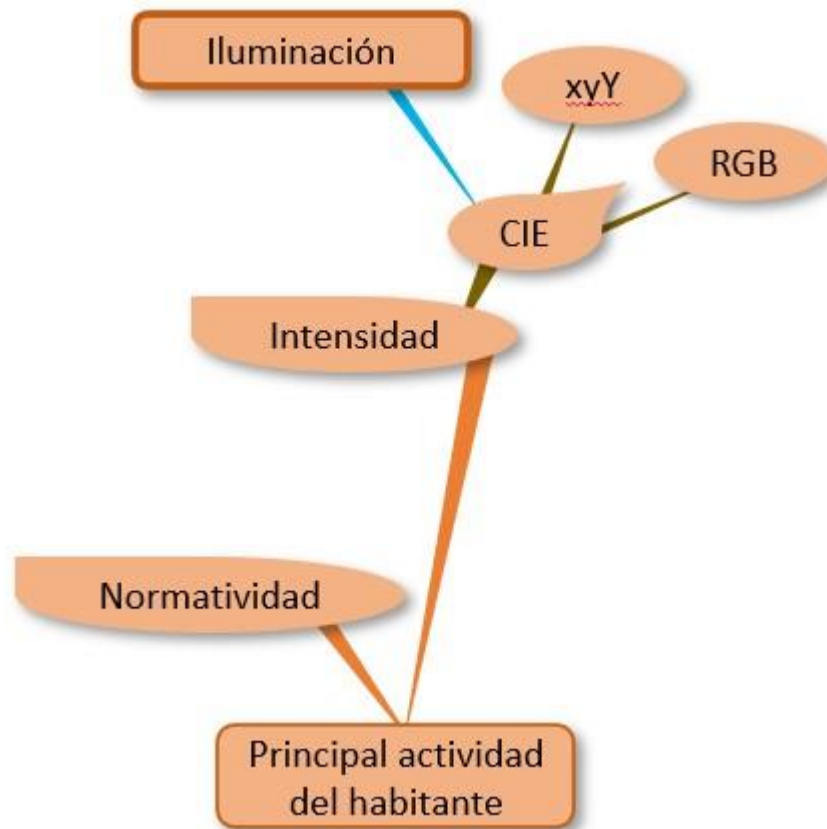


Figura 11: Ruta de análisis para la integración instrumental requerida en la toma de datos en sitio (Elaboración propia, 2020).

Con el objetivo de conocer las propiedades lumínicas de intensidad y color correlacionado de temperatura, se hizo uso de las reglas dictadas por la CIE y la normativa vigente en México para el estudio de las propiedades lumínicas en un espacio arquitectónico, en el punto geográfico ubicado en las coordenadas como 19.550231 latitud norte, -99.040717 longitud este. La presente etapa de la investigación se diseñó en las siguientes fases: revisión de la literatura existente, revisión de la normativa vigente, elección del sitio de estudio, instrumentación, validación de las mediciones y finalmente, discusión de los resultados.

En primer lugar, se llevó a cabo la revisión de la literatura existente, especialmente la documentación publicada en revistas científicas de iluminación y las aportaciones recientes de la CIE, de igual manera y con mayor jerarquía. Se

realizó una revisión documental de las publicaciones en el tema que han hecho los laboratorios dedicados al estudio de lo circadiano y que se han mencionado con anterioridad.⁵⁰

A continuación, se revisó la normativa vigente, encontrando que la CIE documenta una serie de particularidades propias de la iluminación y las formas estándares en que deben recopilarse, la manera de interpretarlos y los métodos de control. Así mismo, se revisaron las normas europeas (UNE) que señalan de los criterios generales de una luminaria y de su funcionamiento en el espacio arquitectónico. Sin embargo, fue pertinente asumir las normas NOM (Norma Oficial Mexicana), en sus apartados NOM-016, NOM-017, NOM-025, NOM-030 NOM-031 principalmente, así como los métodos para la evaluación de centros de trabajo ISO 6385:2004 (Vargas, 2006) y el reglamento de construcción para el Distrito Federal 2018 (Paot, 2018)

El laboratorio fue elegido después del análisis visual de las características del mismo, considerando una zona despejada de sombras u obstáculos visuales, una zona geográficamente plana con interacción propia de ciudad⁵¹. De aquí, se eligieron dos ámbitos de lectura lumínica, uno en interior y otro en exterior; ambos en el mismo punto geográfico.

En el ámbito interior, se eligió una habitación de 4 x 4 metros ubicada a 2.5 metros sobre la superficie nominal. Ubicada a 2238 metros sobre el nivel del mar,⁵² con una orientación arquitectónica al oeste y ubicación en el Estado de México.

El laboratorio se adaptó de la siguiente manera: en una habitación con ventana ubicada al noreste 35° en replica de un aula de clases de una escuela primaria cercana. El módulo de lectura con sensores, se colocó a una distancia de 100cm al frente de la ventana y a una altura de 85cm como recomendación

⁵⁰ Lighting Research Center, Center for circadian biology, National institute of general medical sciences, Frontiers in neuroscience, Journal of circadian rhythms, Science, Nature, entre otros.

⁵¹ cabe señalar que, en la presente investigación, éstas se consideran características propias para la elección de cualquier punto geográfico en el planeta.

⁵² Medido con un altímetro Sunroad modelo FR500, con una precisión de ± 0.05 mts de acuerdo a la ficha técnica del fabricante.

ergonómica en las estaciones de trabajo,⁵³ se mantuvo la ventana cerrada, por lo que se considera el filtro de un vidrio plano claro de 6mm estándar, en un área de 1.4m² que representa una transmisión solar de 88%.⁵⁴ Los muros de la habitación se pintaron de color blanco⁵⁵ y se evitó el uso de iluminación artificial en el lugar.

Posteriormente en el ámbito exterior, se tomó el mismo punto geográfico implementando los instrumentos de medición a una altura de 7 metros sobre el nivel de banqueta a 2242 metros sobre el nivel del mar, con el propósito de recortar la contaminación lumínica derivada de los objetos inferiores.

Para la Instrumentación del laboratorio y validación de las mediciones, se llevó a cabo un primer registro de datos, con el fotómetro modelo HYGZ20PC, con una sensibilidad de 0,01/lux con un rango de lectura de 0,01 a 100,000 lux, calibrado el 28 de noviembre de 2017.

Dichos instrumentos de medición requerían de otros equipos como interface para la recolección y almacenamiento de datos de manera automatizada. En el interés de complementar la lectura con instrumentalización especializada, se tomó la decisión de diseñar e integrar nuevos componentes de lectura; calibrando éstos, mediante el algoritmo de operación y tomando como patrón de lectura al fotómetro. De esta manera, se instrumentó con elementos de hardware y software libre como se describe a continuación.

Después de una búsqueda de los recursos tecnológicos para la medición de la iluminación, se eligió hacer uso del sensor TCS3414 para censar el color de iluminación que llega al espacio arquitectónico; este fue un sensor de tipo fotocelda que dio una respuesta colorimétrica en el código de color RGB, arrojando información en 16 bits, lo que permitió identificar cada señal recogida en el mapa

⁵³ Recomendación ergonómica para trabajo ligero en superficie. Fuente https://www.uv.es/sfpenlinia/cas/264_previncin_diseo_puestos_de_trabajo.html

⁵⁴ Ficha técnica en vidrio plano claro http://www.vitromart.net/documentos/folletos/Flotado%20claro%20y%20de%20color/Fichatecnica_flotados.pdf

⁵⁵ con pintura vinílica marca Comex modelo Realflex semi-brillante en superficie sin textura aparente

de coordenadas RGB. Esta señal se recogió con el microcontrolador Atmega 328p de una tarjeta Arduino uno, así mismo, se instrumentó el sensor de intensidad lumínica.

En el interés de complementar el dispositivo de lectura, se usó el sensor BH1750FVI con una resolución de 16 bits para medir la intensidad lumínica, este sensor contó con un rango 0.11 a 100,000 luxes.⁵⁶ Su funcionamiento fue muy simple y solo recogió la señal lumínica en un punto y la mandó a un procesador lógico encargado de convertir la señal a digital de 16 bits.

La recolección de los datos en forma automatizada, se envió a una tarjeta MSD. Este fue un proceso secundario a la integración de los sensores, interconectado directamente con el procesador lógico, la señal fue emitida y requirió ser traducida de manera lógica.

Después de la integrar los componentes electrónicos con capacidad de capturar la información lumínica, se diseñó un algoritmo para el control de los componentes, con la siguiente rutina para la obtención de datos y su almacenamiento.

⁵⁶ Se escogió este sensor por ser uno de los transductores más precisos en el mercado al momento del diseño del instrumento.

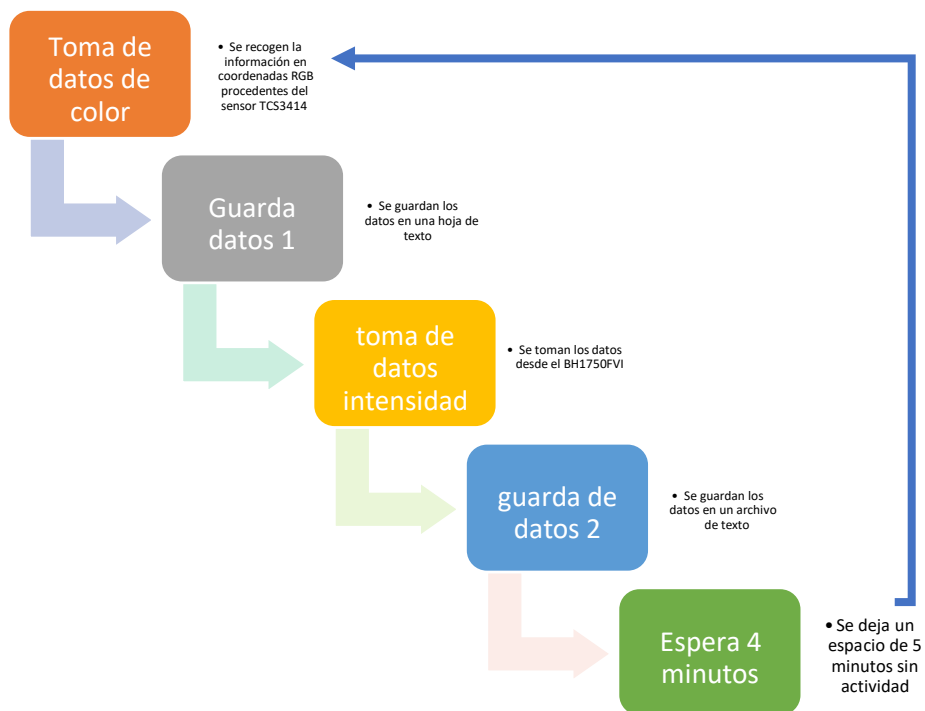


Figura 12: Rutina para la caracterización lumínica (Elaboración propia, 2020).

Finalmente, se realizó la integración tecnológica y se encapsuló en una caja de polipropileno como se muestra en la imagen (figura 13).

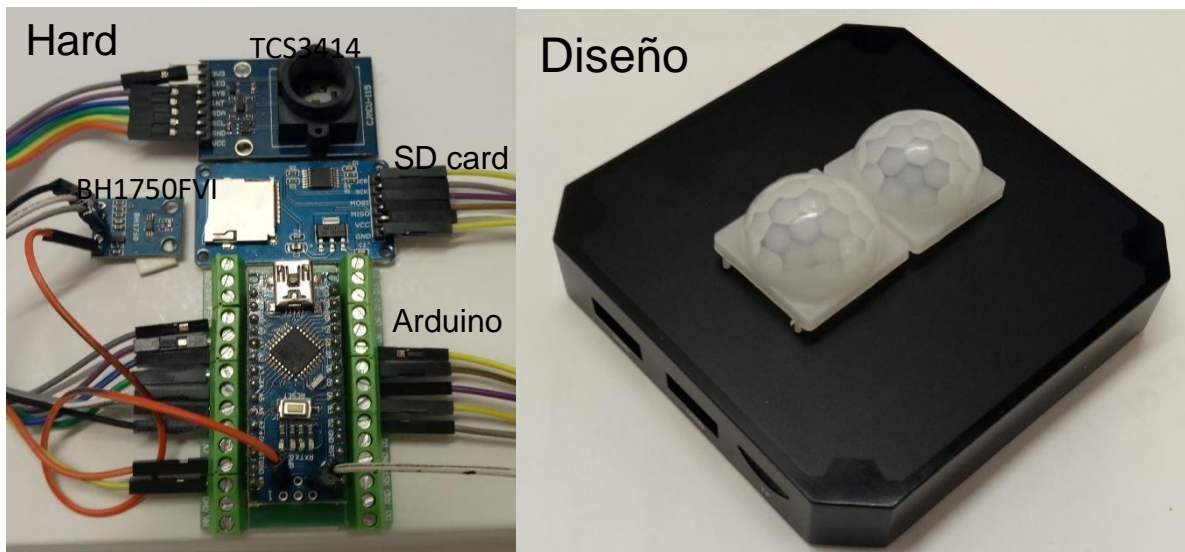


Figura 13; Hardware para lectura de intensidad y color de temperatura (Elaboración propia, 2020).

Posteriormente esta información se comparó con la escala de color correlacionado de temperatura expresada en grados Kelvin ($^{\circ}\text{K}$) como se muestra en la figura 3G, y se obtuvo el color muestra. En un segundo ciclo, esta información fue comparada de manera aleatoria con un espectrómetro.⁵⁷

Una vez que se calibró todo el instrumental, se pasó a realizar el muestreo. La puesta en marcha dentro del punto de estudio fue iniciado el día 17 de marzo de 2018 y se terminó el 17 de marzo de 2019.



Figura 14. Espectrómetro TES 135
(Elaboración propia, 2020).

Partiendo de los datos que se recopilaron en el laboratorio mencionado anteriormente, se trabajó la información para el análisis y reflexión de la retícula de estudio que se propuso en este trabajo y ayudó a complementar la asociación de elementos, toda vez que se entendió la importancia de ser puestos en correlación, de acuerdo con el grafico.

⁵⁷ Espectrómetro de la marca Niusiwen modelo TES135.

