



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES

**CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS QUE PRESENTA CHRISTIAN JESÚS CASTRO FIGUEROA PARA
OPTAR POR EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERIA CIVIL CON
ESPECIALIDAD EN AMBIENTAL**

***“ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA LUMÍNICA REQUERIDA POR EL CÓDIGO
MUNICIPAL DE AGUASCALIENTES Y COMPARATIVA CON CERTIFICACIONES
DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE”***

TUTOR
M. en IA. Ma. Guadalupe Lira Peralta

ASESOR
Dr. Miguel Ángel Soto Zamora

Aguascalientes, Ags. 18 de junio de 2021

**Dr. En C.T.C. Héctor Homero Posada
DECANO (A) DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN**

PRESENTE

Por medio del presente como **Miembros del Comité Tutorial** designado del estudiante **CHRISTIAN JESÚS CASTRO FIGUEROA** con ID **178766** quien realizó la tesis titulado: **ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA LUMÍNICA REQUERIDA POR EL CÓDIGO MUNICIPAL DE AGUASCALIENTES Y COMPARATIVA CON CERTIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia damos nuestro consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que nos permitimos emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que él pueda proceder a imprimir la así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Ponemos lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, le enviamos un cordial saludo.

ATENTAMENTE
“Se Lumen Proferre”

Aguascalientes, Ags., a 18 de junio de 2021.



M. en IA. Ma. Guadalupe Lira Peralta
Tutor de tesis



Dr. Miguel Ángel Soto Zamora
Asesor de tesis

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado



DICTAMEN DE LIBERACIÓN ACADÉMICA PARA INICIAR LOS TRÁMITES DEL EXAMEN DE GRADO



Fecha de dictaminación dd/mm/aaaa: _____

NOMBRE: CHRISTIAN JESÚS CASTRO FIGUEROA **ID** 178766

PROGRAMA: Maestría en Ingeniería Civil **LGAC (del posgrado):** ESTRUCTURAS Y CONSTRUCCIÓN

TIPO DE TRABAJO: () Tesis () Trabajo Práctico

TÍTULO: Análisis de la eficiencia lumínica requerida por el código municipal de Aguascalientes y comparativa con certificaciones de construcción sustentable.

IMPACTO SOCIAL (señalar el impacto logrado): La demostración de la existencia de metodologías con la capacidad de mejorar los lineamientos marcados por el código municipal de Aguascalientes en el apartado de iluminación.

INDICAR SI NO N.A. (NO APLICA) SEGÚN CORRESPONDA:

	SI	NO	N.A. (NO APLICA)	SEGÚN	CORRESPONDA:
<i>Elementos para la revisión académica del trabajo de tesis o trabajo práctico:</i>					
SI					El trabajo es congruente con las LGAC del programa de posgrado
NO					La problemática fue abordada desde un enfoque multidisciplinario
SI					Existe coherencia, continuidad y orden lógico del tema central con cada apartado
SI					Los resultados del trabajo dan respuesta a las preguntas de investigación o a la problemática que aborda
SI					Los resultados presentados en el trabajo son de gran relevancia científica, tecnológica o profesional según el área
SI					El trabajo demuestra más de una aportación original al conocimiento de su área
NO					Las aportaciones responden a los problemas prioritarios del país
NO					Generó transferencia del conocimiento o tecnológica
SI					Cumple con la ética para la investigación (reporte de la herramienta antiplagio)
<i>El egresado cumple con lo siguiente:</i>					
SI					Cumple con lo señalado por el Reglamento General de Docencia
SI					Cumple con los requisitos señalados en el plan de estudios (créditos curriculares, optativos, actividades complementarias, estanda, predoctoral, etc)
SI					Cuenta con los votos aprobatorios del comité tutorial, en caso de los posgrados profesionales si tiene solo tutor podrá liberar solo el tutor
NO					Cuenta con la carta de satisfacción del Usuario
SI					Coincide con el título y objetivo registrado
SI					Tiene congruencia con cuerpos académicos
SI					Tiene el CVU del Conacyt actualizado
NO					Tiene el artículo aceptado o publicado y cumple con los requisitos Institucionales (en caso que proceda)
<i>En caso de Tesis por artículos científicos publicados</i>					
N.A.					Aceptación o Publicación de los artículos según el nivel del programa
N.A.					El estudiante es el primer autor
N.A.					El autor de correspondencia es el Tutor del Núcleo Académico Básico
N.A.					En los artículos se ven reflejados los objetivos de la tesis, ya que son producto de este trabajo de investigación.
N.A.					Los artículos integran los capítulos de la tesis y se presentan en el idioma en que fueron publicados
N.A.					La aceptación o publicación de los artículos en revistas indexadas de alto impacto

Con base a estos criterios, se autoriza se continúen con los trámites de titulación y programación del examen de grado: SI No

FIRMAS

Elaboró:

* NOMBRE Y FIRMA DEL CONSEJERO SEGÚN LA LGAC DE ADSCRIPCIÓN:

DR. MIGUEL ÁNGEL SOTO ZAMORA

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO TÉCNICO:

Dr. Martín Hernández Marín

DR. MARTÍN HERNÁNDEZ MARÍN

* En caso de conflicto de intereses, firmará un revisor miembro del NAB de la LGAC correspondiente distinto al tutor a miembro del comité tutorial, designado por el Decano

Revisó:

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO:

Dr. Alejandro Acosta Collazo

DR. ALEJANDRO ACOSTA COLLAZO

Autorizó:

NOMBRE Y FIRMA DEL DECANO:

Dr. en C. T. C. Héctor Homero Posada Ávila

DR. EN C. T. C. HÉCTOR HOMERO POSADA ÁVILA

Nota: procede el trámite para el Depto. de Apoyo al Posgrado

En cumplimiento con el Art. 105C del Reglamento General de Docencia que a la letra señala entre las funciones del Consejo Académico: ... Cuidar la eficiencia terminal del programa de posgrado y el Art. 105F las funciones del Secretario Técnico, llevar el seguimiento de los alumnos.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado durante el desarrollo de la investigación, así como apoyos recibidos para congresos y cursos para mi formación como maestro en ingeniería.

A la Universidad Autónoma de Aguascalientes por las herramientas otorgadas para mi desarrollo humano y profesional.

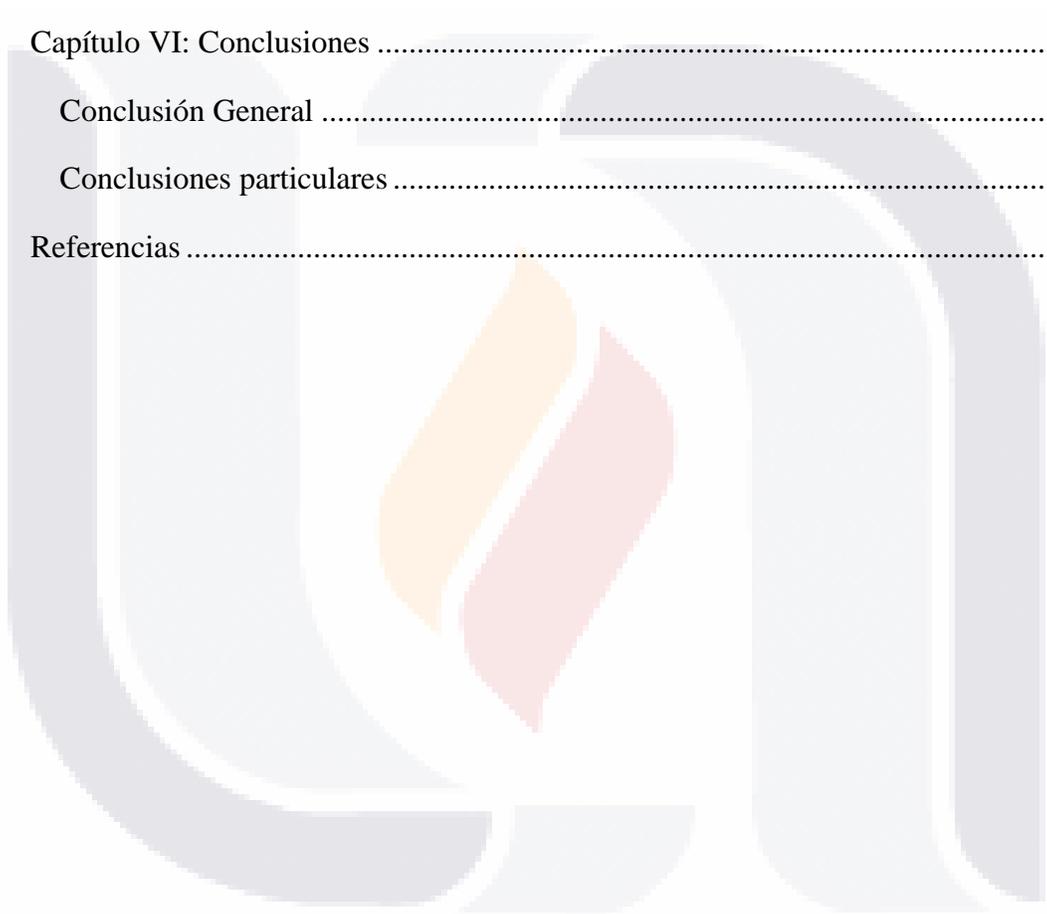


Índice

Índice	1
Acrónimos	4
Resumen	5
Abtract	6
Capítulo I: Introducción	7
Objetivo General.....	9
Objetivos Particulares	9
Alcance de la investigación	10
Justificación	10
Pregunta de investigación.....	10
Hipótesis	10
Metodología.....	10
Capítulo II: Estado del arte.....	12
Iluminación sustentable	12
Iluminación natural.....	13
Iluminación artificial.....	14
Certificaciones de construcción sustentable	15
Certificación LEED.....	15
Certificación BREEAM.	18
Certificación DGNB.....	20
ICARO.....	21
NMX-AA-164-SCFI-2013.	23
Código municipal de Aguascalientes.....	24
Capítulo III: Iluminación.....	25

Edificación.....	25
Ubicación.....	25
Orientación.....	25
Espacio.....	26
Uso de la edificación.....	27
Materiales.....	30
Usuarios.....	31
Confort lumínico.....	31
Aberturas de la edificación.....	34
Incidencia de la luz.....	34
Tipos de Cielos.....	35
Captación de luz natural.....	36
Sistemas de iluminación.....	38
Sistemas de iluminación natural.....	38
Sistemas de iluminación artificial.....	40
Capítulo IV: Comparativa de certificaciones de construcción sustentable en lineamientos de iluminación.....	43
LEED.....	43
BREEAM.....	45
DGNB.....	47
ICARO.....	47
Norma Mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013.....	50
Capítulo V: Discusión y resultados.....	52
Orientación.....	52
Materiales.....	53

Ventanas	54
Sistemas de iluminación	57
Volados.....	57
Repisas de luz.....	60
Pantallas de luz difusa	62
Louvers.....	65
Capítulo VI: Conclusiones	70
Conclusión General	70
Conclusiones particulares	70
Referencias	73



Acrónimos

ASE	:	Exposición anual a la luz solar
BRE	:	Building Research Establishment
BREEAM	:	Building Research Establishment Enviromental Assesment
Methodology		
CIBSE	:	Chartered Institution of Building Services Engineers
CEI	:	Comité Español de Iluminación
CIE	:	Comission International de l'Eclairage
DGNB	:	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
IDAE	:	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
LEED	:	Leadership in Energy and Enviromental Desing
ICARO	:	Iluminación, Aire, Calor, Ruido, Objetivos + opiniones
complementarias		
sDA	:	Autonomía espacial de la luz del día
UAA	:	Universidad Autónoma de Aguascalientes
UGR	:	Índice de Deslumbramiento Unificado
USGBC	:	United States Green Building Council

Resumen

El trabajo de investigación tiene el objetivo de presentar propuestas para mejorar los artículos que marcan los lineamientos mínimos requeridos por el código municipal de Aguascalientes, en cuanto a iluminación se refiere, mediante la revisión de las metodologías y/o procesos implementados por certificaciones de construcción sustentable. En el presente trabajo, se analizaron los manuales de 5 certificaciones (LEED, BREEAM, DGNB, ICARO y NMX-AA-164), el código municipal de Aguascalientes e investigaciones en temas de iluminación.

Las certificaciones de construcción sustentable tienen como objetivo aprovechar al máximo los recursos utilizados en una edificación desde el diseño, hasta el uso continuo de las instalaciones. Las prácticas para mejorar la iluminación buscan: aprovechamiento de la iluminación natural, confort de los usuarios y reducir costos de operación, además de que estos tengan la capacidad de adaptarse a nuevas tecnologías en el futuro.