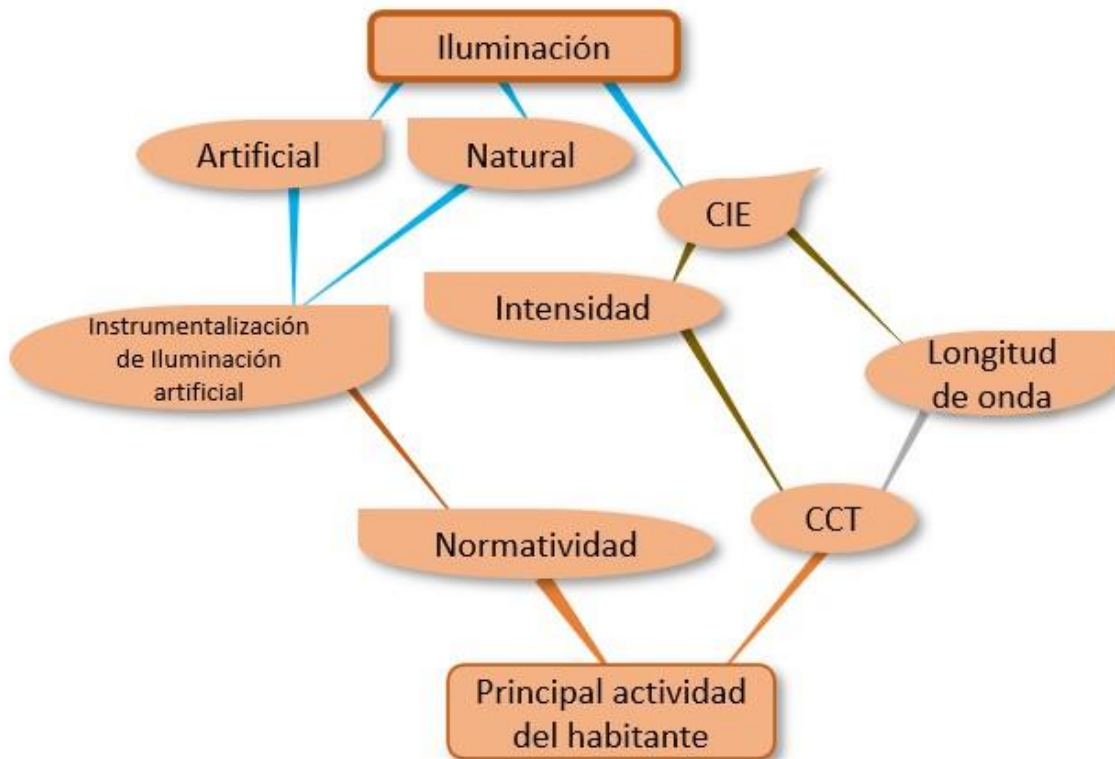


Figura 15: Interacción de nodos teóricos y técnicos para el levantamiento de datos lumínicos (Elaboración propia, 2020).

Después de la puesta en marcha de los sensores automatizados en sitio, y en el cumplimiento del protocolo antes mencionado, se obtuvo la siguiente información, misma que representó los cambios de CCT durante el día y parte de la noche. La lectura del fenómeno nocturno se omitió ya que, las pretensiones investigativas de este trabajo se limitaron al estudio del fenómeno diurno y su relación con la sincronización de los ritmos circadianos por medio de la luz natural. Mientras que los principales estimuladores nocturnos no son necesariamente lumínicos.

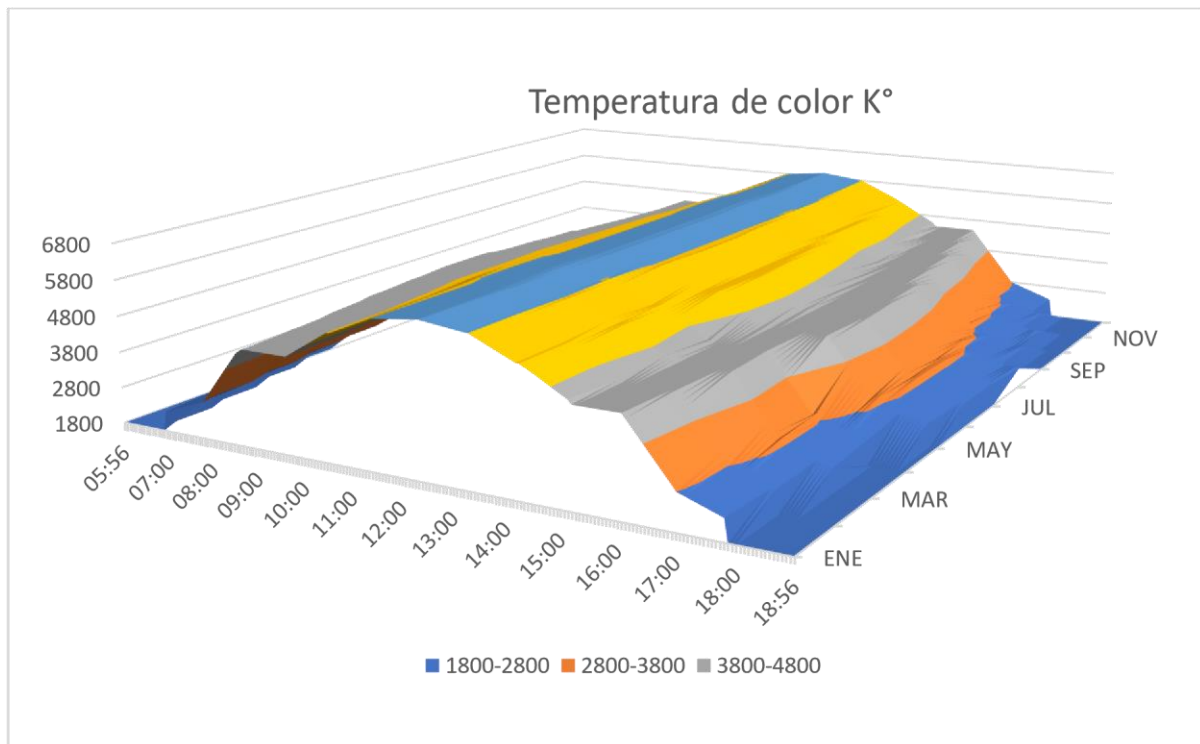


Figura 16: Caracterización colorimétrica en el sitio de estudio (Elaboración propia, 2020).

En este gráfico, se mostró la MLD colorimétrica CCT expresada en grados Kelvin registrada durante un año. En el eje X se lee la correspondencia de horario de día, mientras que en el eje Y se representan las transiciones a través del año.

Así mismo, se realizó el levantamiento de datos en materia de intensidad lumínica expresada en lux^{-6} de acuerdo al siguiente gráfico (figura 17). Los datos se compilaron por día, después se analizaron por máximos mensuales y se les aplicó una dispersión beta para su interpretación.

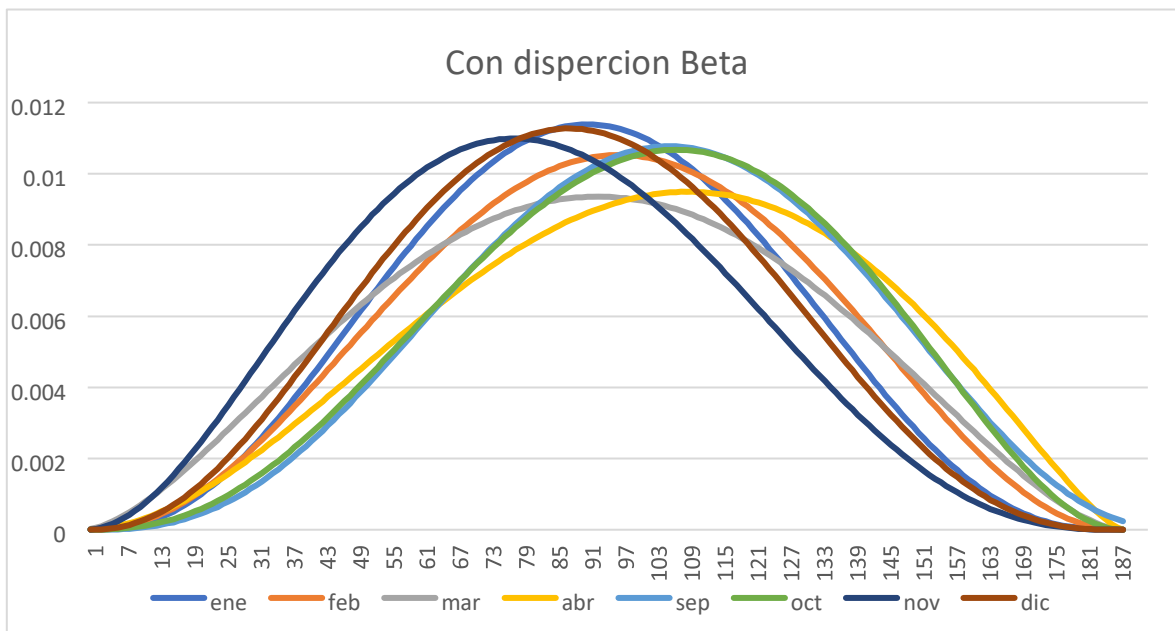


Figura 17: Representación gráfica de la lectura anualizada por medios estándar en un espacio arquitectónico (Elaboración propia, 2020).

De esta manera, quedó construida la MLD interiorizada, como la noción básica de un elemento de investigación para el levantamiento e interpretación de los datos lumínicos obtenidos a partir de los conceptos de iluminación artificial e iluminación natural, como lo expresaron las regulaciones emitidas por el CIE, la normatividad existente y la capacidad tecnológica de instrumentar y automatizar las lecturas. De este modo se obtuvo el rigor técnico requerido para esta práctica científica.

Toda vez que se cubrieron los protocolos técnicos para la caracterización lumínica y estuvo en marcha dicha instrumentalización, se pudo hacer una revisión empírica y factual de los datos en los primeros días del ensayo; con ello, surgieron muchas preguntas ¿Cómo afecta el paso de las nubes que crean sombras? ¿Cómo se entienden los cambios atmosféricos que afectan al flujo lumínico diurno? ¿Por qué se debe hacer un muestreo lumínico con un instrumento estático, si la fuente lumínica natural no es un punto fijo? ¿Qué factores técnicos y políticos intervienen para que un laboratorio especializado o un centro de monitoreo solar no considere el CCT como un dato a registrar? ¿Cómo las normas y reglamentos actuales

consideran ampliamente la intensidad lumínica y no contemplan la dinámica cromática durante el día?

A partir de estos cuestionamientos, entendidos en el contexto de un espacio construido, surgió el cambio de perspectiva para cada uno de los límites inherentes al uso de estos métodos, no solo con lo considerado implícitamente al aplicar la normativa, sino, también al entender las interacciones cuasi-humanas y cuasi-artefactuales; que en sí mismas, generan nuevos problemas; por ejemplo, que el usuario cubra las ventanas por alguna razón y complemente su actividad con iluminación artificial. Por tanto, el análisis de los aspectos de iluminación natural en un espacio arquitectónico se convirtió en una limitación, en el momento en que es integró al humano en sus actividades, y las adaptaciones en su entorno inmediato.

Esta etapa de la investigación tuvo el propósito de plantear el rigor metodológico expresado por la normativa, su aplicación y los límites técnicos que en si misma conlleva. El evidenciar dichos límites generó el interés por investigar alternativas bajo los criterios de la Red heterogénea de investigación en *iluminación circadiana domotizada*®. Para avanzar en este sentido, se procedió a la observación y caracterización de la iluminación natural para una localización global que se enfocara a la lectura del fenómeno lumínico en sus propiedades dinámicas, para entender con un mejor enfoque, las características lumínicas diarias.

Observación y caracterización de la luz natural para una localización global

Los criterios técnicos científicos para la caracterización lumínica natural y artificial están basados en una serie de protocolos establecidos por la CIE y las normas internacionales que le rigen. En este sentido, se ha comprobado que es más popular y reconocido el centro de investigación que se apega plenamente a estos lineamientos que, el que propone la búsqueda de nuevas formas para caracterizar el fenómeno lumínico.

Como se mostró anteriormente, el registro lumínico natural por técnicas estándar en espacios construidos tiene como principal limitación la iluminación de

los espacios en el momento que deja de recibirse luz natural diurna, y en el interés de dar respuesta a una serie de preguntas válidas que surgieron a partir de la observación empírica de los datos duros, se decidió diseñar una ruta innovadora para el estudio de la iluminación arquitectónica capaz de apearse a los aspectos circadianos y de domotizar tal propuesta de iluminación.

Por ese motivo se consideró necesario observar y caracterizar el fenómeno lumínico natural diario, situación que requirió: primero, diseñar un artefacto capaz de observar digitalmente tal fenómeno; segundo, clasificar y procesar informáticamente los datos lumínicos capturados y; tercero, caracterizar la serie de datos para su uso posterior en la emulación lumínica.

Siguiendo la secuencia anterior, se puede apreciar la incorporación de secciones en las que se va proyectando una red heterogénea de elementos, que van interactuando en función del estudio de la iluminación natural y de la domótica; se da origen al desarrollo de un instrumento especializado para la observación dinámica de la MLD como una alternativa a estas técnicas estándar. Se trata de considerar el comportamiento de la MLD y la forma de interacción con el hombre. Así mismo. Se pretende mostrar los logros y alcances con el diseño y desarrollo del *sensor fototrópico*® integrado a partir de los límites técnicos detectados en la normativa aplicada

EL *Sensor fototrópico*®

Esto se puede entender como un instrumento de observación solar que, por medios automatizados, busca y localiza al sol dando seguimiento óptico directamente y durante todo el proceso de recepción luminosa, garantizando que la lectura corresponda al punto máximo de referencia, tal y como sucede en la naturaleza informa del comportamiento lumínico diurno en específicas características de los medios estimuladores circadianos.

Inspirados en el mecanismo biológico del tropismo de ciertos organismos vegetales, quienes para aprovechar al máximo la iluminación solar para llevar a

cabo sus funciones fotosintéticas, tienen la capacidad de orientar sus estructuras para recibir la máxima luz, se diseñó un *sensor fototrópico*® automatizado.

El instrumento constó de un mecanismo automatizado que permitió su desplazamiento en todos los puntos posibles de observación al sol, esto fue, la articulación en dos ejes (X, Z), con una capacidad de giro de 180 grados dispuestos en $+90^\circ -90^\circ$ considerando el punto origen al centro de cada eje; la posibilidad de recorrido combinado de ambos ejes en esta posición, correspondió a 22° extra de las posibilidades que se pudieran requerir para las lecturas diurnas de los puntos geográficos más remotos.

En el futuro cercano, este sensor estará conectado a una red wifi que permitirá recibir la información en tiempo real en cualquier dispositivo informático, pudiéndose integrar una red de observación luminosa por regiones de interés público o privado.

Este instrumento puede instalarse en cualquier punto geográfico del planeta, sin importar las coordenadas de origen u orientación alguna; el diseño está dirigido a una instalación simple de montar y conectar. La única condicionante de instalación para dicho instrumento es, salvaguardar la claridad de observación evitando en la medida de lo posible la intervención de obstáculos que distorsionen la observación directa, como sombras, arboles, cableado expuesto, edificaciones altas etc.

El dispositivo de lectura lumínica, contó con sensores independientes para cada color e intensidad, por lo que de esta manera se garantizó una lectura de mayor precisión en uso de transductores de 32 bits, que se acoplaron a través de una interfase digital a un microprocesador de tipo Atm, este, a su vez, sincronizó el pulso de lectura en un intervalo de 5 segundos, creando una máquina de punto finito, la cual, dependió de un reloj de tiempo real asociado al mismo microcontrolador, estableciendo las posibilidades de los calendarios diurnos y nocturnos para cada día del año.