Durante esta investigación la iluminación será vista desde dos ramificaciones principales, aprovechamiento de iluminación natural y confort lumínico, se analizan las variables que presenta cada uno de estos aspectos, con la finalidad de mejorar los lineamientos marcados en el código municipal de Aguascalientes, en cuanto a iluminación se refiere.

Iluminación, iluminación natural, certificaciones de construcción sustentable, sustentabilidad.

Abatract

The research work has the objective of presenting proposals to improve the articles that mark the minimum guidelines required by the Aguascalientes municipal code, in terms of lighting, by reviewing the methodologies and / or processes implemented by sustainable construction certifications. . In the present work, the manuals of 5 certifications (LEED, BREEAM, DGNB, ICARO and NMX-AA-164), the municipal code of Aguascalientes and research on lighting issues were analyzed.

Sustainable construction certifications aim to make the most of the resources used in a building from design to continuous use of the facilities. The practices to improve lighting seek: taking advantage of natural lighting, user comfort and reducing operating costs, as well as ensuring that they have the ability to adapt to new technologies in the future.

During this investigation, the lighting will be seen from two main branches, use of natural lighting and light comfort, the variables presented by each of these aspects are analyzed, in order to improve the guidelines set in the Aguascalientes municipal code, in terms of lighting is concerned.

Lighting, daylighting, sustainable construction certifications, sustainability.

Capítulo I: Introducción

Los “*edificios verdes*” han sido las primeras propuestas de la ingeniería para combatir los problemas que las nuevas construcciones o las renovaciones de éstas provocan al medio ambiente. Este es un término común para referirse a las construcciones amigables con el medio ambiente, tienen como finalidad: `

“(1) minimizar o eliminar los impactos en el medio ambiente, recursos naturales y fuentes de energía no renovables para promover la sostenibilidad del ambiente constructivo; (2) mejorar la salud, el bienestar y la productividad de los ocupantes y de toda la comunidad; (3) cultivar el desarrollo económico y la rentabilidad para los desarrolladores y para toda la comunidad y (4) aplicar la perspectiva del ciclo de vida en la planificación y desarrollo comunitario (Shaurette & Lung, 2018, parr. 8)”.

Para unificar esta práctica, en todo el mundo se han creado organismos responsables de analizar y validar, diferentes aspectos dentro de una obra civil, relacionados con la sustentabilidad y la sostenibilidad. Dichos organismos una vez recabada la información otorgan una certificación a cada proyecto.

De acuerdo a Mergold (2013), “Las certificaciones son voluntarias, tienen como objetivo aumentar y promover la utilización de estrategias que permitan una mejora global y sirven para proporcionar un estándar con el que comparar los niveles de diseño sostenible y eficiencia” (pág. 29)

Algunos de los principales organismos certificadores son:

- BREEAM, Inglaterra
- DGNB, Alemania.
- LEED, EUA.
- ICARO, España.
- NMX-AA-164-SCFI-2013, México.

En México la norma responsable de regular la construcción sustentable es la NMX-AA-164, en ella se describen los lineamientos mínimos necesarios para cumplir con un edificio sustentable, a diferencia de los organismos certificadores enlistados anteriormente, esta norma no otorga una certificación.

En el estado de Aguascalientes, el código municipal es el que rige las construcciones de obra civil, nuevas y remodelaciones, en él se tienen también los lineamientos mínimos para que el municipio otorgue el permiso de construcción, sin tener que ser necesariamente un edificio sustentable.

Tanto los organismos certificadores, la norma mexicana de construcción sustentable y el código municipal de Aguascalientes, contemplan apartados en los cuales la iluminación de los espacios es protagonista. Cada uno marca lineamientos diferentes, tomando en cuenta distintos factores, como lo pueden ser, el uso del espacio, la iluminancia en el espacio, la energía empleada para iluminar, aprovechamiento de la luz natural y el tipo de luminarias a utilizar en el diseño de la iluminación.

La sustentabilidad de la iluminación puede ser estudiada desde diversos puntos de vista: ahorro energético, eficiencia lumínica, confort térmico, bienestar de los usuarios e impacto a exteriores, la consideración de estos factores desde el diseño y su conjunción en la edificación es fundamental para la sustentabilidad.

El código municipal de Aguascalientes, no considera prácticas sustentables dentro de sus lineamientos de iluminación, solo marca los niveles de iluminación requeridos para cada tipo de espacio. Identificar metodologías que sean compatibles con la climatología y las tecnologías que se tienen en esta ciudad, pueden representar un aporte significativo para la capital del Estado.

A lo largo de este trabajo se estudiarán los lineamientos propuestos por los organismos certificadores LEED, BREEAM, DGNB, ICARO y la norma mexicana NMX-AA-164, para el desarrollo de diseños de iluminación sustentable, considerando las metodologías implementadas para la calificación de las edificaciones y una comparación entre los aspectos similares de cada una de las certificaciones. Además, proponer metodologías que se aplique dentro de las certificaciones que puedan ser utilizadas en la ciudad de Aguascalientes para mejorar el código municipal de Aguascalientes.

Objetivo General

Generar propuestas de mejora a los requerimientos de iluminación dictados en el código municipal de Aguascalientes mediante la comparación con los lineamientos de iluminación marcados por certificaciones de construcción sustentable (LEED, BREEAM, DGNB, ICARO y NMX-AA-164).

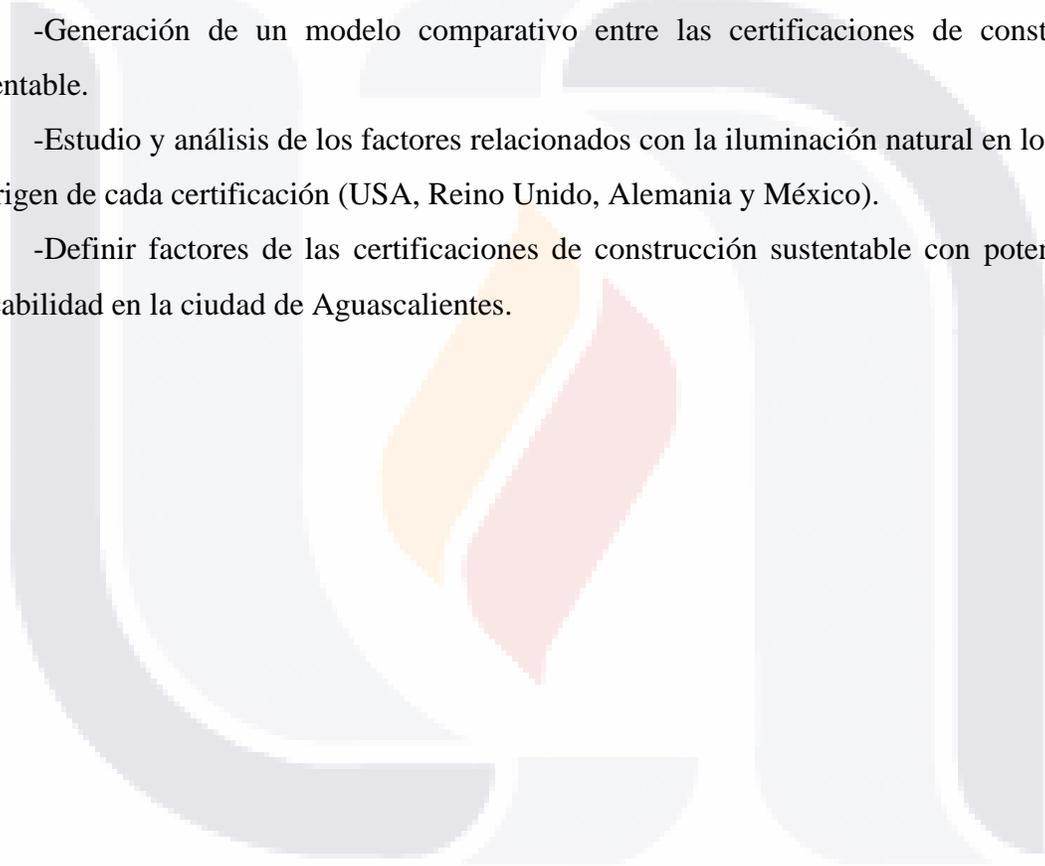
Objetivos Particulares

-Definir la calidad de la eficiencia lumínica mínima requerida por el código municipal de Aguascalientes, comparándolo con las certificaciones estudiadas.

-Generación de un modelo comparativo entre las certificaciones de construcción sustentable.

-Estudio y análisis de los factores relacionados con la iluminación natural en los países de origen de cada certificación (USA, Reino Unido, Alemania y México).

-Definir factores de las certificaciones de construcción sustentable con potencial de aplicabilidad en la ciudad de Aguascalientes.



Alcance de la investigación

Generar una comparativa entre los lineamientos requeridos por certificaciones de construcción sustentable para el diseño de la iluminación. Evaluando factores de aprovechamiento de iluminación natural y confort lumínico, para llegar a definir metodologías que puedan ser anexadas al código municipal de Aguascalientes.

Realizar modelos de una edificación evaluando las diversas variables de iluminación presentes en el código municipal de Aguascalientes y en las certificaciones de construcción sustentable para mostrar los resultados y el comportamiento del edificio en estudio una vez aplicadas las metodologías.

Justificación

Esta investigación se realiza con el propósito de aportar, al código municipal de Aguascalientes, metodologías y/o procesos dentro del diseño de iluminación, contempladas en certificaciones de construcción sustentable, para con ello introducir prácticas sustentables para el diseño y construcción de proyectos de iluminación. Debido a que en la actualidad no se contemplan medidas de sustentabilidad para el diseño de la iluminación en la ciudad de Aguascalientes.

Los resultados podrán presentar una propuesta, para ser tomado en cuenta para el diseño y la construcción de edificaciones futuras, ya que se conocería las variables con potencial de mejora que hoy día no se toman en cuenta en el código municipal de Aguascalientes.

Pregunta de investigación

¿Cuáles serán las mejoras que se pueden implementar en el código municipal de Aguascalientes en el apartado de iluminación?

Hipótesis

Es posible generar propuestas al código municipal de Aguascalientes para mejorar la eficiencia y el confort lumínico, teniendo como referencia la metodología implementada en los lineamientos marcados en certificaciones de construcción sustentable.

Metodología

Esta investigación partió de un análisis bibliográfico. Se planteo una búsqueda en diversas bases de datos, de la cual fueron compilados, artículos, libros, tesis y presentaciones en conferencias, de trabajos relativos a los temas de iluminación y certificaciones de construcción sustentable.

Se verificaron los lineamientos requeridos por las certificaciones LEED, BREEAM, DGNB, ICARO y NMX-AA-164, en los apartados que se considera la iluminación como aspecto de evaluación, para definir los elementos principales que forman parte del diseño de iluminación, para cada una de ellas.

Se definieron las variables de la investigación, siendo las variables dependientes la edificación, el espacio, los usuarios, las aberturas de la edificación y los sistemas de iluminación.

La investigación se desarrollará de manera experimental, utilizando un software de diseño de iluminación (DIALux evo) para conocer el comportamiento de cada una de las variables independientes, sobre la edificación. Analizando el comportamiento que tendrán de manera conjunta y cuando solo se considere una a la vez. Para ello, se modelará el edificio 43 de la Universidad autónoma de Aguascalientes.

Los datos obtenidos de las pruebas, se aplicarán bajo las condiciones de luz natural que se tienen en la ciudad de Aguascalientes, además de utilizar luminarias que se encuentren en el mercado local, para conocer el beneficio que con llevarían los aportes tomados de las certificaciones si fuesen parte del código municipal.

Capítulo II: Estado del arte

La incursión de la construcción sustentable alrededor del mundo ha generado el desarrollo de nuevas tecnologías para aprovechar cada vez más y de mejor manera los recursos naturales. La reducción en el consumo del agua, la optimización del uso energético, la mejora en la calidad del aire y buscar el bienestar de los usuarios son algunas de las prácticas más comunes dentro de los edificios verdes.

La iluminación representa una porción importante dentro del consumo energético de una edificación y, además, es un factor indispensable para el desarrollo de las actividades humanas, con lo cual es considerada en más de una de las practicas desarrolladas para la construcción sustentable; uso energético y bienestar de los usuarios.

Iluminación sustentable

El desarrollo de la iluminación sustentable tiene como objetivo el lograr diseños integrales, en el cual la sea prioridad el aprovechamiento de la iluminación natural y el diseño de la iluminación artificial funja como complemento de la primera, para lograr el confort y la eficiencia lumínica.

Las certificaciones de construcción sustentable ofrecen directrices para lograr lo anterior, por ejemplo, en la investigación desarrollada por (Sümengen, Ö; F., Uyan; A., Yener, 2017, págs. 38-52) en la cual se realiza una comparativa de los factores lumínicos entre las certificaciones LEED y BREEAM, se enlistan seis aspectos principales en los que se consideran los lineamientos marcados por ambos organismos para lograr la iluminación sustentable: aprovechamiento de la luz natural, control de deslumbramiento, niveles de iluminación en la edificación, sistemas de control de iluminación, reducción de la contaminación lumínica y el consumo de energía.

El caso de estudio es un centro comercial ubicado en Turquía a 38°38´ de latitud en el hemisferio norte, la distribución del espacio, constaba con 4 locales comerciales, 2 accesos cada uno con fachada y techo acristalados, área de comida. Cada espacio fue diseñado utilizando DIALUX y evaluado en los términos de los aspectos mencionados en BREEAM y LEED.

Los autores concluyen que ambas certificaciones utilizan solamente valores numéricos para la evaluación de la edificación, recomiendan el implementar criterios relacionados con las necesidades psicológicas y las necesidades del confort de los usuarios para evaluar correctamente los sistemas de iluminación.

En la investigación realizada por Carla Balocco y Giulia Volante, 2019, desarrollan una propuesta de iluminación sustentable para una antigua iglesia que reconvertirán en una biblioteca dentro de la facultad de ingeniería de la universidad de Florencia en Italia.

Definen la iluminación sustentable como un conjunto integrado de soluciones de calidad lumínica y eficiencia energética, refiriéndose al uso de fuentes de luz eficientes, para la combinación óptima entre la luz natural y artificial. Con la finalidad de lograr el bienestar visual humano, la calidad de percepción y la satisfacción de las tareas visuales requeridas en el espacio.

Determinaron un protocolo experimental para realizar conjuntos de medidas de iluminancia con un procedimiento que garantiza la repetición de las mediciones durante las horas de ocupación y uso de la futura biblioteca.

Los resultados experimentales obtenidos fueron analizados y comparados en relación con posibles operaciones de reacondicionamiento para la iluminación de la biblioteca, enfocando la sustentabilidad energética y la calidad de la luz, la calidad de la percepción y las condiciones de iluminación adecuadas para las tareas visuales.

La luz natural solo entra por las aberturas abovedadas colocadas en la parte más alta de los dos muros laterales de la iglesia, colocadas a una altura de 7.60 m del suelo, creando efectos de sombras poco deseables en la iluminación del espacio, por tanto, determinaron tomar todas las mediciones contemplando la iluminación artificial encendida en todo momento.

Los autores concluyen que el diseño de iluminación propuesto es sostenible porque apunta no solo a soluciones de calidad, eficiencia y eficacia (es decir, energía, medio ambiente, valor histórico e iluminación) sino, al mismo tiempo, la reconfiguración arquitectónica del espacio interno del edificio, que en esta investigación es una iglesia histórica convertida en biblioteca universitaria.

Iluminación natural.

La luz natural es un elemento básico para el diseño de sistemas de iluminación sustentable, la localización de la edificación, la climatología y la época del año, deben ser contempladas cuando se realicen diseños para su máximo aprovechamiento.

En la publicación realizada por Verso y Pellegrino (2015), se define a los sistemas de iluminación natural como multipropósito, que consta de aberturas, componentes de acristalamiento, componentes de sombreado y de redireccionamiento. Esta definición es aplicable para soluciones simples, como las ventanas tradicionales, para estructuras más innovadoras como

son ventanas con divisiones funcionales, también es aplicable para sistemas dedicados a la captación de luz natural desde el exterior y orientarla hacia el interior como ductos de luz, atrios, etc.

Además, se menciona que las principales funciones de los sistemas de iluminación natural son: permitir el acceso de luz natural, el control de los usuarios sobre sistemas que moderen la entrada de luz natural a la edificación, proporcionar vistas al exterior para que los usuarios estén en contacto con él, implementar sistemas de distribución de la luz natural en los espacios interiores.

La norma europea, mencionada en la certificación BREEAM propone 4 métodos de medición del aprovechamiento de la luz natural: provisión de la luz natural, evaluación de las vistas al exterior, exposición a luz del sol, protección contra el deslumbramiento.

Gutiérrez (2005), realizó un estudio para evaluar y mejorar la eficiencia de la iluminación natural en el interior de las aulas dedicadas al estudio en la universidad de Colima, proponiendo diversos sistemas de iluminación natural. El análisis de su estudio parte con las premisas de abolir el deslumbramiento en el local, alcanzar el confort de los usuarios respecto a la iluminación interior, lograr mejoras en la productividad y seleccionar un sistema de iluminación natural partiendo de la relación costo beneficio que implicaría su instalación.

Concluyó que los puntos incisivos para la elección de un modelo fueron el costo del dispositivo y el beneficio que aportan en ganancia de aprovechamiento de la luz disponible, en proporción con lo que se cuenta actualmente.

Iluminación artificial.

Pujols (2016), en su investigación, define que los sistemas de iluminación artificial se pueden clasificar según su función en: de acuerdo la dirección del flujo luminoso y dependiendo de la distribución del flujo luminoso (pág. 18).

La dirección del flujo luminoso puede definirse como, directa, indirecta o mixta. La dirección directa es cuando las luminarias se dirigen directamente a la superficie. Hablamos de flujo luminoso indirecto cuando este tiene obstrucciones antes de llegar a la superficie.

La distribución del flujo luminoso se clasifica en: sistemas uniformes, localizado y mixtos. Una distribución uniforme tiene el mismo nivel de iluminación (luxes) en toda la superficie, mientras que en un sistema de flujo luminoso localizado existen variaciones considerables en la superficie, debido a iluminaciones puntuales.

En su trabajo, Jozef Hraška (2018) dice, que los criterios de iluminación para desarrollar tareas en espacios interiores son basados en los niveles de iluminación (luxes) estandarizados para la iluminación artificial y se presenta el problema que estos niveles son demasiado bajos, comparado con la luz natural, para la estimulación biológica.

El diseño de la iluminación artificial ha ido evolucionando a lo largo del tiempo, con la incursión de la construcción sustentable se han implementado sistemas que aportan a esta práctica, desde la innovación en luminarias pasando por la incursión de sistemas de control de la iluminación hasta la utilización de energías renovables para el abastecimiento de energía.

Certificaciones de construcción sustentable

Los organismos certificadores de edificaciones sustentables han desarrollado lineamientos con los cuales realizan evaluaciones de las edificaciones y definen si estas llegan a ser o no sustentables. Cada una de las certificaciones a estudiar en este trabajo, fue desarrollada en países distintos, LEED (USA), BREEAM (Reino Unido), DGNB (Alemania), con lo cual las diferencias en sus requerimientos pueden adjudicarse tanto a su geografía, métodos constructivos y climatología.

A continuación, se presentan una breve introducción a cada una de las certificaciones a estudiar, y los apartados en los que la iluminación es considerada para aportar a la sustentabilidad de la edificación

Certificación LEED.

“LEED es administrado por el USGBC es una organización sin fines de lucro en la cual están representados todos los sectores de la industria, fundado en 1993” (Ferris, 2010, pág. 8). Esta certificación es la más reconocida para edificios sustentables en México, Latinoamérica y Estados Unidos. Los tipos de edificaciones que certifica LEED están agrupados en las siguientes categorías:

- LEED para nuevas construcciones

LA certificación para nuevas construcciones esta dirigida para todo edificio nuevo comercial pero no esta limitado a estos, dentro de este apartado LEED ha certificado, edificios de oficinas, residenciales, institucionales y laboratorios, entre otros.

- LEED para escuelas

Desarrolla los principios del diseño de la edificación sustentable, orientado a nuevas y existentes edificaciones que están destinadas a la educación en todos sus niveles.

- LEED para el núcleo y la estructura envolvente del edificio

Es un sistema diseñado para proporcionar un conjunto de estándares de desempeño para certificar los elementos de construcción presentes, la estructura de la edificación y los sistemas implementados en el edificio.

- LEED para el comercio

Esta vertiente de LEED se encamina directa a las edificaciones destinadas a albergar uno o varios comercios en sus interiores, exclusivamente. Se evalúan parámetros referentes a la experiencia de los clientes en el espacio interior y como mejorarlo con las metodologías de la certificación.

- LEED para diseño y construcción interior

Esta certificación permite a los constructores y/o diseñadores que no tienen el control sobre toda una edificación, implementar las metodologías LEED en sus locales interiores, con la finalidad de tener espacios sustentables

- LEED para edificios existentes: mantenimiento y operaciones

LEED con esta certificación pretende mejorar las operaciones del espacio interior de un edificio ya existente, con la finalidad de evitar la demolición. Las metodologías implementadas por LEED pretenden el desarrollo del edificio en busca de la sostenibilidad de este.

- LEED para el desarrollo de fraccionamientos

La certificación utiliza métodos urbanísticos para el desarrollo de nuevos fraccionamientos en el que el entorno sea sostenible y bien conectado con la urbanización existente.

Los criterios que utiliza la certificación LEED para calificar las edificaciones son los siguientes: Sitios Sustentables (SS), Ahorro de Agua (WE), Energía y atmosfera (EA), Materiales y Recursos (MR) y Calidad Ambiental de los interiores (IEQ). Existe una categoría adicional, que toma en cuenta cómo se desarrolla la construcción sustentable, Innovación del diseño (ID), esta no se incluye en ninguna de las cinco anteriores.

La iluminación es considerada por la certificación LEED en la mayoría de los criterios enlistados, exceptuando el apartado de Ahorro de agua. De acuerdo al manual de la certificación LEED (2019) los apartados en los que se evalúa la iluminación son los siguientes:

Sitios Sostenibles (SS).

El propósito de la categoría de Sitio Sostenible es fomentar prácticas de desarrollo que reduzcan impactos negativos sobre el ecosistema existente. Los puntos se otorgan a las prácticas que fomentan la conectividad a la infraestructura existente, la protección de la ecología y evitan el desarrollando en tierras ambientalmente sensibles. Muchos de los puntos en esta categoría se logran simplemente a través de la ubicación física del proyecto y, por lo tanto, es esencial prestar atención a la selección del sitio. Los aspectos que se toman en cuenta para la puntuación LEED en este apartado, respecto a iluminación son:

- Reducción de la contaminación lumínica
Reducir las consecuencias de la iluminación en la vida silvestre y en las personas.
- Plan maestro del proyecto
Garantizar que los beneficios sostenibles del proyecto continúen, aun cuando esté sufra cambios en el futuro.

Energía y Atmósfera (EA).

El propósito de la categoría Energía y Atmósfera es fomentar prácticas que reduzcan el consumo de energía y los gases de efecto invernadero resultantes que contribuyen al cambio climático global. Los edificios LEED pueden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero mediante la incorporación de técnicas que reducen la cantidad de energía requerida para la operación del edificio y el uso de fuentes de energía naturales como pueden ser: la energía solar y eólica. Para la puntuación LEED, la iluminación es parte de los siguientes puntos:

- Comisión fundamental y verificación.
Cumplir con los requisitos del proyecto en materia de energía, agua, calidad ambiental interior y durabilidad.
- Rendimiento mínimo de energía.
Reducir los problemas al medio ambiente reduciendo el uso de energía, con la finalidad de lograr la eficiencia energética del edificio y los sistemas implementados en el.
- Optimizar el rendimiento energético.
Implementar metodologías para aumentar los niveles de rendimiento energético más, además, de lo mencionado en el punto anterior para minimizar los problemas al medio ambientes causados por el uso excesivo de energía.

Materiales y Recursos (MR).

El propósito de la categoría de Materiales y Recursos es fomentar el uso de materiales y prácticas de abastecimiento amigables con el medio ambiente. Los puntos se otorgan por materiales reciclados y reutilizados, así como por el abastecimiento de proveedores locales. La iluminación aporta créditos para LEED en:

- Reducción del impacto del ciclo de vida del edificio.

Calidad ambiental de los interiores (EQ).

El propósito de la categoría de Calidad Ambiental de los Interiores es fomentar estrategias que promuevan la salud y el bienestar de los ocupantes del edificio. Estos créditos, significan, disminuir los contaminantes en el aire, acceso a la iluminación natural y brindar a los ocupantes de los edificios más control sobre la iluminación y el confort térmico. LEED evalúa la iluminación en los siguientes aspectos:

- Comodidad térmica.