La información anterior se guardó temporalmente en un banco de datos y posteriormente se abrieron tres operaciones algorítmicas cíclicas de *machine*

learning en el siguiente orden de operación: aprendizaje por refuerzo, que analizó los datos almacenados, posteriormente se aplicó una operación algorítmica de tipo bayesiana que clasificó cada valor y; finalmente, se añadió un bloque operacional de tipo reducción de dimensión para el ajuste de la curva de resultado diario.



Figura 18: Rutina para la caracterización MLD (Elaboración propia, 2020).

Dicho instrumento se ha nombrado “Sensor Fototrópico®”⁵⁸. El fototropismo es una condición principalmente vegetal, la cual hace referencia al movimiento de las plantas en relación a su fuente lumínica dada, un buen ejemplo es el *Helianthus annuus* mejor conocido como girasol, que, en su función diurna, inclina su flor en dirección al sol y de ello deriva su propio nombre. En este caso, el instrumento que

⁵⁸ Sensor Fototrópico®. Concepto construido por Dr. Antonio Arellano Hernández (2018), refiriéndose al funcionamiento de la máquina diseñada durante la presente investigación, toda vez que usa como referencia el fototropismo que es la respuesta de algunas plantas al estímulo causado por una fuente de luz.

denominamos *sensor fototrópico*©, inclina su ventana de lectura de manera automatizada al sol durante la MLD.



Figura 19: Diseño del *sensor fototrópico*© en su versión 4.2 (Elaboración propia, 2020).

Las variables comentadas anteriormente, dieron soporte metodológico y técnico al registro de datos diurnos del dispositivo, sin embargo, es importante mencionar que este dispositivo tecnocientífico de nuestra investigación permite complementar la retícula de estudio en su apartado lumínico, robusteciendo el proceso cognitivo en un acercamiento mayor a las propiedades fenomenológicas naturales. La aplicación de esta técnica en función de la retícula, permite

complementar la red heterogénea de investigación y resuelve de manera relacional, una forma diferente de caracterizar el fenómeno lumínico natural.

Resultados de la observación fototrópica

El resultado de la observación con esta técnica de estudio, cambia el sentido ortodoxo de estudiar el paso lumínico natural durante el día, además de que el algoritmo que controla a este instrumento, ya contiene los criterios y estrategias estadísticas pertinentes basados en las lecturas máxima, para el registro de los datos.

Con este instrumento, se realizó el registro de datos lumínicos en la misma localización geográfica mencionada en el punto anterior por un periodo de un año, obteniendo resultados notoriamente diferentes a los de una lectura estática difusa dentro de un espacio arquitectónico.

Después de hacer el levantamiento de datos y prepararlos para su análisis, se consideró pertinente compararlos con los la información obtenida por un laboratorio especializado. Para ello, se usaron los datos pertenecientes al Instituto de Geofísica de la UNAM para el año 2017. Datos de solarimetría medidos en mega joule / metro cuadrado (Mj/m^2), esto expresa la cantidad de energía de llegada, procedente de la radiación solar en ciudad universitaria CDMX.

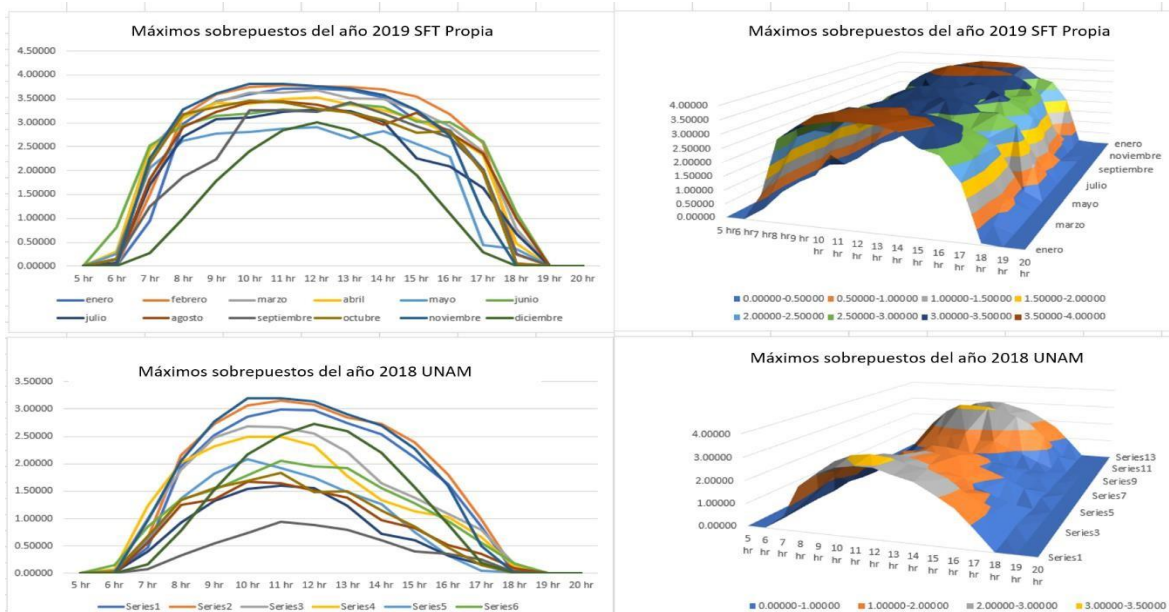
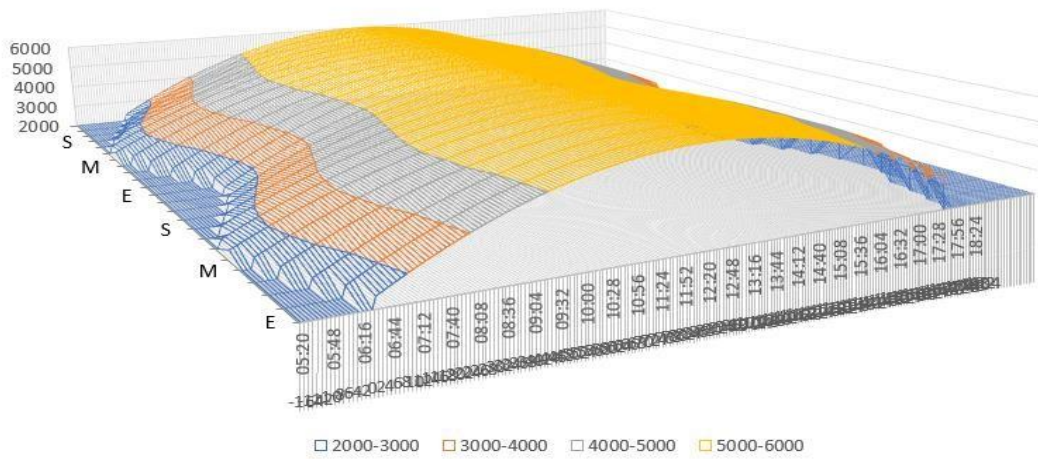


Figura 20: Comparativa de la caracterización lumínica diaria durante un año propia vs UNAM (Elaboración propia, 2020).

Las representaciones graficas sobrepuestas y tridimensionales, dieron un modelo estadístico del comportamiento energético que registró el sol en 2017 y permitieron ver la suma de marchas lumínicas en el año. En la búsqueda de información en la literatura, no se encontró información que defina las secuencias estables de la irradiancia solar, por lo que se infirió, puede ser un tema más de investigación a futuro en esta red heterogénea de investigación en iluminación circadiana domotizada.

Después de un análisis estadístico, el modelo se representó en términos de color correlacionado de temperatura respectivamente.

Color de temperatura 2017



Color de temperatura 2017

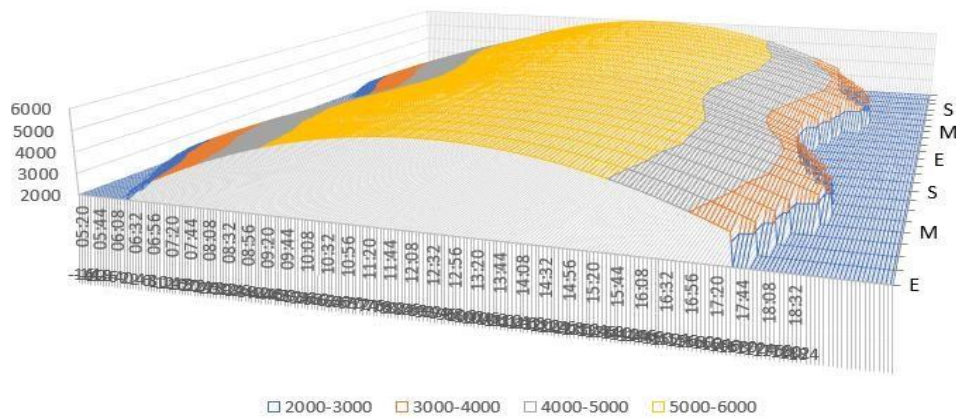


Figura 21: Graficas que muestran la marcha dinámica del color de temperatura censada en condiciones de iluminación natural (Elaboración propia, 2020).

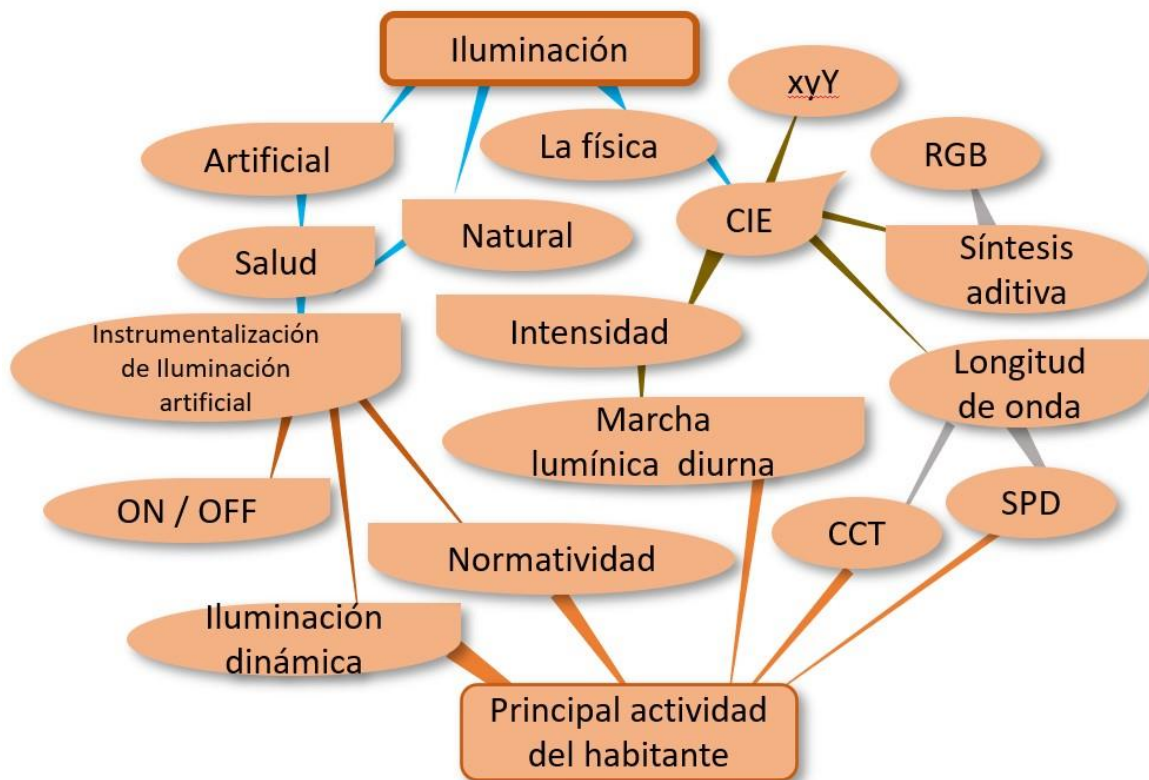


Figura 22: Dispositivo de estudio en dimensión lumínica natural y artificial (Elaboración propia, 2020).

Respecto al registro lumínico natural por técnicas estándar en espacios construidos y la observación del fenómeno que se expuso en este apartado, se ven superados algunos límites como se muestra a continuación: 1. Se pasó de una lectura lumínica de tipo indirecta en un espacio construido, a la disposición automatizada de los sensores de forma perpendicular a la fuente lumínica del Sol, garantizando la lectura máxima, directa y precisa en todo momento y punto geográfico en exteriores.⁵⁹ 2. se cambió la disposición de un observatorio especializado en tecnología e infraestructura, por un robot capaz de localizar sus propias trayectorias y funcionamiento. 3. Se cambió el escenario de un espacio arquitectónico controlado, por la observación del fenómeno de manera directa en

⁵⁹ Desde luego, es preciso hacer notar que, el sensor fototrópico no puede evitar la contaminación o influencia del espacio urbano construido en su entorno; es por ello, que el contexto se ha analizado como un recurso inscrito en un marco urbanístico de ciudad.

exterior. 4. Se evitó la toma de datos manuales y se cambia por un sistema totalmente automatizado que se rigió de manera autónoma por su software. 5. Se evitó la traducción e interpretación humana de los datos obtenidos, al hacer uso de un machine learning que compiló toda la información y entregó un registro final de la *marcha lumínica diaria*©.

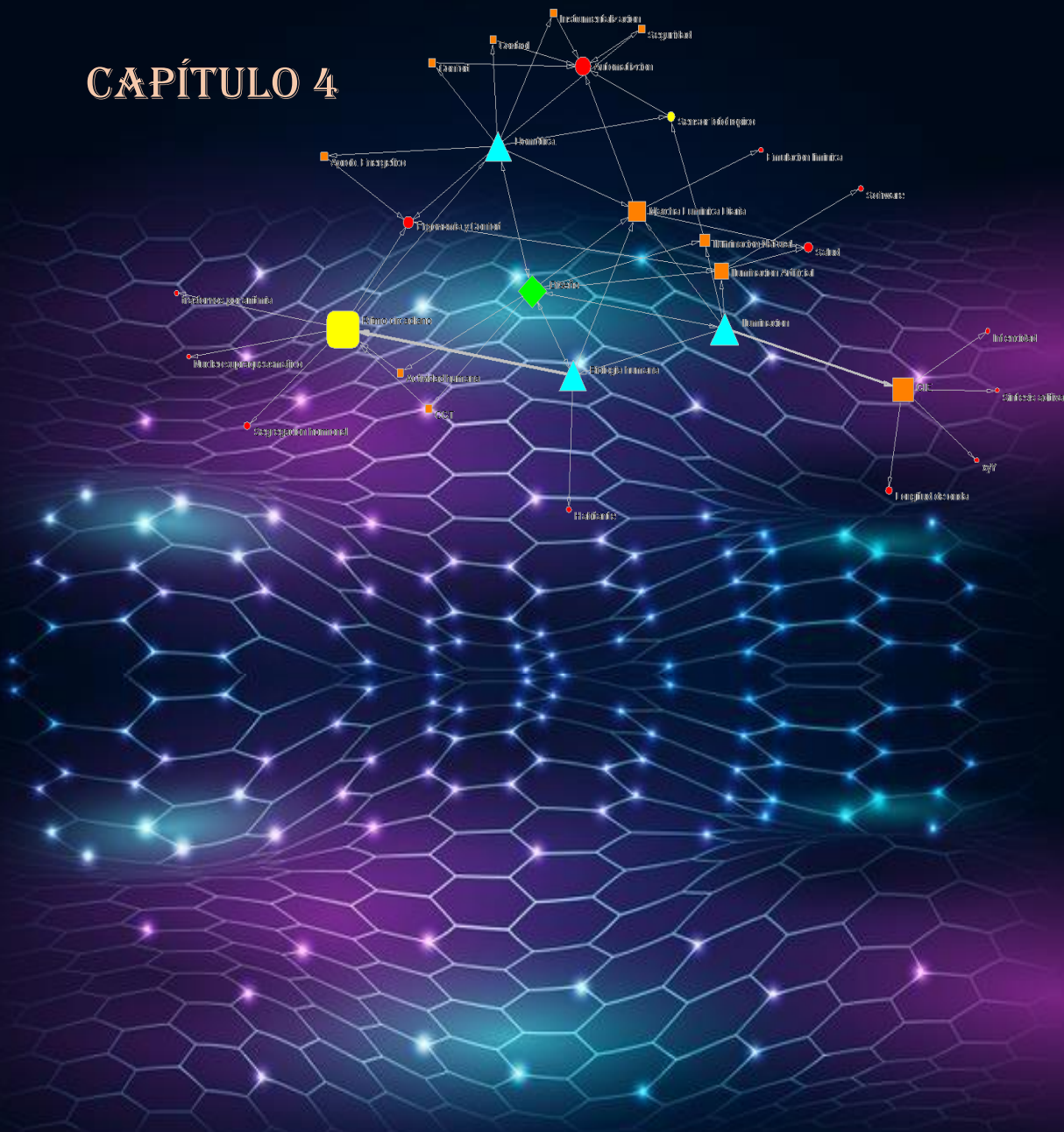
A manera de conclusión podemos decir que, en el presente apartado se ha expuesto la propuesta de una forma diferente de lectura del fenómeno lumínico natural por medio de un nuevo instrumento automatizado aquí llamado *sensor fototrópico*©, esto pretende comparar los métodos usados tradicionalmente y sus resultados, evidenciando los límites que en términos investigativos tienen tales técnicas. No por ello, se demerita su uso, sino, por el contrario, aquí se ha mostrado la forma en que esos métodos han formado las bases para el desarrollo del nuevo instrumento de observación que, para los intereses propios de la presente investigación, se ha considerado de mayor pertinencia.

Ahora bien, si ya se cuenta con el desarrollo de un instrumento que permite el registro de la *marcha lumínica diaria*©, los datos obtenidos tienen que ser aplicados de alguna manera. Esta es la relación de actores (humanos – artefactos); la suma de datos obtenidos se ha de poner en perspectiva de la traducción con la actividad humana de estudio y para ello, se requiere del desarrollo de un *dispositivo de iluminación circadiana*©.

Se considera sumamente importante seguir estudiando el fenómeno integrando muchas disciplinas para llenar de contenido el diseño de la red heterogénea de investigación en iluminación circadiana domotizada propuesta; aquí, lo importante que se alcanza a distinguir, es el salto del uso de una metodología ortodoxa válida a una observación especializada del fenómeno lumínico, superando los límites detectados anteriormente. Esto es, la puesta en marcha de una red de investigación.

Según lo ha expresado Arellano, se van observando diferentes aristas de la investigación pendiente para la Red, uno de los ejemplos que ha expresado, se refiere a la puesta en relación de indagación las condiciones lumínicas naturales mezcladas con la resultante del dispositivo de iluminación circadiana que se presenta en este trabajo, entre otras (A. Arellano, comunicación personal, 26 de agosto de 2020).

CAPÍTULO 4



DISEÑO DE UN DISPOSITIVO DE
ILUMINACIÓN CIRCADIANA©

El presente capítulo debe leerse como una relación reticular directa del capítulo anterior, en donde se generó toda la información que da soporte a la presente fase de la investigación, por tanto, en este momento, se presenta la dimensión de la domótica como centro de la red en términos de una domótica iluminativa circadiana. La dimensión de la domótica es preponderante, pero indisoluble de las otras dimensiones citadas en la red de investigación.

En Palabras de Arellano, después del crecimiento de las pesquisas y aplicaciones de la red heterogénea de investigación en *iluminación circadiana domotizada*®, el dispositivo de iluminación aquí desarrollado, podría especializarse en otros rangos colorimétricos para el estudio del de las actividades humanas y plantear las investigaciones faltantes en términos de laboratorio para la estimulación circadiana (A. Arellano, comunicación personal, 09 de septiembre de 2020).

Integración tecnológica de la luminaria

Después de la caracterización de los componentes estimuladores procedentes de la iluminación natural, como se pudo ver el capítulo anterior; se propuso el diseño de una luminaria para emular dos principales propiedades dinámicas: el CCT y la intensidad lumínica. Basados en las normas NOM 030, MON031, NOM 017, y NOM 025, se calcularon las cargas lumínicas máximas de radiación para centros de trabajo, en especial la NOM 025 emitida por la secretaria del trabajo y previsión social, la cual define 500 Lx para una tarea visual en puesto de trabajo de distinción clara de detalles.

La integración tecnológica de la luminaria, tiene dos componentes fundamentales, por un lado, se encuentra la parte radiante compuesta esencialmente por los LED's que se estimulan y entregan su propiedad lumínica, y por otro lado, el control electrónico del dispositivo; mismo que se encarga de aprovisionar las señales dinámicas a cada arreglo de LED's. La suma de ambas partes en un elemento, componen un dispositivo de iluminación circadiana.

Con respecto a la parte radiante, se procedió al diseño de la luminaria de tipo regla como se puede ver en la figura 23, por ser uno de los modelos de sistemas

de lumínicos mayormente comercializados en el mercado actual y que ha sido popularmente instalados en los centros de trabajo de todo tipo.



Figura 23: Integración de la luminaria en un chasis tipo regla (Elaboración propia, 2020).

La resultante, fue la alineación de 5 tiras de led, como se puede ver en la figura 24, en su mayoría de tipo 5050 en arreglo de 12v dc y que concentró frecuencias intermedias que van desde los 380nm a 600nm aproximadamente. Este rango cubre la gama total de las unidades asociadas con la estimulación circadiana en color correlacionado de temperatura que va de los 1000 a los 6000 grados kelvin. Así mismo, con este equipo se ha logrado en pruebas simuladas como lo marca la norma NOM 030, el registro de una intensidad máxima de 650 lux con uso del difusor y de 780 en exposición directa sin difusor.



Figura 24: Montaje e integración de las tiras de led sobre un chasis tipo regla

(Elaboración propia, 2020).

Con respecto al control electrónico del dispositivo, se requirió un procesador lógico y se usó la tarjeta de control Arduino uno, un reloj de tiempo real y un sistema de potencia balaceada. Este control electrónico, permitió la estimulación regulada y dinámica de los LED, de acuerdo al requerimiento modelado.

En el uso de tres puertos PWM se obtuvieron las salidas digitales que fueron analogadas por medio de un condensador y un regulador de voltaje. Finalmente, el algoritmo se diseñó bajo los requerimientos lumínico circadianos analizados en etapas anteriores, logrando un acercamiento a la realidad lumínica con un alto porcentaje, como se verá más adelante. El modelo matemático con el que se rige el algoritmo cuenta con los siguientes elementos de la variable: color en grados

Kelvin, número de emisores, ancho de banda, longitudes de onda centrales, intensidad, arreglo de color del LED, color correlacionado de temperatura, luz de día estándar, incremento del tiempo, coordenada de cromaticidad luz de prueba, coordenada de cromaticidad diurna estándar, horario marcha diurna.

Documentación y validación de la luminaria

Después de una serie de pruebas en laboratorio y la manipulación de las variables en el algoritmo, se logró una serie de lecturas muy cercanas a lo deseado. Sin embargo, por las condiciones propias de la indagación en ese momento y por la falta de presupuesto en la instrumentación de prueba requeridos, se realizaron las pruebas básicas con el espectrómetro modelo TES135, mismas lecturas que serían ratificadas con mayor precisión como veremos más adelante.

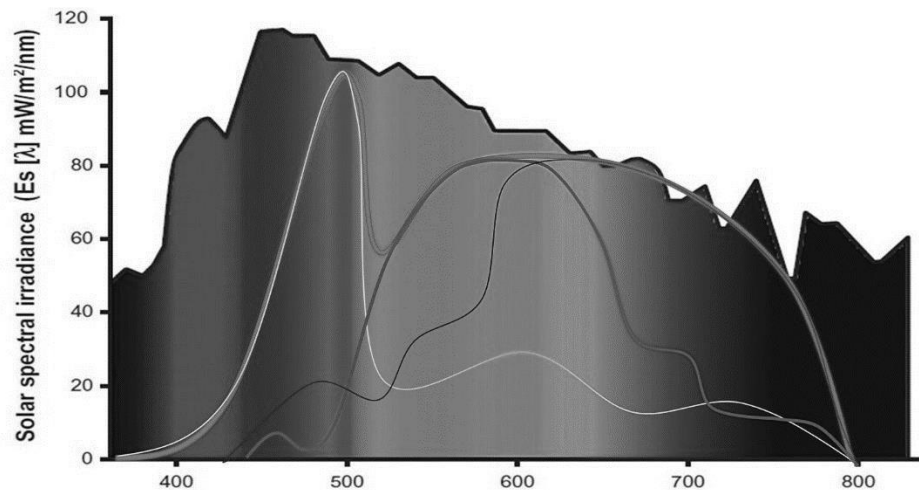


Figura 25: Espectro nominal solar vs resultados espectrométricos de la luminaria diseñada (Elaboración propia, 2020).

La obtención de los resultados aquí presentados, se divide en dos etapas de análisis empírico. La primera, como dominio de la técnica y apego a la norma NOM 030, haciendo el uso de un espectrómetro; en este caso de modelo TES 136 medidor de cromaticidad, se tomaron 200 muestras en un espacio controlado dentro de una caja de iluminación, con pintura reflectiva al 95% color blanco y a una distancia de un metro de la fuente lumínica. Se estimó la varianza, la media, mínimas y máximas y finalmente se obtuvo el valor promedio de las lecturas.

Al considerar que este elemento es un luminario dinámico con capacidad de cambiar de color e intensidad conforme al paso del día, se planteó el diseño de un nuevo protocolo de análisis y validación, mismo que se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio de iluminación y eficiencia energética del instituto nacional de astrofísica óptica y eléctrica (INAOE), ya que cuenta con el equipamiento e instrumentación válido para la certificación de luminarias bajo las normas nacionales como veremos a continuación. Cabe señalar que, en dichas instalaciones, no se había llevado a cabo algún tipo de monitoreo de una luminaria dinámica, por lo que no se sabía cómo actuar ante esta nueva propuesta.

Planteamiento general del diseño exploratorio para validar una luminaria dinámica

Debido a que, las particularidades cambiantes de esta luminaria no estaban consideradas en la literatura especializada del laboratorio de iluminación y eficiencia energética, fue necesario diseñar los protocolos para el análisis correspondiente, por lo cual, se generó un documento que, por consideraciones de su amplitud, solo se describe en términos generales para este trabajo, así mismo, se obtuvieron algunas imágenes de las formas en que se llevó a cabo.

Esfera integradora

- Calibración y estabilización del equipo radio-espectrómetro de esfera 3000
- Montaje de la luminaria dentro de la esfera
- Muestreo espectrométrico de la lámpara, con la esfera cerrada y a una temperatura controlada de 20 grados centígrados
- Toma de lecturas a cada dos minutos durante la primera hora
- Toma de lecturas a cada 5 minutos durante la segunda hora
- Toma de lecturas a cada 10 minutos durante la tercera y cuarta hora

Con este proceso, se obtuvieron un total de 54 tomas espectrométricas. Dicho procedimiento se programó como réplica en cuatro sesiones en total con separación en el calendario del Hardware de un mes con la intención de avalar los cambios que deben generarse en las estaciones del año; cabe señalar que, lo ideal hubiera sido, hacer una corrida de análisis en intervalos de una semana por las 51 semanas del año, sin embargo, por falta de presupuesto, solo se plantearon cuatro corridas en la forma antes mencionada.

De manera simultánea, se cuantificó la eficiencia energética y la distorsión armónica del equipo. La esfera integradora se presenta en la figura 25.

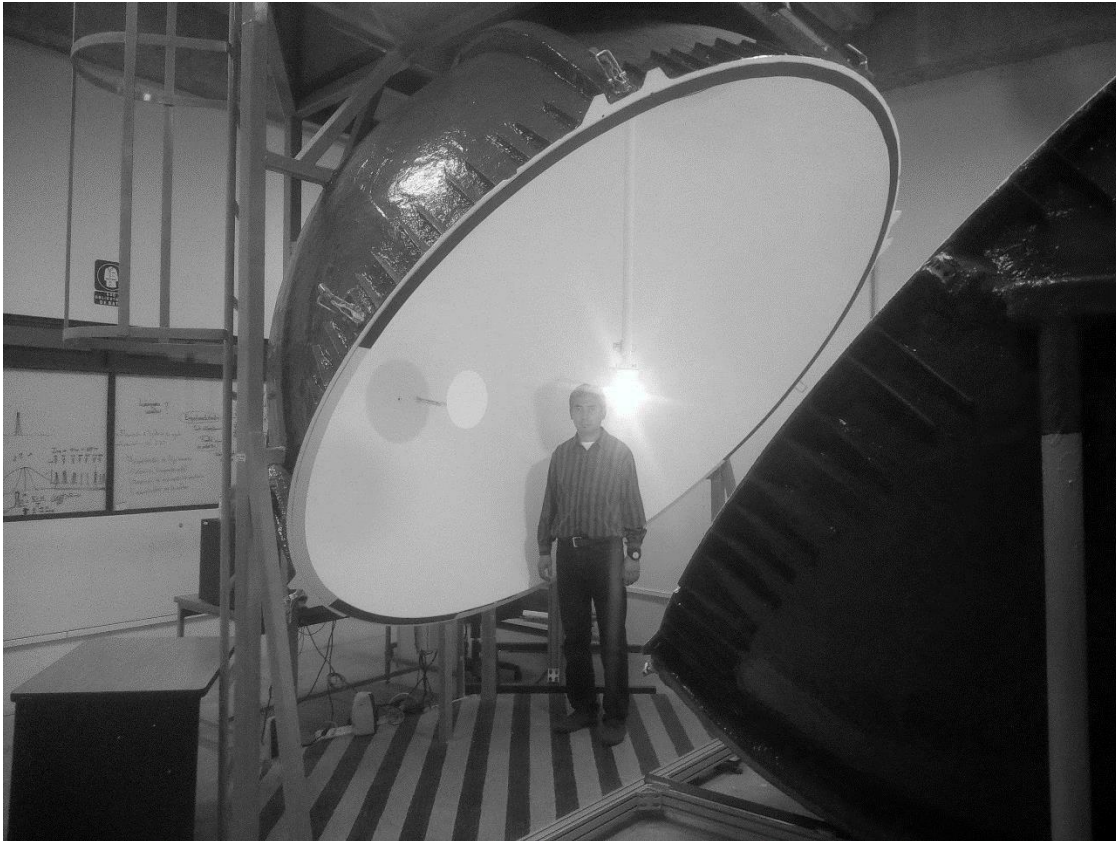


Figura 25: Esfera integradora INAOE mide el espectro lumínico en condiciones controladas (Elaboración propia, 2020).