Promover confort y bienestar, tomando en cuenta el uso del espacio interior, equipamiento y ocupantes en la edificación.

- Iluminación interior.

Promover confort y bienestar en cuanto a iluminación se refiere, tomando en cuenta la calidad de la iluminación y los sistemas de control sobre ella.

- Aprovechamiento de la luz natural.

Conectar a los ocupantes del edificio con el exterior, introduciendo la luz natural en los espacios, reduciendo el uso de energía eléctrica.

Certificación BREEAM.

BREEAM es el primer esquema de calificación de sostenibilidad, desarrollado por BRE, para el entorno construido y ha contribuido mucho al fuerte enfoque en el Reino Unido sobre sostenibilidad en el diseño, construcción y uso de edificios. BREEAM es ahora un estándar internacional que se adapta, opera y aplica localmente a través de una red de operadores internacionales, asesores y profesionales de la industria. A través de su aplicación y uso, BREEAM ayuda a los clientes a medir y reducir los impactos ambientales de sus edificios y, al hacerlo, crear un mayor valor de sus activos. Esta certificación divide a las certificaciones en 4 grupos:

- BREEAM Communities, para la planificación maestra de una comunidad más grande de edificios

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
- BREEAM New Construction, para edificios de nueva construcción, domésticos y no domésticos
 - BREEAM In-Use, para edificios no domésticos existentes en uso
 - BREEAM Refurbishment, para remodelaciones de edificios domésticos y no domésticos.

La certificación BREEAM para evaluar las edificaciones toma en cuenta 10 apartados, Administración del proyecto, Salud y bienestar, Energía, Transporte, Agua, Materiales, Residuos, Uso de suelo y Ecología, Contaminación e Innovación.

En los lineamientos marcados por BREEAM en su certificación de construcciones sustentable, la iluminación tiene implicación en dos apartados; Salud y bienestar y Energía. Los requerimientos se evalúan en cuanto a iluminación, de acuerdo con el manual técnico BREEAM (2016), se enlistan a continuación:

Salud y Bienestar.

Esta categoría fomenta el aumento de la comodidad, la salud y la seguridad de los usuarios, mejorando su la calidad de vida mediante la implementación de mejoras en los espacios interiores y exteriores de la edificación.

- Control de deslumbramiento.

Reducir los problemas asociado al deslumbramiento en las áreas ocupadas en interiores, contemplando en el diseño sistemas de protección contra el exceso de energía solar.

- Control térmico.

Proveer de sistemas de control de temperatura que permitan el ajuste independiente de sistemas de calefacción y refrigeración.

- Niveles de iluminación.

Asegurar el óptimo control visual para los ocupantes de la edificación, de acuerdo a los estándares europeos, dictados en EN 12464-1 Light and lighting - Lighting of workspaces, 2011.

- Control de luminarias.

Colocar sistemas que permitan a los ocupantes de la edificación controlarlos para satisfacer sus necesidades.

Energía.

BRE ha desarrollado un esquema para conocer la energía consumida por la edificación, de modo que quede claro cómo se puede mejorar el rendimiento de este. Consiste en evaluar el rendimiento de una serie de componentes consumidores de energía, para cada uno de ellos se tienen especificaciones particulares, se enlistan a continuación

- Iluminación.

Se considera para la evaluación, el tipo de lámparas instaladas en la edificación, así como los sistemas de control de iluminación. La puntuación máxima es otorgada cuando el 75% de las áreas es iluminada con luminarias LED con sistemas de control o con lámparas T5 con balastos de alta frecuencia.

Certificación DGNB.

El alcance del concepto de sostenibilidad del sistema DGNB es amplio y va más allá de los conocidos "Tres pilares" (sociedad, economía y medio ambiente) modelo. Cubre de manera integral todos los aspectos fundamentales de la construcción sostenible. Estos abarcan los siguientes seis temas: ecología, economía, aspectos socioculturales y funcionales, tecnología, procesos y sitio. Los primeros tres temas son ponderados igualmente en la evaluación. Esto hace que el sistema DGNB sea el único sistema que otorga la misma importancia tanto en el aspecto económico de la construcción sostenible como en los criterios ecológicos. Las cualidades que caen fuera del alcance del modelo "Tres pilares" tienen una función interdisciplinaria dentro del sistema DGNB y tienen diferentes ponderaciones. Los puntajes obtenidos en la evaluación siempre se basan en el ciclo de vida completo del edificio. DGNB divide las edificaciones como sigue:

- Existing buildings
- New Construction
- Interiors
- Districts

Para evaluar las edificaciones DGNB marca seis aspectos a evaluar: Calidad del ambiente, Uso de suelo, Calidad económica, Calidad funcional y sociocultural, Calidad técnica, Calidad del proceso y Calidad del sitio.

La certificación regida por DGNB contempla la iluminación dentro de los apartados de Calidad del ambiente y Calidad funcional y sociocultural. La evaluación de la iluminación de acuerdo a la certificación DGNB (2018), es dictaminada por los lineamientos siguientes:

Calidad funcional y sociocultural.

El objetivo de la categoría es ayudar a evaluar los edificios con respecto a la salud, la comodidad y la satisfacción del usuario, así como los aspectos esenciales de la funcionalidad.

- Confort térmico.

Garantizar el confort térmico durante el invierno y el verano, que sea apropiado para el uso previsto del edificio y proporcione el confort adecuado a los usuarios.

- Confort Visual.

Suministrar suficiente e ininterrumpidamente de luz natural y artificial en todas las áreas de uso constante. Generar el ahorro de energía con el aprovechamiento máximo de la luz natural.

- Control de los equipos por los usuarios.

Proveer a los usuarios de las mejores opciones para el control de las condiciones en el interior de la edificación, tales como: temperatura, luz solar, protección anti-deslumbramiento e iluminación.

Calidad Técnica.

DGNB dictamina que en esta categoría se proporciona una escala para evaluar la calidad técnica de las instalaciones de la edificación, respecto a los aspectos de sustentabilidad implementados.

- Uso e integración de tecnología en el edificio.

Incorporar fuentes de energía renovables para los sistemas técnicos requeridos y garantizar que la edificación se ajuste a las condiciones cambiante de uso o desarrollos técnico con el menor esfuerzo posible.

- Control de inmisiones.

Evitar impactos negativos en las personas y en la naturaleza debido al ruido y la luz de la edificación.

ICARO.

La metodología planteada por ICARO fue desarrollada entre los años 2003 y 2006, por Manuel Martín Monroy profesor en el departamento de Construcción Arquitectónica de la Universidad de las Palmas de Gran Canaria, como un proyecto de investigación.

El diseño de la iluminación natural es para ICARO el aspecto más condicionante dentro del diseño arquitectónico y constructivo en una edificación, esta metodología se divide en seis

apartados: Fundamento, Comodidad, Microclima, Proyecto luminoso, Construcción y Acondicionamiento. Los aspectos propuestos para cada uno de ellos son presentados por Monroy (2003) en el manual de iluminación ICARO:

Fundamentos.

Se presentan las propiedades básicas de la luz y su comportamiento físico, cuatro fundamentos son enlistados en este apartado: luz y calor, magnitudes de la luz, leyes de la luz y propiedades de la luz.

Comodidad.

Las características de la visión humana son consideradas en este apartado para definir las necesidades visuales de los usuarios de las edificaciones correspondiendo a las tareas que se desarrollen en cada zona.

Microclima luminoso.

Se analizan las variaciones que se pueden presentar en la iluminación natural, conforme cambian las épocas del año y si se considera el cielo despejado o cubierto, para con ello llegar a predecir la cantidad de luz natural que puede llegar hasta cada ventana.

Proyecto luminoso.

Tiene como objetivo conseguir los niveles adecuados de iluminación para cada área de la edificación, evitando que lleguen a tener incomodidad visual los usuarios. Para optimizar la penetración y distribución de la iluminación natural se toman en cuenta las propiedades constructivas y geométrica de las ventanas, el clima luminoso en el exterior y las superficies interiores.

Construcción.

Optimizar la iluminación en condiciones desfavorables, a primera y última hora del día, o bien, con alta nubosidad o en épocas invernales, mediante el diseño de sistemas de captación de luz natural. Además de proveer de sistemas de control para evitar el exceso de iluminación y/o de radiaciones caloríficas en días despejados.

Acondicionamiento.

Verificar los niveles y la uniformidad de la iluminación natural para realizar las correcciones necesarias o en su defecto, proveer de alumbrado artificial necesario. Diseñando ambos sistemas de iluminación tanto natural como artificial, con el objetivo de alcanzar el confort lumínico en los espacios.

El objetivo de ICARO es lograr un diseño ambiental integral, en el cual el aprovechamiento de la luz natural sea compatible con el confort térmico, acústico y la calidad del aire.

NMX-AA-164-SCFI-2013.

La norma mexicana de edificación sustentable fue publicada el 4 de septiembre de 2013 en el diario oficial de la federación, marca los requerimientos ambientales mínimos para que una edificación sea considerada como tal. Disminuir el impacto ambiental, el aprovechamiento de recursos naturales y la viabilidad de las obras son los principales objetivos de esta norma.

Dentro del apartado 5.2.2 Energía de la norma mexicana (2013) se enlista los lineamientos en cuanto a iluminación sustentable se refiere:

- 5.2.2.6 Las lámparas de uso general deben cumplir con las normas: NOM-017-ENER/SCFI-2008, la NOM-028-ENER-2010, NOM-064-SCFI-2000 y la NOM-025-STPS-2008
- 5.2.2.7 Las lámparas fluorescentes y compactas fluorescentes pueden estar equipadas con balastos de alta frecuencia o balastos electrónicos de alta frecuencia.
- 5.2.2.9 Referente a la eficiencia lumínica, se deben cumplir o superar los parámetros marcados en la norma NOM-017-ENER/SCFI.
- 5.2.2.13 Se marca la densidad máxima de Potencia Eléctrica (W/m^2), conforme al tipo de edificación y espacio correspondiente.
- 5.2.2.16 Cuando la edificación se encuentre en áreas de importancia para la biodiversidad, mitigar el impacto de la iluminación exterior, principalmente el provocado por la iluminación nocturna.
- 5.2.2.17 Se puede realizar el diseño considerando el aprovechamiento de iluminación natural, generando 250 luxes o más, medidos a 0.78m de altura sobre el piso y una distancia de 4 m con respecto de la fachada.

En México se tienen dos tipos de normativas, las que son publicadas como NMX que su cumplimiento no es obligatorio y las publicadas como NOM que son de cumplimiento obligatorio. La presente norma al ser NMX, es de aplicación voluntaria.

Código municipal de Aguascalientes

En el código municipal de Aguascalientes (2019), los requerimientos de iluminación están presentes en el título IV, capítulo VII, en los artículos del 720 al 724. Los aspectos que considera el código municipal son:

- Nivel de iluminación en luxes necesario para cada tipo de edificación.
- Deslumbramiento contra el exceso de iluminación.
- Proveer de sistemas de iluminación de emergencia a cada edificación para más de 200 concurrentes.

Diversos investigadores se han dado a la tarea de investigar las ventajas y/o desventajas, que se tienen al construir edificios sustentables o edificios verdes, para conocer la magnitud real del costo-beneficio que tiene estas obras de ingeniería.

Según una investigación realizada en el edificio centro Ático de Colombia (Ribero, Garzón, Alvarado, & Gasch, 2016) el tiempo que tomaría para recuperar la inversión necesaria para llevar a cabo las remodelaciones necesarias para llevar a dicho edificio a obtener una acreditación de construcción sustentable, sería de 10 años. Esta inversión produciría una reducción anual del 42.7% del uso del agua y hasta un 31.2% del gasto energético, después de este tiempo gracias a los ahorros inducidos, la inversión sería redituable.

“Los costos de operación de los edificios ecológicos pueden ser reducidos en un 8-9%, contemplando equipamientos y el uso de energía renovables mientras su valor se ve incrementado hasta en un 7.5%” (Mergold, 2013).

Capítulo III: Iluminación

Para definir la iluminación a lo largo de la investigación se consideraron cuatro factores primordiales; la edificación, el espacio interior, los usuarios, las aberturas de la edificación y los sistemas de iluminación.

Edificación

La ubicación y la orientación de la edificación, están dadas desde el inicio del proyecto, una vez definido el lugar donde se proyectará, la latitud en la que se lleve a cabo el proyecto marcará la disponibilidad de luz natural que se tendrá en los espacios interiores y la orientación dictará la dirección y la incidencia la luz que provenga desde el exterior.