Posteriormente, se hizo la prueba para determinar el comportamiento espacial de intensidades lumínicas de la lámpara conforme a la norma NON 031, para lo cual, se consideró la modificación del algoritmo que controló la lámpara. El fotogoniómetro de celda, realizó un muestreo radial a partir del origen de la luminaria a cada 3 grados angulares, por lo que analizó la forma en la que se distribuyó el espectro lumínico con la limitante que solo midió la intensidad, por lo que, de ello, no se pudo saber el comportamiento espacial del color correlacional de temperatura. Al respecto, se muestra en la figura 26 a continuación.



Figura 26: Fotogoniómetro INAOE mide el comportamiento de intensidad lumínica radial (Elaboración propia, 2020).

Con el fin de conocer la dispersión lumínica, se instaló la luminaria al origen de la circunferencia del fotogoniómetro y se tomaron las muestras de forma radial a cada tres grados, con un nivel de intensidad fijo.⁵⁹ De esta manera, se obtuvieron 13 sesiones de medición que representaron las dos primeras horas diurnas. Cabe señalar que lo ideal, hubiera sido la toma de todo el ciclo diurno a casa 5 minutos durante los 365 días del año; lo cual no se realizó por condiciones presupuestales.

⁵⁹ Por lo que se hizo la interrupción del reloj controlador en el hardware y se precedió a las tomas, posteriormente, se adelantó el reloj 10 minutos y se repitieron las tomas en 12 ciclos más.

Las pruebas de choque térmico, ciclo de conmutación y sobre tensión que se requirieron hacer para definir el ciclo de vida y vulnerabilidad de la lámpara, no se realizaron por limitantes económicas.

La validación de la luminaria se llevó al campo de análisis correlacional, para lo cual, se realizó la observación del fenómeno lumínico por un día entero, se añadieron los datos obtenidos al algoritmo y se sometió la luminaria a estudio dentro de la esfera integradora, dando como resultante los siguientes datos.

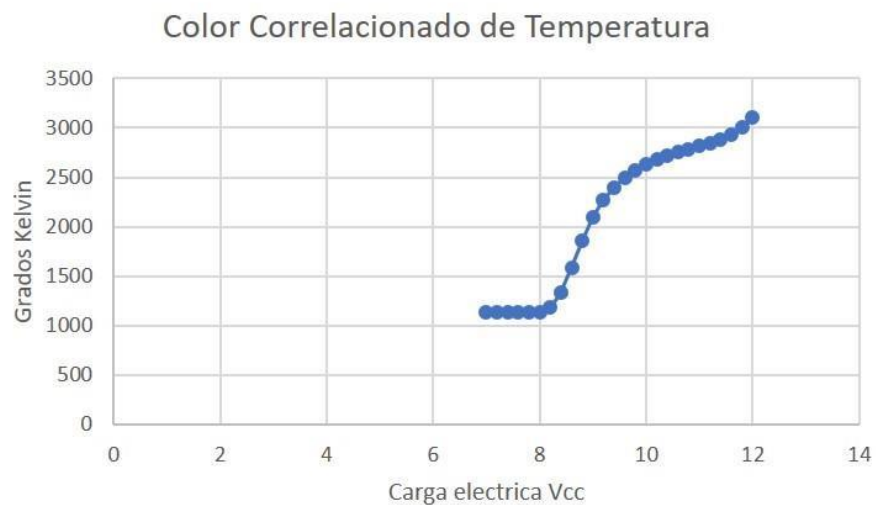


Figura 27: Grafica que respuesa el CCT en la lámpara dinámica (Elaboración propia, 2020).

En esta figura (27), se puede ver el desarrollo colorimétrico obtenido por el dispositivo de iluminación circadiana, en función de sus cambios de consumo eléctrico. La respuesta en CCT es directamente proporcional a la diferencia de potencial consumida cubre el espectro analizado permitiendo el control mediante la señal analógica.

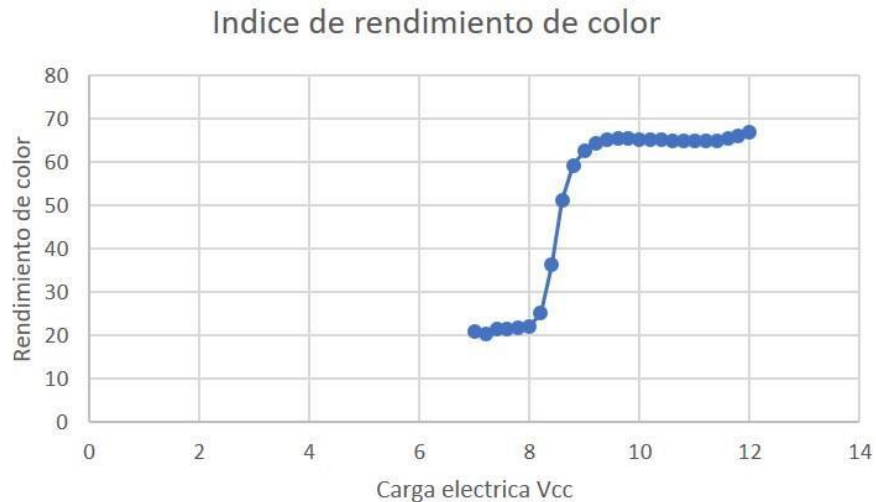


Figura 28: Grafica que representa el rendimiento energético de la lámpara dinámica (Propia, 2020).

En esta figura (28), se puede observar el resultado obtenido por el estudio de los parámetros “rendimiento de color y carga eléctrica”. La eficiencia obtenida en el rendimiento de color cambia a partir de los 8.0v. y se estabiliza a los 8.3v. obteniendo el control asegurado, la mayor parte del día.

A partir de la obtención de los datos de estímulo circadiano, CCT e intensidad de rendimiento de color, se procedió a revisar las capacidades de emulación diurna por la luminaria dinámica, analizando las transiciones diurnas en la esfera integradora y comparándolas con las lecturas obtenidas un día antes en campo por el *sensor fototrópico*®. Los resultados fueron más satisfactorios de lo planteado pues se alcanzó un 98.7% de correlación (figura 29).

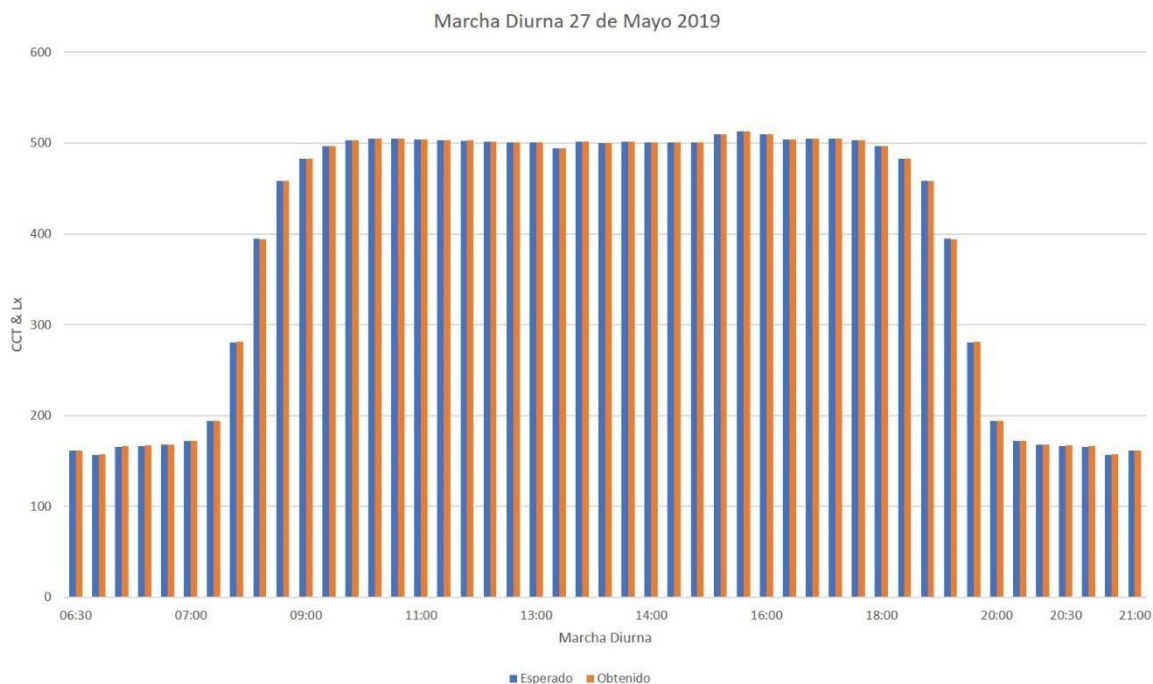


Figura 29: Comparativa de resultados del *dispositivo de iluminación circadiana*© (Elaboración propia, 2020).

Como se puede leer, en color azul se encuentra el dato recogido por el *sensor fototrópico*©, por lo que se identifica como el dato óptimo o dato esperado. En paralelo, se muestra en gráfico el color naranja con el dato obtenido por la luminaria en la esfera integradora y que se asemeja mucho al dato esperado por lo cual se considera un éxito de validación en términos de la emulación artificializada de la MLD.

Después de haber caracterizado la MLD en el capítulo 3, en el presente capítulo 4, se llevó a cabo el diseño de un dispositivo de iluminación circadiana en las siguientes fases. 1. Integración del hardware y software en un mismo dispositivo. 2. La construcción de un protocolo la validación del dispositivo. 3. Validación, obtención de resultados y discusión de los hallazgos. En resumen, fueron las fases de diseño y validación del dispositivo de iluminación circadiana en esta etapa de la investigación.

Toda vez que ya se cuenta con un *dispositivo de iluminación circadiana*© validado y se ha comprobado la eficiencia del algoritmo, se requiere la puesta en marcha en sitio, para lo cual fue diseñado y en este sentido, el próximo capítulo

aborda la estrategia que se empleó para hacer un análisis empírico dentro de un espacio arquitectónico estándar.

CAPÍTULO 5



El presente capítulo, es la muestra de la red creada por las dos dimensiones anteriormente exploradas en el capítulo 3 y 4 y la dimensión biológica circadiana que, en este momento, se al centro de la investigación y es soportada por las diferentes construcciones de los elementos diseñados anteriormente. Es el momento experimental de las tres dimensiones en las que se puede estudiar de manera más próxima las relaciones cuasi-humanas y cuasi-artefactuales, como parte de la red heterogénea de investigación en iluminación domótica circadiana.

La exposición del presente capítulo consiste en los siguientes puntos. 1. La puesta en relación de las diferentes dimensiones que componen a la red heterogénea de investigación en iluminación circadiana domotizada, para la puesta en marcha y experimentación con un dispositivo de iluminación circadiana. 2. La observación del fenómeno lumínico diario a partir de las pesquisas documentadas en el capítulo 3 de la presente investigación. 3. La instalación del dispositivo de iluminación en salones de clases. 4. Exposición de estudiantes y profesores en situación académica a la emulación de la MLD durante un periodo de dos meses., 5. En paralelo al punto 4, la realización de encuestas a profesores y pruebas de coloreado de un dibujo muestra a escolares. 6. Finalmente, el análisis y discusión de los resultados obtenidos,

El enfoque del diseño de la red de investigación en ICD, se fundamenta en la interacción de dos aspectos principales: es el estudio y puesta en juego de una naturaleza humana entendida desde la biología, consolidada con el uso cotidiano de artefactos, mismos que se convierten en relaciones codependientes. Es aquí, en donde se enmarca la relevancia de haber diseñado un *dispositivo de iluminación circadiana*© que, en sí mismo, representaría únicamente la aportación de un objeto-producto más, entre las muchas alternativas en el mercado.

Es aquí, en donde se pone en relación directa al ser humano como ente biológico, dentro de la red, formando un todo, como la base de la investigación, poniendo en zona experimental a los actores (artefactos y humanos) en un mismo contexto, diseñando y ejecutando el método con el fin de reunir pesquisas que

permitan el acercamiento al conocimiento de la operación de una red de iluminación circadiana domotizada.

Es aquí, en donde se puede ejemplificar con mayor detenimiento, la puesta en marcha de la Red en el uso interrelacionado de sus dimensiones que le componen, (iluminación, circadianismo y domótica), con el propósito de estudiar el confort de las diferentes actividades humanas.

En esta parte de la investigación el humano como usuario de la ICD se pone al centro de la red heterogénea pues es integrado en su contexto haciendo uso del *dispositivo de iluminación circadiana*© para ensayar la búsqueda del confort lumínico adecuado a sus actividades. En este sentido, se entiende al usuario como un ser humano biológico que emplea un dispositivo de ICD y se observa con el interés de documentar su reacción, aludiendo a que este ejercicio puede y debe ser ajustado a sus propias necesidades de actividad humana, ergonomía y confort.

De esta manera, el hecho de proponer una red de investigación en ICD dirigida a la investigación e intervención por actividades humanas, pretende dar guía para el estudio del confort y la ergonomía en cualquier estación de trabajo, llámese, industrial, doméstica, institucional, transporte, urbana, etc.

Para ejemplificar la primera de estas investigaciones, se documentó, la experimentación llevada a cabo con una población estudiantil y sus profesores, dentro de las aulas cotidianas provistas de una propuesta de ICD.

El primer paso para el ejercicio experimental referido en el presente capítulo, consistió en la observación del fenómeno lumínico diario. En este caso, ya se había observado, documentado y analizado desde un proceso investigativo inicial, mismo que quedó documentado en el capítulo 3, etapas de la investigación para caracterizar al fenómeno lumínico natural. La información recopilada por el sensor fototrópico fue procesada por un software diseñado especialmente para obtener la información de la MLD en sus diferentes transiciones de CCT e intensidad lumínica.

Se eligió un centro educativo de nivel primaria localizada en la zona geográfica central del municipio de Ecatepec a 19.5499 grados altitud norte, 99.0406 latitud grados este, aproximadamente. Siendo una escuela pública y con

una comunidad de individuos de cuarto año y a sus profesores, toda vez que se consideró que, en los tres años anteriores,⁶⁰ los alumnos no han alcanzado la suficiente estabilidad en las actividades del sistema escolar, de los hábitos y de las costumbres cotidianas.⁶¹

Después de la negociación y conciliación con las autoridades académicas, se convocó a junta de padres de familia y docentes directamente involucrados en los espacios seleccionados; en dicha junta, además de cuestiones académicas y administrativas, se planteó el ejercicio con los alumnos y maestros elegidos dentro del plantel, obteniendo su anuencia. Luego de esta fase, se procedió a la implementación del dispositivo de iluminación circadiana©.

El estudio se planteó considerando el uso de dos aulas contiguas y en las cuales asistieron aproximadamente 40 alumnos cursando el cuarto grado de estudios de nivel primaria,⁶² La población quedó inscrita en individuos femeninos y masculinos, aproximadamente al 50 %, con rangos de edad que varían entre los 8 a 10 años. La población estaba aparentemente sana y de hábitos de vida similares, no reportó experiencia de trabajo por turnos o viaje a una zona horaria diferente dentro de los 3 meses previos al estudio, no se reportó daltonismo en los participantes.⁶³

La instalación del dispositivo de iluminación circadiana en las aulas, se llevó a cabo mediante la sustitución de las fuentes lumínicas existentes, de conformidad con lo descrito en el capítulo 4 del presente documento.⁶⁴ Para lo anterior, se hizo

⁶⁰ Los primeros años de la instrucción académica a nivel primaria, forman actividades de estabilización cognitiva y de actividades propias para la educación regular, como el aprendizaje básico de la lectoescritura, el dibujo, el conteo numérico de entre otras.

⁶¹ Dadas las condiciones de la presente investigación, se propone que, en investigaciones posteriores de ICD en ámbitos escolares, se debe considerar intervenir varios grupos en todos los grados de educación primaria, esto, generaría patrones de confort.

⁶² Se consideró un aula sin intervención lumínica para tomarla como grupo de control. La segunda aula fue intervenida con el dispositivo de iluminación circadiana tomándola como grupo muestra. ⁶⁴ según lo medido por Ishihara para daltonismo.

La prueba consiste en una serie de cartas de colores, llamadas cartas de Ishihara, cada una de las cuales contiene círculos de puntos de colores y tamaños aleatorios. En el patrón de puntos se forma un número visible para aquellos con visión normal e invisible o difícil de ver para aquellos con un defecto de visión.

⁶³ Según lo medido por Ishihara para daltonismo.

⁶⁴ Capítulo 4. Diseño de un dispositivo de iluminación circadiana. Se aplicaron las fuentes lumínicas desarrolladas en este capítulo.

uso de los mismos chasis y pantallas previas al estudio con la intención de que la comunidad no fuera influenciada en sus comportamientos, debido a la instalación de nuevas luminarias (ver figura 30).



Figura 30: Implementación de los dispositivos de iluminación circadiana en experimentación (Elaboración propia, 2020).

La exposición dentro del aula con una iluminación circadiana de longitud de onda (color), en un rango que va desde los 490nm a los 590nm y con una intensidad lumínica de 300 lux, de acuerdo a la norma mexicana NOM-030, fue monitoreada en el horario matutino de acuerdo con el horario establecido por la Secretaría de Educación Pública (SEP), que es de 08:00 a 13:00 aproximadamente (GMT-6 o UTC-6)⁶⁵.

Se monitoreó la exposición lumínica a partir del ingreso de los infantes, a las salas de estudio, con los mismos criterios de confort; Considerando el final de la sesión, en el momento en que ambos grupos abandonaron el salón de clases. En total se monitoreó un periodo de 5 horas en el espacio escolar, con una suspensión intermedia de 30 minutos de acuerdo a la política interna de la escuela conocida

⁶⁵ El tiempo medio de Greenwich o GMT (Greenwich Mean Time) es un estándar de tiempo que originalmente se refería al tiempo solar medio en el Real Observatorio de Greenwich, en Greenwich, cerca y sus maestros de Londres, Inglaterra, que en 1884 fue elegido por la Conferencia Internacional del Meridiano como el primer meridiano. Antes de la introducción del tiempo universal coordinado (UTC) el 1 de enero de 1972, el tiempo medio de Greenwich (también conocido como Hora Zulu) era la misma que la del horario universal, que es un concepto estándar astronómico que se utiliza en muchos campos técnicos. Los astrónomos ya no utilizan el término Greenwich Mean Time.

como recreo estudiantil.⁶⁶ El experimento fue documentado a partir de cinco exposiciones lumínicas por semana en un total de ocho semanas, de lo cual se documentaron 40 registros tipo y tres pruebas maestras.

Dicho experimento, se implementó a partir del día 3 de mayo y continuó en funcionamiento hasta el día 28 de julio del 2019 de acuerdo con el calendario escolar emitido por la SEP para el periodo 2018-2019. Posteriormente, fue retirado el dispositivo de iluminación circadiana© y se reintegraron las luminarias originales para entregar los espacios académicos correspondientes a la administración educativa.

Considerando que la comunidad implícita en el contexto perteneció a dos sectores separados, entre alumnos y maestros, se diseñó un instrumento para cada sector. Derivado de este factor, los hallazgos serán presentados por separado.

Para el sector infantil se propuso como medio de prueba, el ejercicio de colorear un dibujo modelo. Dado que en la literatura existente al momento de esta prueba no se encontró antecedente para medir la sincronización de los ritmos circadianos por instrumentos psicométricos y de confort en infantes, se procedió a la búsqueda de técnicas similares y se encontró una serie de pruebas que interpretan el comportamiento de los niños cuando dibujan.

Para captar el efecto del dispositivo de iluminación circadiana en el experimento, se programaron tres sesiones con los infantes, quedando agendado de la siguiente manera: primera prueba maestra tomada un día antes de la intervención de los espacios muestra. La segunda prueba se aplicó al terminar la semana cuatro y la tercera prueba se aplicó al terminar la semana ocho; con lo cual se cerró el periodo de toma de datos.

⁶⁶ El recreo o receso es un período de tiempo entre lecciones durante la jornada de un centro educativo, en la que los alumnos pueden realizar libremente actividades tales como escuchar música, charlar, comer, ir al baño, jugar, descansar. Los recreos sirven como ámbito de interacción social, de recreación, y de descanso. Los centros educativos suelen tener patios de recreo.

En ausencia de evidencias que apuntaran a casos previos, la recomendación del especialista en psicología infantil, consideró adecuado apreciar en el trazo del coloreado dos aspectos; por un lado, la fuerza o profundidad aplicada en el trazo, lo cual representó mayor o menor confianza que se tradujo en confort para realizar la misma tarea. Por otro lado, se observó la dirección del trazo y el llenado de la forma poniendo especial atención en el contorno, mismos que fueron interpretados en términos de comportamiento, traducido como ergonomía y confort en la realización de la tarea. Muchas otras evidencias fueron obtenidas de las pruebas, sin embargo, al carecer de estudios previos, se observaron de manera prospectiva las características señaladas.

Las pruebas se llevaron a cabo a ambos grupos de infantes en los días programados, mismo horario y mismas condiciones de aplicación entre el grupo de control y el grupo intervenido por el *dispositivo de iluminación circadiana*®.

Se realizaron diferentes ensayos, pruebas e interpretaciones que llevaron a concluir que, la ICD propuesta generó efectos confortables en los escolares estudiados. Al ser una herramienta nueva en la indagación de este aspecto, los resultados encontrados construyen un primer acercamiento demostrativo y explicativo en la indagación.

Para mostrar un ejemplo de lo obtenido, se llevó a cabo el acopio y ordenamiento de las pruebas, reuniendo tres muestreos por persona. Posteriormente, se conjuntaron todas y se tomó una al azar.

Como se puede ver en la figura siguiente (figura 31), las características buscadas de presión y dirección del trazo, así como, el llenado de la forma y contornos, fueron continuas y con una importante similitud en las tres muestras pertenecientes al mismo infante del grupo de control.



Figura 31: Prueba de un sujeto del grupo de control (Elaboración propia, 2020).

Mientras que, siguiendo la misma técnica de análisis, se tomó al azar una prueba del grupo intervenido por el *dispositivo de iluminación circadiana*®, en donde se hizo evidente el cambio en los tres parámetros buscados, presión y dirección del trazo, llenado de la forma y contornos. Así mismo, se puede apreciar que el cambio fue paulatino por lo que se le llamó tendencia a la mejora.



Figura 32: Prueba de un sujeto del grupo intervenido (Elaboración propia, 2020).

Como se puede apreciar (figura 32), en el dibujo a la izquierda (1er muestreo), el infante puso color a pocos elementos del dibujo, la presión del trazo fue ligera y tímida, aunque se aprecia que los elementos fueron llenados perfectamente y se respetaron los contornos. En el dibujo central (2º muestreo), se aprecia el aumento de elementos con color, la presión del trazo fue firme y denotó seguridad, mientras que el llenado de los contornos fue descuidado un poco. Finalmente, en el dibujo a la derecha (3º muestreo), se puede ver que el infante

coloreó todos los elementos del dibujo, los trazos fueron firmes y continuos y la mayor parte de los contornos se respetaron a detalle.

Durante uno más de los procesos de indagación de los resultados de las pruebas, también se encontró que, al analizar los mismos elementos de referencia en el dibujo, la tendencia de mejora marcaba importantes números al grupo intervenido. Dicha prueba se mostró sin ninguna manipulación predispuesta o pretenciosa, únicamente se documentaron los hallazgos con el rigor de la investigación cualitativa.

Para el sector docente, se diseñó un cuestionario pensando en los profesores y sus actividades diarias, por lo que se acudió al uso de reactivos en términos de rendimiento y fatiga como elementos del confort. Se aplicó de manera individual y aislada a cada docente, el mismo día y a la misma hora que a los demás⁶⁷. La herramienta fue aplicada con intervalos de cuatro semanas en un total de 3 sesiones. Posteriormente, se realizó la compilación de datos cualificados por cada docente y se registró en forma estadística.

La representación gráfica a la derecha de la siguiente figura, muestra el resultado de las encuestas aplicadas al grupo de control, en donde se interpretó un cansancio paulatino; mientras que, en el gráfico de la derecha, se muestra el resultado de la prueba aplicada al grupo intervenido con el *dispositivo de iluminación circadiana*®, en donde se apreció una mejora en el confort de los sujetos de estudio.

⁶⁷ Se aplicó la encuesta los días viernes agendados para cada toma de muestra, una por la mañana 08:00horas y otra con el mismo contenido de reactivos, 15 minutos antes del término del mismo turno académico.

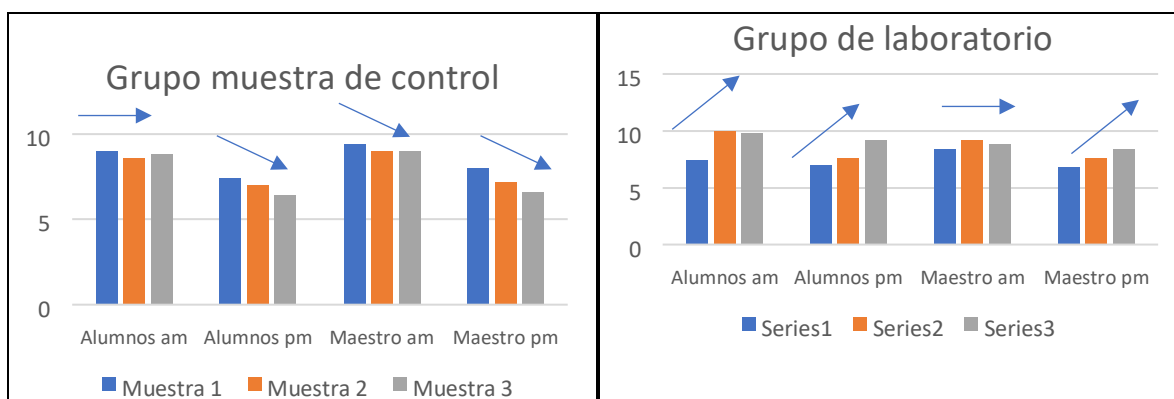


Figura 33: Resultados de las encuestas a grupo de control y grupo intervenido (Elaboración propia, 2020).

Es importante reiterar algunos elementos propios de esta prueba. 1. el diseño de los diferentes reactivos usados en esta etapa, fueron diseñados con el rigor y fines de la investigación cualitativa. 2. Al no encontrarse antecedente de pruebas en estas circunstancias, se diseñó esta etapa experimental con fines de indagación y de generar pesquisas en infantes inscritos en un contexto escolar en particular. 3. Como se ha visto en el resto de las etapas de la experimentación, las herramientas propuestas, diseñadas y aplicadas, proceden de las relaciones propias de la red heterogénea de investigación, abriendo las posibilidades de participación a las diferentes áreas del conocimiento. 4. Desde la aplicación de la red como una metodología de investigación, en esta etapa, debe observarse como una propuesta investigativa, recordando que las formas de construcción de la evidencia científica, deben validarse, comprobarse, someterse a controversia y finalmente, ser el objeto de reflexión.

El alcance de esta etapa de la investigación, fue, poner en marcha la red heterogénea de investigación y a partir del pensamiento del diseño, construir una posibilidad de estudio al analizar una tarea humana por separado.

Después de haber llevado a cabo la primera experimentación de la red de investigación en iluminación circadiana domotizada, se han obtenido diferentes observaciones que se enlistan a continuación.

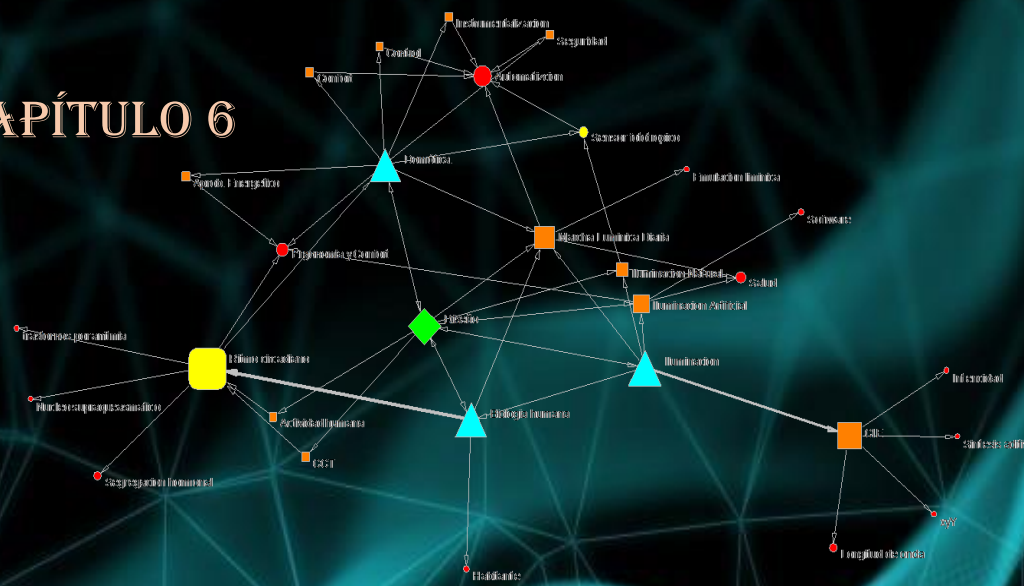
En particular para la experimentación realizada

- Se requiere llevar a cabo las lecturas lumínicas del mismo día en que se emulan en el aula
- Se requiere ampliar las investigaciones en este y otros espacios académicos para encontrar parámetros que indiquen los beneficios del uso de un dispositivo de iluminación circadiana.
- Se considera importante el estudio de los seis grados académicos a nivel primaria con el uso del dispositivo de iluminación circadiana, en el interés de encontrar correlaciones de salud y confort.
- Es necesario ampliar los periodos de estudio a la comunidad estudiantil, preferentemente durante todo el año escolar.
- Hace falta trabajar en la investigación de los reactivos que permitan analizar las reacciones de los profesores y de los alumnos infantiles que participan en tales experimentos.