Ubicación

El aprovechamiento de la luz natural está directamente conectado a la ubicación geográfica, la climatología y la época del año, en el lugar en el que se realice el diseño de iluminación. Para los análisis y modelos presentados en este trabajo de investigación se tomarán en cuenta el solsticio de invierno (21 de diciembre) y el solsticio de verano (21 de junio), el día más corto y el más largo del año, respectivamente, para poner en perspectiva las variaciones que se tienen en la aportación de iluminación natural dependiendo la inclinación del sol. La figura 1 muestra la trayectoria solar sobre un plano para cada uno de los solsticios.

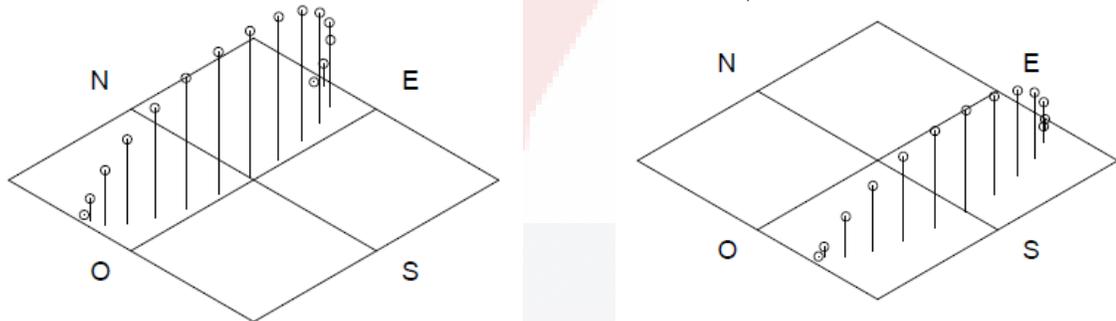


Figura 1. Trayectoria solar en la ciudad de Aguascalientes. (Izquierda: 21 de junio. Derecha: 21 de diciembre). Generados en Geosol V 2.0. Elaborado por el autor.

Orientación

Para logra la meta del aprovechamiento máximo de la iluminación natural, la orientación de la edificación es uno de los puntos principales a considerar, ya que como menciona Granados, 2016, la correcta orientación de la edificación influye significativamente en él.

Meza, 2015, en su trabajo de investigación, define los criterios generales para las orientaciones principales:

Orientación Norte:

La iluminación en esta dirección siempre es difusa, sin causar reflejos ni contrastes, los espacios de poco uso, uso nocturnos o necesidad de iluminación difusa, como: escaleras, despensas, garajes o recámaras, conviene instalarlos en esta dirección.

Orientación Sur:

Es la dirección con mayores horas de sol en invierno, conviene adecuar espacios de uso diurno y de uso continuado, como: comedores o pasillos. Al ser una iluminación con contrastes y reflejos, no es ideal para espacios de lectura u oficinas con ordenadores.

Orientación Este:

Las fachadas orientadas en esta dirección reciben más horas de sol en verano que en invierno. Conviene adaptar espacios como dormitorios o de uso matinal ya que reciben la luz de la mañana sin radiación directa excesiva.

Orientación Oeste:

En esta dirección la radiación directa incide en gran parte de la tarde en verano y menos en invierno. Debido a estas variaciones, es conveniente utilizar los espacios con unos de poca habitabilidad o de estancias muy cortas, como: baños o escaleras.

Espacio

Para el diseño de la iluminación en espacios interiores es necesario considerar las tareas que se llevarán a cabo en cada uno de los locales, el diseño debe estar en función de las necesidades que cada trabajo requiera, para ello, se considera un plano de trabajo que es la altura en la que se desarrollan las tareas visuales, por ejemplo, un banco de trabajo en un taller, un pupitre en una escuela, una camilla en un hospital.

Para ejemplificar la metodología implementada para los diseños de iluminación se decidió tomar como referencia un edificio de la UAA (figura 2), a lo largo del presente se evaluarán digitalmente las variables expuestas para estudiar el comportamiento que tiene su diseño frente a estas.



Figura 2. Modelo Edificio 43 Universidad Autónoma de Aguascalientes. Generado en DIALux evo 9.0. Elaborado por el autor.

Uso de la edificación

Para definir las necesidades lumínicas de un espacio, es importante definir tres conceptos: iluminancia, luxes y lumen. El primero se considera como el flujo luminoso que incide en un área determinada, se refiere a la cantidad de luz que se tiene en un espacio desde una fuente luminosa. De acuerdo con el Sistema Internacional de medidas los lúmenes (lm) se utilizan para medir el flujo de iluminación expedida por una fuente. Los luxes (lx) equivalen a un lumen/m², cuando la luz es emitida en un área determinada es posible calcular el nivel de iluminación que se tendrá en dicha zona.

Nivel de iluminación

Cada espacio en la edificación dispondrá de un nivel de iluminación suficiente para garantizar que la tarea visual a desempeñar en dicho espacio se puede realizar sin riesgo alguno para las personas. Niveles de iluminación altos serán necesarios en espacios donde se desarrollen tareas que requieran de gran detalle o alta precisión, para evitar la fatiga visual y reducir el riesgo de errores.

El código municipal de Aguascalientes en el título IV, capítulo VII, artículo 721 marca los niveles de iluminación mínimos de acuerdo con las tareas que se desarrollen en cada espacio (Tabla 1). Además, la NOM-025-STPS-2008 dicta los niveles mínimos de iluminación que deben incidir en el plano de trabajo, para cada tipo de tarea visual o área de trabajo.

Tabla 1. Niveles de iluminación requeridos por el código municipal de Aguascalientes.
Recuperado del código municipal de Aguascalientes.

NIVELES DE ILUMINACIÓN		
Tipo de edificación	Tipo de Local	Nivel de iluminación (Lx)
1.- Habitación	Circulaciones horizontales y verticales	50
2.- Servicios		
2.1.-Oficinas	Áreas y locales de trabajo	250
2.2.-Comercios		
Comercios	En general	250
	Naves de mercados	75
	Abasto de Almacenes	50
	Gasolineras áreas de trabajo	70
	Áreas de bombas	200
2.3.-Salud		
Clínicas y hospitales	Salas de espera	125
	Consultorios y salas de curación	300
	Salas de encamado	75
2.4.- Educación y Cultura		
	Aulas	250
	Talleres y laboratorios	300
	Naves de Templos	75
2.5.-Centros de formación		
	Salas de lectura	250
2.6.-Recreación		
	Entretenimiento salas de función	1
	Iluminación de emergencia	5
	Salas durante los intermedios	50
	Vestíbulos	150
2.7.-Alojamiento		
	Habitaciones	75
2.8.-Comunicaciones y transportes		
	Estacionamientos	30
3.-Industria		
Industrias	Áreas de trabajo	300
Almacenes y bodegas	Áreas de almacenamiento	50

Para el caso de aulas de estudio, como lo son los espacios interiores del edificio 34, el código municipal de Aguascalientes solicita al menos 250 lúmenes, la figura 3 muestra la

iluminación presente en el aula “D” del edificio 43 el día 21 de diciembre a las 14:00 hrs. Con la orientación real del edificio.

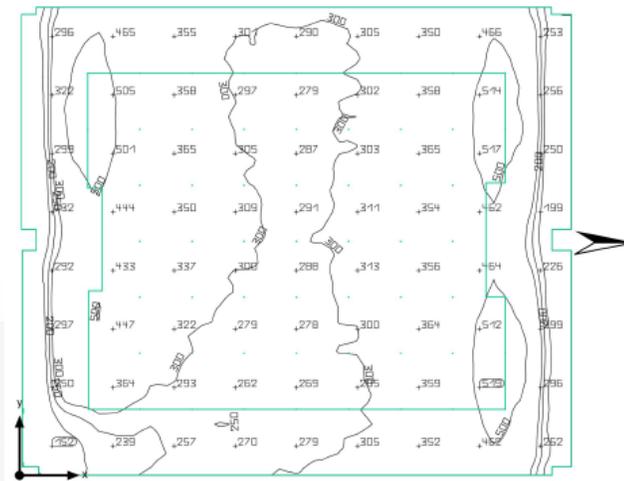


Figura 3. Planta de iso-líneas de iluminación aula “D” edificio 43 UAA con orientación norte-sur en los ventanales. Las ventanas del edificio se ubican en los muros correspondiente al eje de las “y”. Generado en DIALux v9.0. Elaborada por el autor.

La iluminación medida es únicamente la proveniente de la bóveda celeste, no fue necesario el aporte de iluminación artificial para el cumplimiento del requerimiento a la hora que se presenta en el modelo. La figura 4 muestra la variación que se tiene si las mediciones son tomadas en una hora más crítica, para este caso las 17:00 hrs del mismo día.

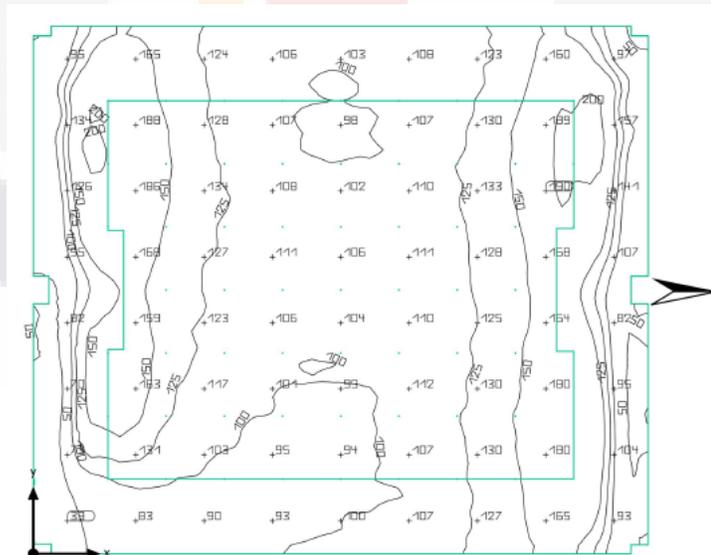


Figura 4. Planta de iso-líneas de iluminación aula “D” edificio 43 UAA con orientación norte-sur en los ventanales. Las ventanas del edificio se ubican en los muros correspondiente al eje de las “y”. Generado en DIALux v9.0. Elaborada por el autor.

En este caso los límites mínimos marcados por el código municipal de Aguascalientes, no se cumplen considerando únicamente la iluminación natural, por tanto, es necesario complementar este diseño con sistemas de iluminación artificial. Además, dicho sistema debe de cumplir satisfactoriamente los niveles mínimos requeridos en la penumbra, ya que se imparten clases en el aula desde el amanecer hasta después del ocaso.

Materiales

Para la evaluación de la iluminación en espacios interiores es importante considerar los materiales presentes, ya que estos pueden modificar las características luminosas de una fuente mediante el fenómeno físico de reflexión.

Este fenómeno se define como la capacidad de los materiales a reflejar la luz que incide sobre ellos, el reflejo de la luz se puede dirigir en la misma dirección, transmitir por materiales traslúcidos o dispersarse en superficies difusas.

La norma mexicana de construcción sustentable NMX-AA-164-SCFI-2013 define que el fenómeno de reflexión se presenta cuando la luz que incide en una superficie se proyecta o refleja con el mismo ángulo con el que incidió. Además, se define la metodología para su medición.

Para evaluar el factor de reflexión en las áreas y puestos de trabajo se tomarán dos mediciones para cada punto a evaluar en el espacio. La primera E_1 , se efectúa colocando el luxómetro directo a la superficie a medir, a una distancia de $10\text{ cm} \pm 2\text{ cm}$, cuando la medición permanezca constante, se acepta como válida. La siguiente medición E_2 , se realiza con el luxómetro en la dirección contrario y apoyado en la superficie, para medir la luz que incide en ella.

Los valores obtenidos se evalúan con la fórmula 1 y se corroboran con los niveles máximos permisibles marcados en la tabla 2.

$$kf = \frac{E_1}{E_2} \quad (100) \quad \text{Fórmula (1)}$$

Tabla 2. Niveles máximos permisibles por la norma mexicana de construcción sustentable NMX-AA-164-SCFI-2013.

NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DEL FACTOR DE REFLEXIÓN	
Concepto	Niveles máximos permisibles de reflexión, kf
Paredes	60%
Plano de trabajo	50%

Usuarios

Los diseños de iluminación buscan satisfacer las necesidades de los ocupantes de una edificación, Sierra (2017), menciona que las metodologías empleadas en el desarrollo de los proyectos de diseño y construcción, tienen como finalidad que las tareas a realizar en los espacios interiores se lleven a cabo en condiciones de seguridad y comodidad.