Éstos y muchos otros retos quedan latentes en la experimentación que se ha generado a partir del uso de la red de investigación en iluminación circadiana domotizada en un espacio escolar y dan cuenta de lo importante que es continuar con ella, ya que, de esta primera experimentación, se abre el camino a muchas interrogantes que, a la luz de la ciencia, aún no han sido planteadas.

La Red en este contexto; también pretende ser una muestra de las múltiples investigaciones que se pueden realizar en términos de actividades humanas inscritas en un espacio arquitectónico. Ejemplos de ello podrían ser, en la industria manufacturera, en el deporte, en el comercio, en el transporte, en la vivienda, en el hospedaje, en las salas de entretenimiento, etc. Sin olvidar el estudio de las actividades nocturnas que en sí mismas, concentran un reto adicional. Se considera que cada actividad humana es diferente y actualmente ha sido intervenida lumínicamente con criterios arquitectónicos y personales, distintos al corazón de la presente investigación, es por ello que se considera acuciante la indagación futura en esta plataforma de investigaciones desde la episteme de la red heterogénea de investigación en iluminación circadiana domotizada.

CAPÍTULO 6



CONCLUSIONES

El diseño de una red de investigación en iluminación domótica circadiana, se encuentra encaminada a la apertura de vías prácticas para futuras investigaciones⁶⁸. Es una forma de orientar a investigaciones en los temas de iluminación, de circadianismo y de domótica. En este sentido; se ha hablado de las diferentes áreas del conocimiento por separado, así como las ramificaciones reticulares que de ellas se pueden obtener, y el trabajo derivado del paradigma del diseño que da como resultado, la integración del conocimiento epistémico y científico en ICD.

La red heterogénea de investigación fue diseñada de manera teórica, epistemológica e instrumental, sustentada por tres dimensiones particulares, la iluminación, lo circadiano y la domótica. Cada una de las dimensiones indistintamente interactúan de manera indisoluble a las otras. La presente propuesta de investigación las hace inseparables metodológicamente; por lo cual, sus aspectos, se convierten en nodos de la red por los que fluye la información investigativa; este efecto, crea una retroalimentación interna y externa a cada dimensión, por lo que fue necesario poner en marcha a los diferentes aspectos de la Red, integrados en un dispositivo de IDC de modo experimental en actividades escolares.

La hipótesis general planteada en este trabajo señalaba que: si era posible diseñar una red heterogénea de investigación en *iluminación circadiana domotizada*©, y que luego entonces, se podrían diseñar innovaciones iluminativas de capacidad circadiana controladas domóticamente y poner en juego los aspectos

⁶⁸ Posibles investigaciones futuras: Caracterización lumínica circadiana en continuidad permanente, Desarrollo en la red WWW de los elementos que integran al sensor fototrópico©, Integración del sensor fototrópico© a un sistema de iluminación circadiano como sistema emergente, Prospección y uso de otras tecnologías lumínicas, Implementación y estudio de los cambios biológicos en estaciones de trabajo diversos, Muestreo y aplicación de pruebas biológicas a poblaciones de adultos en trabajo, Parametrización y modelado de las secuencias circadianas de mayor confort y ergonomía, Vinculación de la indagación con una posible perspectiva en cuidados de la salud en adultos mayores, Diseño e implementación de un laboratorio multidisciplinario en investigaciones circadianas, Creación de una red de colaboración e investigación integrada por los principales laboratorios internacionales que investigan el fenómeno biológico circadiano, estudios del impacto de la iluminación circadiana nocturna en el ser humano, Estudio de casos por actividades humanas en todos los ámbitos sociales e individuales, etc.

para mostrar la escala mínima de la red y aplicarla en una actividad humana como caso de estudio.

Efectivamente, se logró diseñar la red heterogénea de investigación en ICD que, en su integración, describe sus tres dimensiones básicas de construcción, mismas que permitieron diseñar el dispositivo de ICD y con el que se pudieron hacer diferentes evaluaciones cualitativas y cuantitativas en confort iluminativo circadiano. Esta propuesta mostró, mediante su aplicación, que es un medio propio para fortalecer los espacios arquitectónicos desde una perspectiva de cuidado y confort lumínico.

Así mismo, la hipótesis secundaria suponía que: Si era posible desarrollar y construir de instrumental especializado para la observación del fenómeno lumínico natural, luego entonces, se podría compilar la información cualitativa que permitiera modelar la MLD.

Durante la investigación, se diseñó de instrumental especializado que en este trabajo se ha nombrado *Sensor Fototrópico*®. Se diseñó con el fin de caracterizar al fenómeno lumínico natural desde una proyección perpendicular al sensor y de forma permanente, lo anterior permitió la compilación de la información cualitativa para modelar el comportamiento de la MLD inicialmente por un año y posteriormente de manera permanente.

Otra de las hipótesis secundarias argumentaba que: Si era posible estudiar los cambios de la marcha lumínica diaria®, entonces se podrá diseñar un dispositivo de iluminación capaz de emular la MLD.

Las propiedades lumínicas procedentes del fenómeno natural son muchas, para el presente trabajo y en el interés del direccionamiento expuesto por el dispositivo de estudio en dimensión lumínica natural, vs el dispositivo de estudio en dimensión circadiana, se caracterizaron los elementos directamente asociados con la estimulación del ritmo circadiano en el humano y estos elementos corresponden a la intensidad lumínica y al CCT. Con ello, se realizó la caracterización de las transiciones diurnas de cada día.

En otra hipótesis se señalaba también que: si era posible el diseño y construcción de una luminaria dinámica con un sistema de hardware y software capaz de replicar las principales características de las variables lumínicas circadianas, entonces se podría diseñar un dispositivo de iluminación capaz de emular la MLD.

Uno de los resultados del presente trabajo, fue, el diseño, instalación en un centro de trabajo y estudio de una luminaria capaz de emular la MLD, las pesquisas obtenidas al momento, principalmente en el estudio directo con la población escolar, infieren que si es posible estimular las funciones biológicas circadianas; sin embargo, en este punto en especial, es preciso señalar que los estudios realizados fueron exploratorios, toda vez que se observó en la población estudiada infantil, ciertos comportamientos que evidenciaron los cambios provocados por el *dispositivo de iluminación circadiana*©. Las respuestas podrían señalar que se logró confort lumínico circadiano entre los estudiantes que participaron.

Una más de las hipótesis señalaba que: Si era posible desarrollar un dispositivo de iluminación basado en la caracterización de la MLD entonces, se podría emular las principales transiciones lumínicas diurnas en un espacio de actividades humanas.

La integración de tecnologías lumínicas de tipo LED y un control electrónico domotizado, dieron paso a la solución en el diseño del dispositivo de iluminación final. Mismo que fue validado y evaluado al momento de emular las principales transiciones lumínicas diurnas; fue instalado y puesto en marcha en un espacio planeado de una actividad humana escolar; sin embargo, se propone a mediano plazo, su implementación y estudio en una serie de espacios diferentes que correspondan a distintas actividades humanas.

Finalmente, se asumía en otra hipótesis que: si era posible poner en juego los tres aspectos para una actividad humana, entonces se podrá mostrar la escala mínima de una red de investigación en *iluminación circadiana domotizada*©.

La Red quedó integrada por tres dimensiones básicas, iluminación, circadianismo y domótica, que, al ser puestas en juego, permitieron la puesta en

marcha y la experimentación para una actividad escolar, mostrando la escala mínima de la red de investigación en *iluminación circadiana domotizada*©.

La forma de dar término al presente trabajo, queda enmarcado en cuatro principales fundamentos de la investigación. En primer lugar, se muestra un listado de las aportaciones cognitivas derivadas de la investigación. En segundo lugar, se presenta un listado de resultados en la investigación aplicada, que se abordaron en la presente investigación. En tercer lugar, se alude al argumento de investigación de frontera que abre luz a una serie de posibles investigaciones futuras

Aportaciones Teóricas

- Diseño de una ruta para el entendimiento y desarrollo del aspecto lumínico natural y artificial
- Diseño de una ruta para el entendimiento y desarrollo del aspecto circadiano
- Diseño de una ruta para el entendimiento y desarrollo del aspecto Domótico
- Diseño de una red heterogénea en *iluminación circadiana domotizada*©

Aportaciones Metodológicas

- Método para la construcción de una red de investigación en IDC
- Método para la puesta en marcha de una red de investigación en IDC

Aportaciones Conceptuales

- Red heterogénea de investigación en iluminación circadiana domotizada
- Sensor fototrópico©
- Emulación de la MLD
- Marcha lumínica diaria© (MLD)
- Iluminación circadiana domotizada© (ICD)
- Dimensiones de la Red heterogénea
- Dispositivo de iluminación circadiana.

Aportaciones Tecnológicas

- Sensor fototrópico©
- Dispositivo de iluminación circadiana ©
- Luminaria dinámica

Investigación aplicada

- Se obtuvieron pesquisas sobre la observación del fenómeno de la iluminación natural, en la forma ortodoxa y también mediante el diseño de un *sensor fototrópico*®, esto permitió su observación analítica diferente. Toma de datos de la exposición luminosa diaria real en un punto geográfico, procesamiento y caracterización de la *marcha lumínica diaria*® (MLD).
- Se obtuvieron pesquisas sobre la influencia que existe entre los cambios de la MLD y la sincronización del ritmo circadiano en el ser humano; considerando a la iluminación natural, como el principal medio de sincronización del reloj biológico y, por lo tanto, el soporte fundamental para diseñar dispositivos de iluminación emuladores de la MLD
- Se obtuvieron pesquisas sobre la emulación de la MLD en un espacio construido mediante el diseño de una luminaria capaz de replicar sus principales factores, para ello, el diseño, integración y aplicación de software y hardware, capaz de emitir instrucciones para la emulación de la MLD en el dispositivo de iluminación adaptable a los espacios arquitectónicos convencionales
- Pesquisas sobre la implementación y uso de luminarias circadianas en un espacio escolar como caso práctico de estudio e indagación de aspectos ergonómicos y de confort asociados a la intervención lumínica domotizada sobre una población muestra.

Investigación de frontera

Las áreas del conocimiento que han compuesto esta investigación, son referentes continuos en sus campos respectivos. En el presente trabajo, se ha mostrado, la forma en que, el Diseño, como una disciplina, ha hecho acopio de conocimientos, integrando sus avances más recientes de cada especialidad y dando solución a sus problemas abordados. Creando y produciendo aspectos del conocimiento aún no abordados con anterioridad desde la perspectiva de Red heterogénea.

En el cierre del presente trabajo de investigación hemos visualizado la importancia que tendrá en un futuro inmediato poder continuar con las pesquisas reticulares que mostramos con anterioridad, de igual manera, esperamos que las investigaciones que hemos iniciado y mostrado, inspiren a otros investigadores a continuar con esta línea de trabajo, no solo desde el diseño, es importante asumirlo como RED y en este sentido, desde múltiples áreas del conocimiento.

Como se pudo ver en los capítulos 3, 4 y 5, se llevó a cabo una serie de etapas de la investigación que, de igual manera, se convirtieron en nodos codependientes unos de los otros basados en la Red, ya que, del primero al último, proporcionaban información imprescindible para continuar con la siguiente etapa de la investigación.⁶⁹

La investigación no quedó concluida, tampoco significa que lo presentado sea el camino final de la investigación, por el contrario, es una Red que se puede abordar desde cualquier dimensión de la ICD. En cierto modo, lo que representa esta investigación, es un ejemplo diseñístico de la puesta en marcha de la Red en ICD, es una muestra de lo que se puede hacer con esta metodología y con este acercamiento desde la episteme de red heterogénea de investigación en iluminación circadiana domotizada y los alcances que se pueden lograr con ella.

En este trabajo se presentó el diseño de una red heterogénea de investigaciones naturalísticas, tecnológicas y humanas sobre *iluminación circadiana domotizada*© y, el diseño, elaboración y aplicación de diversas pesquisas instrumentales, así como, adaptaciones al entorno luminoso en actividades humanas.

Como resultado del diseño de la red, se generó otra declinación del diseño investigativo, mismo que pasó por aspectos específicos de diseño de: 1. pesquisas

⁶⁹ En el capítulo 3, se formó la caracterización de la MLD que sería ocupada posteriormente en el capítulo 4 para el diseño y control del dispositivo de iluminación circadiana, sólo de esta manera, pudo construirse un sistema de iluminación capaz de emular la MLD. Toda vez que se contó con el dispositivo de iluminación y solo así, fue que se pudo realizar el experimento narrado en el capítulo 5, en donde se puso en marcha a la red heterogénea de investigación para ejemplificar solo una de las muchas posibilidades investigativas de la red.

sobre la observación del fenómeno natural de la iluminación, mediante el diseño de instrumental avanzado para su observación analítica denominado *sensor fototrópico*®, toma de datos de la exposición luminosa diaria real en un punto geográfico, procesamiento y caracterización de la *marcha lumínica diaria*®⁷⁰ (MLD). Estos aspectos fueron desarrollados en la perspectiva de fundamentar las siguientes dos dimensiones. 2. Pesquisas sobre la influencia que existe entre los cambios de la MLD y la sincronización del ritmo circadiano en el ser humano; considerando a la iluminación natural, como el principal medio de sincronización del reloj biológico y, por lo tanto, el soporte fundamental para diseñar dispositivos de iluminación emuladores de la MLD. Estos aspectos fueron tratados de manera relacional con las otras dos dimensiones de la red: por un lado, tomando la utilidad de los resultados de la MLD a la luz de las investigaciones neurobiológicas circadianas y; por otro lado, fundamentar la idea circadiana del vínculo entre MLD y su emulación artificial. 3. Pesquisas sobre la emulación de la MLD en un espacio construido mediante el diseño de una luminaria capaz de replicar sus principales factores mediante el diseño, integración y aplicación de software y hardware, capaz de emitir instrucciones para la emulación de la MLD en el dispositivo de iluminación adaptable a los espacios arquitectónicos convencionales. Estos aspectos fueron desarrollados a partir de los resultados de las primeras dos dimensiones, mismos que se integraron en la propuesta de investigaciones de dispositivos de *iluminación circadiana doméstica*®. Finalmente. Las dimensiones anteriores se integraron en una propuesta de un dispositivo de (ICD) en un espacio escolar como estudio de caso, para investigar cambios en el desempeño de la reproducción colorimétrica del medio circundante, de escolares de educación básica en México; en el entendido que un buen desempeño colorimétrico sería un símbolo de confort lumínico. Además de lo anterior, en esta propuesta de dispositivo de ICD, se puso en juego las tres dimensiones heterogéneas y mostraron la escala mínima de una red de investigación de ICD. El dispositivo, puso en relación y retroalimentó cada una de las tres dimensiones, en el sentido que, respecto a la primera, fijó la MLD en un punto geográfico exacto; a la segunda, precisó los mejores lapsos horarios de cierta

⁷⁰ Marcha lumínica diaria® (MLD) Concepto desarrollado por Gabriel Rosete y Antonio Arellano (2018) que se refiere a la naturaleza de la transición lumínica diurna que da inicio en el amanecer, pasando por el día y finaliza al anochecer.

actividad humana y a la tercera mejoró la integración reticular de la propuesta de iluminación emulada.