Las variables relacionadas al bienestar del usuario respecto a la iluminación en un espacio interior son el deslumbramiento y el confort lumínico.

Confort lumínico

De acuerdo con Gutiérrez, 2007, el confort lumínico está en función de la respuesta de la retina a la luz a la que está expuesta, cuando la luz percibida sea más grande, el tamaño de la retina será menor y en tanto la luz disminuya el tamaño de la retina aumenta. Esto, puede producir cansancio en los músculos que controlan el tamaño de la pupila, produciendo fatiga.

Urrutia (2018), remarca la diferencia entre confort lumínico y visual, siendo el primero de estos la apreciación de la luz a través de la vista preponderando los aspectos físicos, psicológicos y fisiológicos, mientras que el confort visual se relaciona con la percepción de todos los objetos que rodean al usuario.

El confort se refiere a todo aquello que brinda comodidades y genera bienestar de los usuarios, por tanto, se considera confort lumínico que los usuarios desarrollen las tareas en las áreas de trabajo en condiciones de comodidad y seguridad, producidas por la cantidad y calidad de luz disponible en los espacios.

Para lograr estas metas es necesario considerar las variables que pueden alterarlas, para el desarrollo de esta investigación se engloban en tres conceptos: factor de luz natural, deslumbramiento y la reflectancia de los materiales, explicado anteriormente.

Factor de luz natural.

Es una medición propuesta por diversos organismos de construcción sustentable, en el que se toma en cuenta el porcentaje de la cantidad de luz que hay en un momento dado en el interior de una edificación, respecto a la iluminancia en el mismo momento en el exterior, Además la medición se debe tomar a la misma distancia del extremo de la edificación tanto en el exterior como en el interior, como se muestra en la figura 5.

En áreas trabajo donde se considera la aportación de luz natural como fuente de iluminación, es importante conocer el coeficiente de luz natural o factor Daylight. Debido a que

valores muy altos generarán exceso de iluminación y valores muy bajos no otorgarán la iluminación suficiente para realizar llevar a cabo las actividades, esté factor esta dado por la relación entre el nivel de iluminación del interior (E_i) y la iluminancia exterior (E_e).

$$\text{Coeficiente de luz diurna (\%)} = \frac{E_i}{E_e} \times 100$$

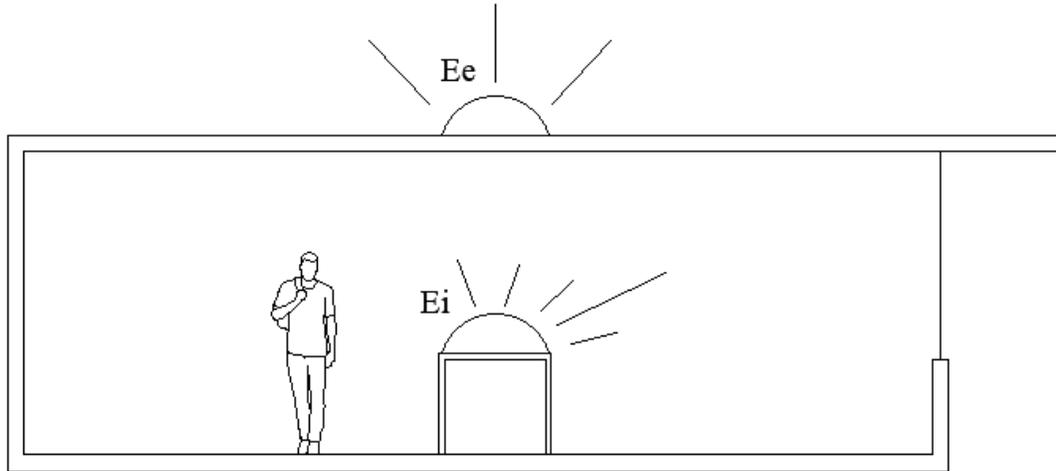


Figura 5. Representación del factor de la medición del coeficiente de luz diurna o factor Daylight. Elaborada por el autor.

El nivel de iluminancia exterior variará de acuerdo con la ubicación geográfica, la época del año y la hora del día, para mantener una estabilidad en la luz natural es preferible que la luz dominante sea luz difusa evitando la luz solar directa.

Diversos autores proponen factores de luz natural ideales, en el manual de iluminación ICARO, menciona como un valor ideal el 3%, además, considera poco conveniente estar por debajo de 1% y para evitar el exceso de iluminación en los espacios interiores no superar el 9%.

Deslumbramiento.

De acuerdo con el CEI, el deslumbramiento es la sensación producida por áreas brillantes dentro del campo de visión y se puede experimentar como deslumbramiento molesto o perturbador.

El deslumbramiento ocurre cuando cualquier flujo de luz intensa incide directamente en los ojos de los usuarios de la edificación. Cuando la fuente de luz se localiza a más de 60° sobre el horizonte no suele ser visible, ubicadas a 45° sobre el horizonte se generan molestias moderadas y al estar por debajo de los 30° las molestias son elevadas, esto mismo ocurre cuando se presentan reflejos que provienen de debajo del horizonte.

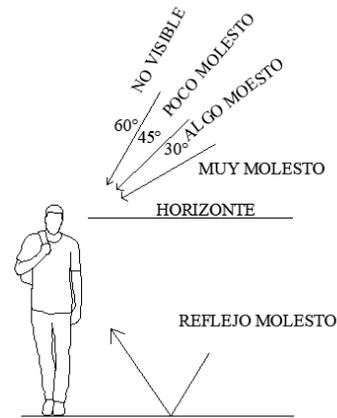


Figura 6. Nivel de deslumbramiento, dependiendo de la localización de la fuente de luz.

La norma mexicana de construcción sustentable considera que existe deslumbramiento cuando el valor de k_f es superior a 60% para paredes y superior a 50% para planos de trabajo (Tabla 2).

La norma de construcción sustentable BREEAM para el control de deslumbramiento hace referencia al índice UGR, el cálculo preciso de este índice se puede realizar mediante DIALux evo 8.1 El valor obtenido expresa el deslumbramiento al que es sometido el ojo humano provocado por una fuente de luz en un espacio interior, cuando su valor equivale a 10 se considera nulo y superando los 28, se considera incomodo (Tabla 3).

Tabla 3. Criterio de deslumbramiento UGR. Recuperada de la normativa BREEAM.

CRITERIO DE DESLUMBRAMIENTO (UGR)		
UGR	Valoración	Ejemplo
≤10	Imperceptible	
13	Apenas perceptible	
16	Adecuado para tareas de precisión	Laboratorios
19	Adecuado para tareas visuales promedio	Aulas de clase
22	Adecuado para tareas visuales moderadas	Pasillos
25	Adecuado para tareas visuales sencillas	Escaleras
28 +	Incómodo	

La norma europea EN 12464-1, a la que hace referencia la certificación BREEAM marca los máximos permisibles del índice UGR, de acuerdo a la actividad realizada en cada espacio interior, la tabla 4 muestra algunos de los correspondientes a los centros de estudio.

Tabla 4. Máximos permisibles índice UGR en espacio educativos. Recuperado de la norma europea EN-12464-1.

ÍNDICE DE DESLUMBRAMIENTO EN EDIFICIOS EDUCATIVOS	
ESPACIO	UGR
Aulas	19
Áreas de circulación	22
Escaleras	25
Salas de profesores	19
Bibliotecas	19
Salas de deportes	22

Aberturas de la edificación

La iluminación natural que se aprovecha en los espacios interiores de una edificación depende de la cantidad de luz que llega desde el exterior y de la dirección en que esta incide sobre los elementos diseñados para permitir el paso de la luz natural (ventanas, puertas, domos, etc.).

Incidencia de la luz

De acuerdo con el manual de iluminación ICARO, podemos dividir la incidencia la luz natural en cuatro componentes: luz solar directa, luz solar difusa, luz reflejada en obstáculos y luz reflejada del terreno.

Luz solar directa: Es la fuente de luz más potente, su incidencia en los espacios interiores es a través de un rayo solar directo, unidireccional y de gran intensidad, con lo cual existe el riesgo de provocar deslumbramiento al tener un punto extremadamente iluminado. Dicha iluminación tiene variaciones debido a la posición del sol o puede llegar a anularse debido a la nubosidad, dados estos inconvenientes se recomienda prescindir de ella para el diseño.

Luz solar difusa: Es la iluminación más estable y con la cual se recomienda realizar los modelos de iluminación natural, proviene de la bóveda celeste excluyendo la luz solar. La intensidad lumínica de esta es menor que la luz solar directa, pero es más estable en el tiempo.

Luz reflejada de obstáculos: Los obstáculos presentes en el entorno pueden contribuir a la iluminación interior de una edificación, estos pueden obstruir el paso de la luz o bien, aportar a la iluminación por la luz reflejada en ellos, es importante considerar esta luz en el diseño ya que el ángulo de incidencia sobre el espacio interior puede generar que dicha luz penetre profundamente. Su intensidad tiene variaciones a lo largo del día provocado por la nubosidad.

Luz reflejada del terreno: Depende del factor de reflexión presente en las superficies exteriores de la edificación. Su intensidad puede ser elevada al contemplar la reflexión de la luz directa y de la luz difusa.

Las fuentes de iluminación natural son el sol y el cielo, dicha iluminación incide en los exteriores de las edificaciones y llega al interior de ellas directa o indirectamente por medio de los materiales en los que se refleja.

Tipos de Cielos

Para calcular el nivel de iluminación natural en el interior de una edificación se toma el parámetro de la luminosidad del cielo, para definirlo diferentes instituciones han desarrollado modelos de la distribución de la iluminación, dos de ellas son CIBSE de Gran Bretaña, CIE y el manual de iluminación ICARO. Concordando en que se tienen 3 niveles divididos en; cielo cubierto, cielo uniforme y cielo despejado.

Cielo cubierto

De acuerdo al manual de iluminación ICARO, es el modelo más utilizado porque bajo estas condiciones se estima la luminosidad mínima para garantizar un cierto nivel de iluminación durante lo largo del año, según la guía CIBSE este cielo se caracteriza por estar 90% cubierto y no estar el sol visible.

Cielo uniforme

Es el cielo con la luminosidad más complicada de predecir, debido a las variaciones de la iluminación provocada por la alternancia de la presencia del sol, se caracteriza por tener en el cenit el triple de luminosidad que en el horizonte.

Cielo despejado

La presencia del sol en este tipo de cielo provoca que más del 80% de la luminosidad sea provocada por la luz directa emitida por él, de acuerdo con la guía CIBSE es un cielo sin presencia de nubosidad.

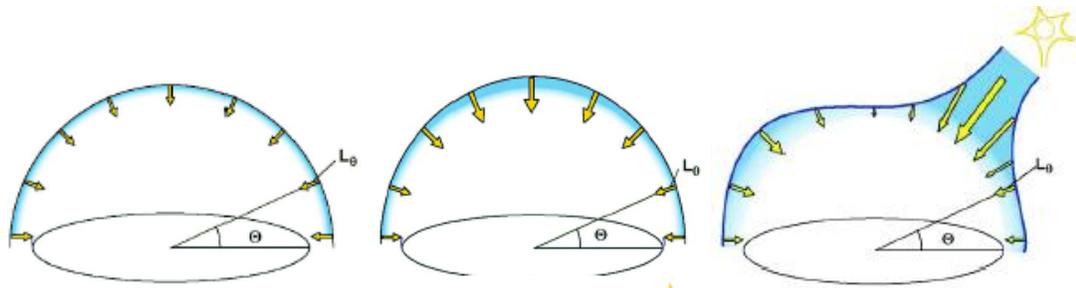


Figura 7. Tipos de Cielo. 1.- Cielo cubierto. 2.-Cielo uniforme. 3.-Cielo despejado. Recuperado del manual de iluminación ICARO.

Captación de luz natural

La captación de luz natural tiene como finalidad permitir el acceso de la luz natural al interior de las edificaciones, estos elementos pueden ser ventanas, domos, techos anidólicos. Las variables principales para el aprovechamiento de la luz son la orientación de la abertura en la edificación y la disposición de esta.

De acuerdo con Meza (2015), las ventanas que son orientadas en dirección este y oeste otorgan niveles de iluminancia medios que varían durante todo el día, se tienen elevadas ganancias de energía en los meses veraniegos y bajas en temporada invernal. Las aberturas orientas al norte se mantienen constates, en cuanto iluminancia, a lo largo del día, mientras que en las orientadas al sur se tienen nivele de iluminancia altos y se tiene ganancia de energía en verano.

Ventanas

Las ventanas son consideradas como un elemento constructivo que tienen como finalidad, la ventilación de un espacio interior, obtener ganancias térmicas desde el exterior y el proveer de iluminación natural el local donde se ubiquen.

Tamaño y forma

Dentro del diseño existen innumerables tamaños y formas para las ventanas, el CEI y el IDAE, definieron la siguiente relación para identificar la forma de las ventanas.

- Ventana horizontal: $\frac{\text{altura de la ventana}}{\text{largo de la venta}} < \frac{1}{2}$ Fórmula (2)
- Ventana vertical: $\frac{\text{altura de la ventana}}{\text{largo de la venta}} > 2$ Fórmula (3)
- Ventana intermedia: $\frac{1}{2} < \frac{\text{altura de la ventana}}{\text{largo de la venta}} > 2$ Fórmula (4)

La figura 8 muestra una comparativa de la incidencia de la luz natural dentro de un local, cuando se seleccionan ventanas verticales (parte superior) o ventanas verticales (parte inferior)

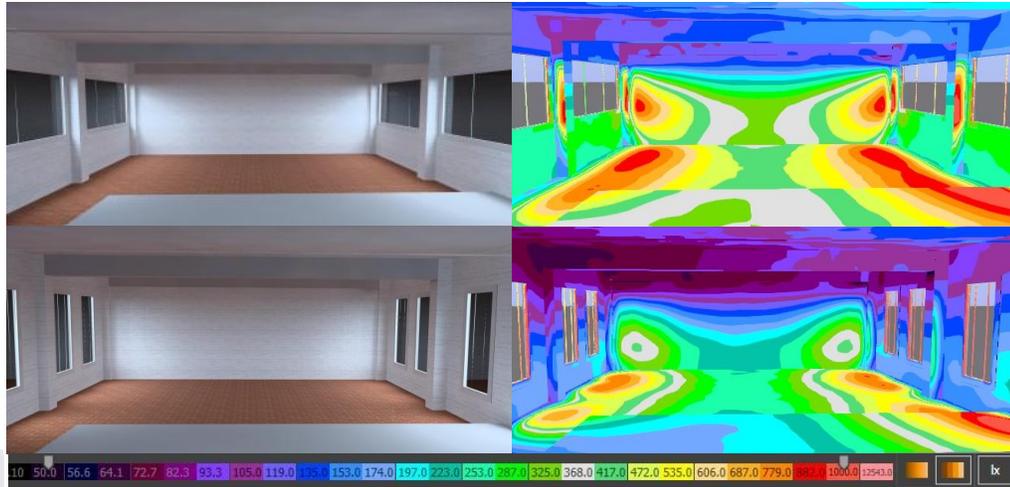


Figura 8. Diseño de forma de ventanas para el aula “A” edificio 43 UAA”. Generado en DIALux evo 9.0. Elaborada por el autor.

Posición

La posición de una ventana en cuanto a la altura de su posición determina la profundidad de la incidencia de la luz en el local, además también determina las vistas al exterior.

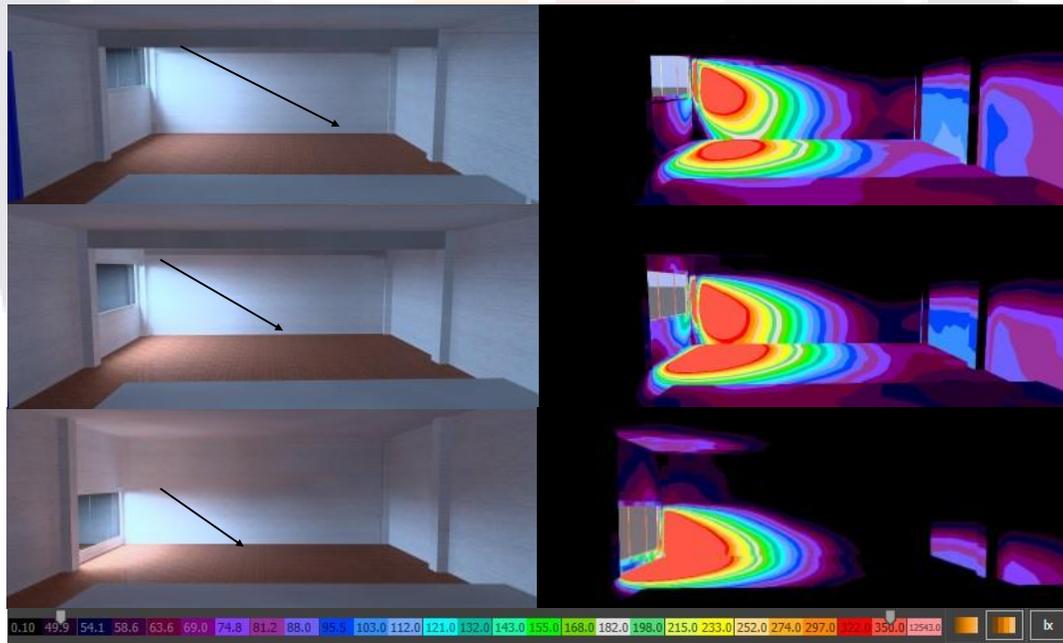


Figura 9. Diseño de posición de ventanas para el aula “A” edificio 43 UAA”. Generado en DIALux evo 9.0. Elaborada por el autor.

La figura 9 ejemplifica la incidencia de la luz en un espacio interior, respecto a la posición en la que se ubique una ventana, a mayor altura se distribuye en mayor cantidad hacia los espacios más alejados en el local, el diseño de la posición dependerá de las especificaciones que se tengan

para cada proyecto, de la presencia o no de otras ventanas, del uso del local o si se plantea la conexión visual con el exterior.

Sistemas de iluminación

Los sistemas de iluminación buscan la uniformidad de la luz en todo el espacio interior, estos se dividen en sistemas de iluminación natural y sistemas de iluminación artificial. Para lograr ser eficientes estos sistemas, es importante priorizar la función de los sistemas de luz natural y que lo sistemas de luz artificial tengan la capacidad de adaptarse a la disponibilidad de iluminación natural, además, deben de abastecer de la luz necesaria para las actividades a desarrollar en el interior, en la penumbra.

Sistemas de iluminación natural

El permitir el paso de la iluminación natural a los espacios interiores de una edificación puede representar problemáticas de deslumbramiento y ganancias de calor, por ejemplo, bajo las condiciones de cielo despejado, por tanto, el plantear soluciones arquitectónicas para la distribución de la iluminación representa una ventaja para evitar estos inconvenientes e iluminar de manera uniforme el local en estudio.

Los sistemas de distribución iluminación natural pueden ser divididos en dos grupos principales, los sistemas de iluminación natural que incluyen sombreado en las ventanas que se instalen y los sistemas de iluminación natural sin sombreado.

Los sistemas de iluminación natural con sombreado, tienen dos vertientes, aquellos que rechazan los rayos de sol que inciden directamente sobre una de las aberturas de la edificación, utilizando louvers y los sistemas que redireccionan estos rayos, mediante volados o repisas de luz (figura 10), hacia el techo para llevar la luz natural a lugares más profundo en el local, siempre por encima de la altura del ojo humano para evitar deslumbramiento.

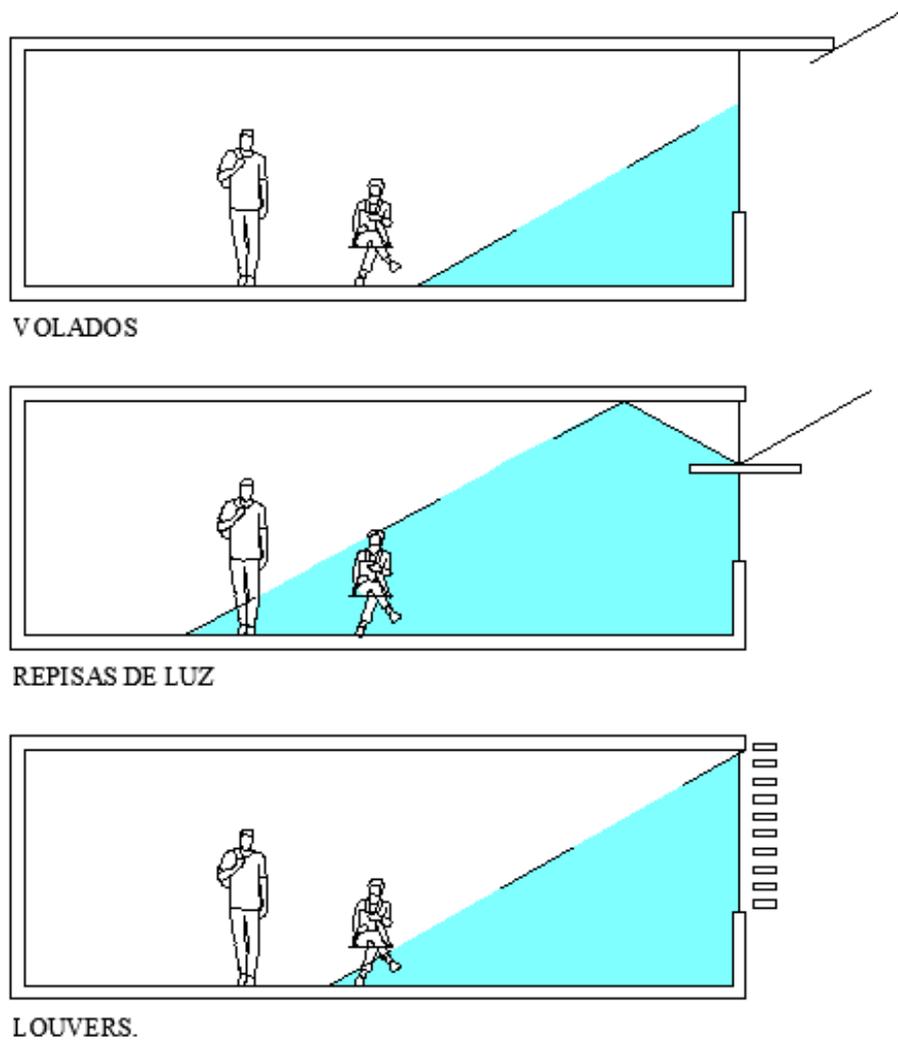


Figura 10. Sistemas de distribución natural con sombreado. Elaborada por el autor.

Los sistemas de iluminación natural sin sombreado tienen la finalidad de distribuir los tipos de luz natural (directa y difusa) incidentes en las aberturas, ya sea por medio del redireccionamiento o el transporte. Los sistemas de redireccionamiento llevan la iluminación natural directa y/o difusa al interior del local evitando el deslumbramiento (figura 11). Los sistemas de transporte utilizan puntos de captación en la parte superior de la edificación y tubos de luz para dirigirla a los locales interiores.

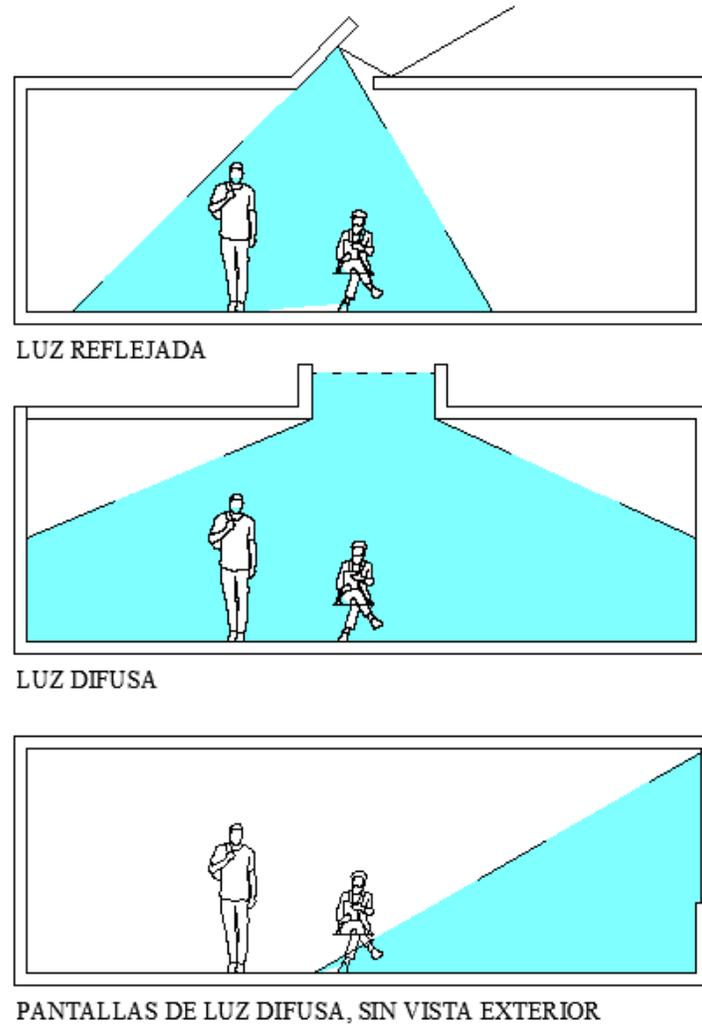


Figura 11. Sistemas de distribución natural sin sombreado. Elaborada por el autor.