GLOSARIO

Sensor fototrópico©: Concepto construido por Dr. Antonio Arellano Hernández (2018), refiriéndose al funcionamiento de la maquina diseñada durante la presente investigación, toda vez que usa como referencia el fototropismo que es la respuesta de algunas plantas al estímulo causado por una fuente de luz. Este instrumento automatizado de observación de la MLD fue diseñado bajo las condiciones de lectura lumínica que se requirió para la presente investigación y tiene la particularidad de buscar de manera dinámica, la fuente lumínica preponderante y seguirla a rodo momento; por lo que, la integración de sus sensores, le permite tomar una lectura lumínica de alta precisión.

Emulación de la MLD: entiéndase emulación de la MLD como el acercamiento en términos técnicos, o a la aproximación de la reproducción artificializada de las transiciones lumínicas que se pueden caracterizar en el fenómeno natural diurno

Marcha lumínica diaria© (MLD): Concepto desarrollado por Gabriel Rosete y Antonio Arellano (2018) que se refiere a la naturaleza de la transición lumínica diurna que da inicio en el amanecer, pasando por el día y finaliza al anochecer. Cave señalar que, para la presente investigación, esta marcha se consideró únicamente en el recorrido de día, iniciando a partir de una lectura ascendente de 3 lux antes del amanecer, todas las transiciones lumínicas del recorrido del día y hasta pasado el anochecer a la lectura descendente de 3 luxes. El ciclo nocturno fue omitido. Para futuras investigaciones será imprescindible considerar el estudio lumínico nocturno.

Iluminación circadiana domotizada© (ICD) Concepto desarrollado por Gabriel Rosete y Antonio Arellano (2018) que alude al conjunto de elementos que componen una luminaria artificializada con la capacidad de emular los cambios lumínicos de la iluminación natural circadiana.

Dispositivo de iluminación circadiana©. Concepto desarrollado por Gabriel Rosete y Antonio Arellano. Este término fue diseñado para la presente investigación en el interés de nombrar de manera técnica al objeto compuesto por un software y un hardware, especializado en emular la MLD por medios artificializados.

©. Símbolo que se adjunta a una categoría o concepto desarrollados para la presente investigación y de la cual se reclama su autoría.

Dispositivo. Entiéndase **dispositivo** como la integración de las dimensiones de la red heterogénea de investigación en *iluminación circadiana domotizada*© (ICD) aplicada a espacios construidos para funciones específicas de actividades humanas.

TRABAJOS CITADOS

- Alvarenga, R. d. (2016). *Análise teórico-experimental de estruturas compostas de pórticos de aço preenchidos com alvenaria de concreto celular autoclavado*. São Carlos: Theses and Dissertations.
- Álvarez, J. E. (17 de 9 de 2019). <https://smart-lighting.es/estudio-luz-circadiana-alerta-trabajadoresoficinas/>.
- Aoki, K. (2017). Circadian rhythm of brain activity estimated using visual synchronization tasks: relations between brain activity and living activity. *ACM Digital library*.
- Arellano, A. (1999) La producción social de los objetos técnicos agrícolas: antropología de la hibridación del maíz y de los agricultores de los valles altos de México. UAEM, México
- Arellano, A. (2004). Redes Socio-Técnicas: la visión de la cienciometría. Jornadas Latinoamericanas de Estudios Sociales.
- Arellano, A (2011). Tramas de redes sociotécnicas. Conocimiento, Técnica y Sociedad en México. Ed. Porrúa-UAEM. México.
- Arellano A. (2011b). “¿Es posible una epistemología política que solucione la asimetría entre naturaleza absolutizada y política relativizada?”. Siglo del Hombre Editores, Colombia. 57-98pp.
- Arellano, H. (2015b). ¿Puede la noción foucaultiana de dispositivos ayudarnos a eludir los resabios estructuralistas de la TA-R para avanzar en el estudio de la investigación tecnocientífica? *Redes*, 41-74.
- Bhadra, U. (2017). Evolution of circadian rhythms: from bacteria to human. *Sleep Medicine* .
- Boyce, P. (2003). The benefits of daylight through windows. *Lighting Research Center*.
- Bullough, J. D. (2017). HUMAN FACTORS IMPACTS OF LIGHT EMITTING DIODE AIRFIELD LIGHTING. *Bullough*.
- Cetina, C. (2009). Using Variability Models for Developing Self-configuring Pervasive Systems. *IEEE Explore*, 37 - 43.
- Chunhui, Z. (2002). Sistema de calefacción y tecnología de ahorro de energía de baja temperatura, agua hidrotermal, panel de piso, radiación. *CHKI*, 1(16), 836- 862.
- Colwell, c. (2015). *Circadian Medicine*. California: Wiley blackwell.
- Council, T. (2013). Lamp inventors 1880-1940, carbon filament incandescent. *Lighting A Revolution*.
- Dean, C. (1994). *USA Patente nº US5541585A*.
- Denissen, J. (2008). The effects of weather on daily mood: A multilevel approach. *Emotion*, 662-667.
- Dolsen, M. R. (2018). Sleep, Circadian Rhythms, and Risk Across Health Domains in Adolescents With an Evening Circadian Preference. *Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology*.
- Emens, J. (2017). Circadian Rhythms: The Price of Electric Light. *Ciencedirect*, 144-145.

- Espinoza, M. C. (2014). *Metodología de investigación tecnológica*. Huancayo, Perú: Soluciones Gráficas S.A.C.
- Ferrarin, P. L. (2017). Pilot Test of a New Personal Health System Integrating Environmental and Wearable Sensors for Telemonitoring and Care of Elderly People at Home. *SMARTA Project*, 6.
- Fokkema, T. (2015). Big Cities, Big Problems: Reason for the Elderly to Move? En *Urban Studies* (págs. 223 - 248). Amsterdam: Sage Publications Ltd.
- Folkard, S. (2003). Shift work, safety and productivity. *occupational medicine*, 95-101.
- Georgios, T. (2017). Circadian adjusted LED-based lighting design to improve well-being of elderly people: The LighTel project. *Danish National*.
- Givoni B, A. (1976). *Man, Climate and Architecture. Architectural Science Serves*. London: Publishers. Ltd. .
- Gooley, j. (2015). Spectral responses of the human circadian system depend on the irradiance. *NCBI*.
- Gooley, J. (2017). Light Resetting and Entrainment of Human Circadian Rhythms. *Springer*, 297-313.
- Gribben, J. (2004). The Scientists; A History of Science Told Through the Lives of Its Greatest Inventors. *Random house*, 424-432.
- Harper, R. (2003). *Inside the Smart Home: Ideas, Possibilities and Methods*. Bristol UK: Springer.
- Harvell, C. D. (2019). Climate Warming and Disease Risks for Terrestrial and Marine Biota. *science*, 296, 2158-2162.
- Heschong, L. (2003). Windows and offices: A study of office worker performance and the indoor environment. *Heschong Mahone Group*, Report 500-03-082-A-9.
- Hewitt, P. (2004). *Física conceptual*. México: Editorial Pearson Education.
- Hoof J, V. (2012). Light therapy: Methodological issues from an engineering perspective. *Technology and Health Care*, 11–23.
- Hughes. (1983). *Networks of Power: Electric supply systems in the US, England and Germany*. Baltimore: Johns Hopkins University.
- inst:al. (10 de 8 de 2019). <https://installmagazine.com.mx/crestron-facilita-el-control-de-iluminacioncircadiano/>.
- Izard, J. L. (1980). *Arquitectura Bioclimática*. Barcelona: Edit Gili.
- Jiménez. (2017). 45% de la población en México tiene mala calidad de sueño. *UNAM. Mexico: Dirección General de Comunicación Social*.
- Kunz, D. (20 de marzo de 2017). *CLINICAL STUDY CONFIRMS BIOLOGICAL (MELANOPIC) EFFECTIVENESS OF LIGHT OF THE LUCTRA@ DESK LAMPS*. Obtenido de <http://www.luctra.eu/english/study.html>: <http://www.luctra.eu/english/study.html>
- Latour, B. (1983). Dadme un laboratorio y levantaré el Mundo. *Science Observed*, 141-170.
- Leeming, R. (2017). Moscow Metro gets facelift and circadian LED upgrade. *LUX*.

- Mariana, F. (2017). Disruption of Circadian Rhythms by Light During Day and Night. *Springer*, 76-84.
- Mark, R. (2009). Phase advancing the human circadian clock with blue-enriched polychromatic light. *Elsevier*, 287-297.
- Marquezan, M. (2017). Temporomandibular disorder treatment in a patient wearing removable prostheses: A case report. *The Journal of Craniomandibular & Sleep Practice*.
- MBC, A. (2005). Human lighting demands – Healthy. *the Netherlands*.
- Meythaler, G. (2017). Estudio de las condiciones de confort como requerimientos técnicos en la implementación de los Estudios. *Repositorio UTA*.
- Micic, G. (2016). Personality differences in patients with delayed sleep–wake phase disorder and non-24-h sleep–wake rhythm disorder relative to healthy sleepers. *Elsevier*, 128-135.
- Milz, E. (2017). LED Lighting And Circadian Rhythm. *facility executive*.
- Miranda, M. (2010). La obesidad y la regulacion del reloj circadiano. *ciencias*, 2.
- Montes, C. E. (2014). *Metodología de*. Huancayo, Perú: Soluciones Gráficas S.A.C.
- Nakamura, S. (1994). Candela-Class High-Brightness InGaN/AlGaN Double-Heterostructure Blue-LightEmitting-Diodes. *Letras de Física Aplicada*.
- O'Reilly, S. (2017). 04.22 Circadian clock and fibrosis. *BMJ Journals*.
- Paot. (2018). *Reglamento publicado en Gaceta Oficial del Distrito Federal*,. México: PAOT.
- Paranjpe, D. A. (2005). Evolution of temporal order in living organisms. *Circadian Rhythms*.
- Pattini. (2005). ESTUDIANDO A LA LUZ DE LA ENERGÍA SOLAR. ESCUELAS CON ILUMIANCIÓN NATURAL EN SUS ESPACIOS INTERIORES PARA OPTIMIZAR LA CALIDAD AMBIENTAL Y EL AHORRO DE ENERGÍA. *MEGALUZ*, 58.
- Pattini, A. (2007). EVALUACION SUBJETIVA DE AMBIENTE LUMÍNICO DE AULAS DE ESCUELAS. BIOCLIMATICAS EN LA PROVINCIA DE MENDOZA. *AVANCES EN ENERGIAS RENOVABLES Y MEDIO AMBIENTE*, 9-9.
- Peek, c. B. (2017). Circadian Clock Interaction with HIF1 α Mediates Oxygenic Metabolism and Anaerobic Glycolysis in Skeletal Muscle. *Cell Metabolism*, 86-92.
- Price, D. (1995). Energy and human evolution. *Population and Environment*, 301.
- Ramírez, A. (22 de Mayo de 2017). *Tendencias tecnológicas en controles de iluminación*. Obtenido de <https://imei.org.mx>: <https://imei.org.mx/2017/06/14/tendencias-tecnologicas-en-controles-deiluminacion/>
- Ramírez, J. (2014). RITMOS CIRCADIANOS Y RESPUESTA INMUNE. *comiteta*, 305-319.
- Rea, M. S. (1993). *Lighting Handbook: Reference & Application*. Nueva York: ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA//LIGHTING .
- Rober, J. (1999). *Física: la naturaleza de las cosas*. México DF: International Thomson Editores.

- Roelof, A. H. (2008). Photic Sensitivity Ranges of Hamster Pupillary and Circadian Phase Responses Do Not Overlap. *Journal of Biological Rhythms*, V 23, Issue 1.
- Roenneberg, T. (2007). Epidemiology of the human circadian clock. *Sleep Medicine Reviews*, 429 - 438.
- Simon, F. (2016). Shift work, safety and productivity. *Occupational Medicine*, 95-101.
- Smolensky, M. (2001). Circadian rhythms and clinical medicine with applications to hypertension. *American journal of hypertension*, 280-290.
- Sophos. (29 de marzo de 2017). *Obtenido de Haunted House makes the CeBIT rock*. Obtenido de <https://www.sophos-events.com/smarthome/en/news.cfm>
- Stone, L. (2007). Genes, Culture, And Human Evolution: A Synthesis. *Blackwell Publishing*, 33.
- Tang, S. (2016). Control architecture using sensors onboard a mobile computing system. *Sciencedirect*, 368376.
- tecnohotelnews. (5 de mayo de 2019). <https://www.tecnohotelnews.com/2019/05/intercontinentaliluminacion-circadiana/>.
- Torre, L. (2014). Resúmenes del V encuentro nacional de medicina del dormir. *Trabajos libres, Medicina del dormir*, págs. 204-214.
- Uzzell, D. (2017). Global Challenges for Environmental Psychology: The Place of Labor and Production. *Springer*, 559-574.
- Vargas, F. M. (2006). *METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE SISTEMAS*. Mexico: IPN, UPICSA.
- Vitromart. (10 de 08 de 2020). *Vitromart*. Obtenido de <http://www.vitromart.net/folleto.html>
- WalaLight. (18 de enero de 2017). WalaLight Breaks LED Light Barrier for Circadian Rhythm Wellness. *Boca Raton*.
- Wang, Q. (2017). Influence of color temperature on comfort and preference for LED indoor lighting. *Elsevier*, 21-29.
- Watson, D. (2000). Mood and Temperament. *The Guilford Press*.
- WHO. (1946). Preamble to the Constitution of the World Health. *Organization as adopted by the International*.
- Wilkins, A. (2016). A physiological basis for visual discomfort: Application in lighting design. *The society of light and lighting*, 44-54.
- Wolff, C. (2014). *Estrategias, sistemas y tecnologías para el uso de luz natural y su aplicación en la rehabilitación de edificios históricos*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Wright, M. (2015). GE Lighting and Lighting Science Group unveil LED circadian lamps. *LEDs Magazine*.