El control de los sistemas de iluminación natural por parte de los usuarios es un tema que abordan las certificaciones de construcción sustentable, sin embargo, Esquivias (2014), menciona que cuando las condiciones exteriores varía en un corto periodo de tiempo, produce incertidumbre en los usuarios, por esto el diseño de protecciones solares fijas son una buena opción, estas pueden permitir el paso de luz solar difusa a mayor profundidad del espacio, mejorando el confort lumínico y reducir el deslumbramiento.

Sistemas de iluminación artificial

Para el desarrollo de sistemas de iluminación Muros (2016), menciona que la complejidad de la creación de estos, depende de 5 factores primordiales: las necesidades lumínicas, el espacio, los usuarios, las posibilidades técnicas y la economía disponible para el proyecto.

Podemos definir los sistemas de iluminación artificial, de acuerdo a la direccionalidad del flujo luminoso y su distribución.

Direccionalidad.

La finalidad de la luminaria es incidir en un plano de trabajo, esto se puede lograr mediante métodos directos, indirectos o mixtos (figura 9). Los métodos directos son los más económicos y simples, el flujo luminoso llega directamente al plano de trabajo, es necesario prever no causar deslumbramiento generado por la luminaria o por los materiales presentes.

En los métodos indirectos el flujo luminoso de la luminaria rebota en diferentes superficies antes de incidir en el plano de trabajo, debido a esto la iluminancia es menor si no se habilitan luminarias con mayor flujo luminoso. Los métodos mixtos realizan una combinación con ambos tipos de luminarias.

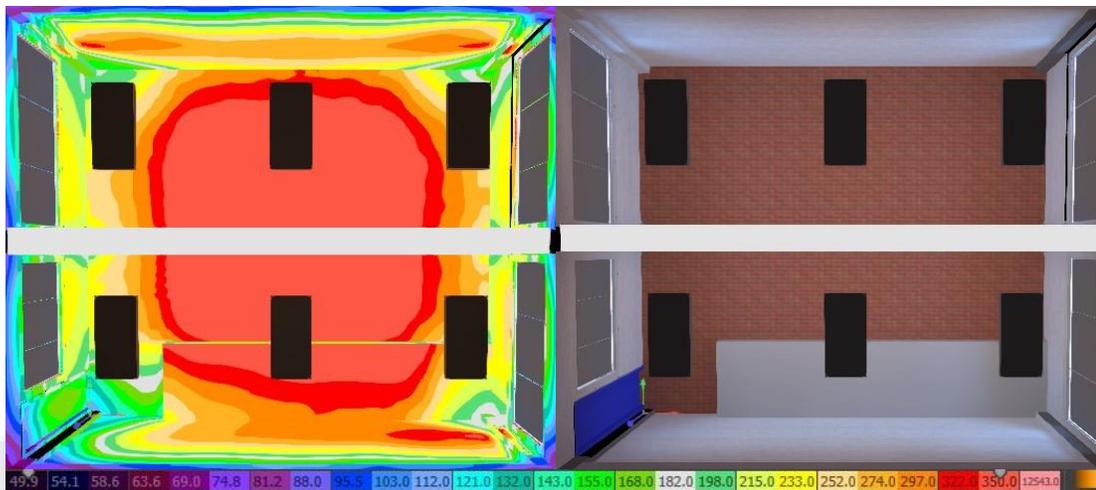
Distribución.

La distribución de la iluminación tiene dos vertientes, la primera se refiere a la distribución de la luz en el espacio, la segunda, a la distribución de las luminarias proyectadas en el diseño de iluminación.

De acuerdo a las necesidades del proyecto de iluminación artificial se diseña la distribución del flujo luminoso. Por ejemplo, para el diseño de aulas de universidad se busca que la distribución de la iluminación sea uniforme en todo el espacio interior, mientras que si se diseña para un espacio donde se busca el resaltar un espacio en particular, como puede ser un museo, la distribución de la iluminación será focalizada en ese punto.

La distribución de las luminarias en el espacio se puede realizar de manera diferentes, es posible plantear distribuciones lineales, poligonales, circulares, rectangulares o individual.

El sistema de iluminación artificial presente en el edificio 43 de la UAA, presenta direccionalidad directa de sus luminarias y una disposición rectangular (figura 12).



*Figura 12. Distribución de luminarias y flujo luminoso en el aula “D” del edificio 43 de la UAA.
Elaborada por el autor.*

La distribución de las lámparas y la dirección del flujo luminoso son suficientes para garantizar la uniformidad de la iluminación en la mayor parte del espacio interior, además supera lo requerido por el código municipal de Aguascalientes para aulas de estudio (tabla 1).

Capítulo IV: Comparativa de certificaciones de construcción sustentable en lineamientos de iluminación

El desarrollo de diseños de iluminación que logren hacer más eficiente el uso de los espacios interiores de una edificación es considerado dentro de las certificaciones de construcción sustentable, cada una de ellas toma parámetros particulares para calificar como aceptable su aprovechamiento, de acuerdo con los lineamientos marcados en sus manuales.

LEED

La certificación LEED, considera un factor de iluminación natural dentro de los parámetros para acreditar las edificaciones, dicho apartado aporta entre 1-3 puntos sobre una calificación mínima para acreditarse de 40 puntos.

La certificación señala que el objetivo de este apartado es: para conectar a los ocupantes del edificio con el exterior, reforzar los ritmos circadianos y reducir el uso de iluminación eléctrica al introducir la luz del día en los espacios interiores.

Para acreditar este punto el manual da tres opciones: simulación de factores sDA y ASE, simulación con cálculos de iluminación y mediciones.

Simulación: factores sDA y ASE (2-3 puntos).

Consiste en demostrar, por medio de modelos anuales de iluminación, creados en algún software de iluminación, el valor sDA. Este factor consiste en analizar en que porcentaje es iluminado un espacio interior. El análisis se debe realizar en los espacios ocupados regularmente (evitar pasillos, escaleras, etc.), la tabla 5 muestra los puntos que se pueden obtener por cumplir este punto.

Tabla 5. Puntos correspondientes al factor sDA, certificación LEED (2019).

sDA	Puntos
55%	2
75%	3

Además, se debe demostrar a través de simulaciones anuales que se logra una “exposición anual a la luz solar” (ASE). Las cuadrículas para el cálculo no deben tener más de 2 pies (600 milímetros) cuadrados y distribuirse en el área regularmente ocupada a una altura del plano de trabajo de 30 pulgadas (760 milímetros) sobre el piso terminado (a menos que se defina lo contrario). Para este parámetro es necesario un análisis de pasos de tiempo por hora basado en

datos de años meteorológicos típicos, o un equivalente, para la estación meteorológica disponible más cercana.

El cálculo para este parámetro se basa en calcular en que porcentaje del espacio interior de una edificación se tiene la presencia de luz solar directa durante al menos 250 horas por año, para fines prácticos la certificación LEED acepta el rango de 1000 luxes como el correspondiente a la luz solar directa. Aunque hay no hay un umbral claro para esta métrica, las referencias estándar que respaldan la investigación (Herschong et al., 2012) indican que 10% o más de área resulta como comodidad visual insatisfactoria, 7% como neutral y 3% como espacios claramente aceptables.

Simulación: Cálculos de iluminación (1-2 puntos).

La segunda opción para acreditar este punto, consiste en demostrar a través de modelos computarizados que los niveles de iluminación se encontrarán en un rango de entre 300 y 3000 luxes en un horario de 9 a.m. a 3p.m. ambos cálculos en el equinoccio y con cielo claro. En concordancia al porcentaje que cumpla con el requerimiento serán los puntos obtenidos (tabla 6).

Tabla 6. Puntos correspondientes al cálculo de iluminación. LEED (2019).

% de área (300-3000 luxes)	Puntos
55%	1
75%	2

Además, es necesario hacer el cálculo de las componentes: luz solar y luz difusa, para ello la certificación recomienda: un análisis de pasos de tiempo por hora basado en datos de años meteorológicos típicos, o un equivalente, para la estación meteorológica disponible más cercana. Seleccionar un día dentro de los 15 días posteriores al 21 de septiembre y uno dentro de los 15 días posteriores al 21 de Marzo para el análisis, se utiliza el promedio por hora para los dos días seleccionados.

Mediciones (2-3 puntos).

Demostrar mediante mediciones en el sitio que los niveles de iluminación se encuentran un rango de entre 300 y 3000 luxes para el área de piso indicada en la tabla 7.

Tabla 7. Puntos correspondientes a las mediciones de iluminación. LEED (2019).

% de área (300-3000 luxes)	Puntos
55%	2
75%	3

Las mediciones se deben realizar en cualquier mes del año en el que se realicen actividades en la edificación y se deberá tomar una segunda medición de acuerdo con lo establecido en la tabla 8.

Tabla 8. Tiempo de mediciones de iluminación. LEED (2019).

Si la primer medición	Tomar la segunda medición en...
Enero	Mayo-Septiembre
Febrero	Junio-Octubre
Marzo	Junio-Julio, Noviembre-Diciembre
Abril	Agosto-Diciembre
Mayo	Septiembre-Enero
Junio	Octubre-Febrero
Julio	Noviembre-Marzo
Agosto	Diciembre-Abril
Septiembre	Diciembre-Enero, Mayo-Junio
Octubre	Febrero-Junio
Noviembre	Marzo-Julio
Diciembre	Abril-Agosto

BREEAM

El apartado de iluminación natural para la certificación BREEAM se encuentra dentro del criterio de confort visual, únicamente cumplir con los lineamientos marcados para iluminación natural puede otorgar hasta 4 puntos en la calificación total, siendo 30 puntos la calificación mínima para acreditarse.

La certificación ofrece 2 opciones para cumplir con el criterio el primero se basa en el coeficiente de luz diurna que se tenga dependiendo la latitud del lugar y la segunda al porcentaje de iluminación natural que se tenga dentro de la edificación.

Coeficiente de luz diurna.

Para acceder a los puntos de este apartado, marcados en la tabla 9, se debe cumplir con alguno de los criterios siguientes:

- Una relación de uniformidad de al menos 0.3. Los espacios con techos acristalados deben cumplir con una relación de uniformidad de 0.7.

- Al menos el 80% del espacio interior tiene una vista del cielo desde el plano de trabajo (0.85 metros en edificios residenciales y 0.75 metros en el resto de edificios).
- Se satisface el criterio de profundidad de la sala.

$$\frac{d}{w} + \frac{d}{HW} < \frac{2}{1-RB} \text{ Formula (5)}$$

Donde:

d = Profundidad de la sala.

w = Ancho de la sala.

HW = Altura del techo de la ventana desde el piso.

RB = Promedio de las reflectancias de las superficies en la mitad trasera de la sala.

Tabla 9. Valores coeficiente de luz diurna mínimos requeridos. BREEAM (2016).

Edificación	% Coeficiente luz diurna requerido por latitud (grados)						Mínimo de área por cubrir	
	<40	40-45	45-50	55-60	60-65	>60	1 punto	2 puntos
	Preescolar, escuelas primarias.	1.5	1.7	1.8	2.0	2.1	2.2	-
Universidades, preparatorias, secundarias.	1.7	1.7	1.8	2.0	2.1	2.2	60%	80%

Iluminación natural.

La medición del porcentaje debe realizarse sobre toda la edificación. En la tabla 10 aparecen los requerimientos necesarios para cumplir con este apartado.

Tabla 10 Valores de iluminación natural requeridos. BREEAM (2016).

Edificación	Mínimo de área por cubrir		% Iluminación natural	Valor mínimo de iluminación en un punto crítico
	1 punto	2 puntos		
Pre-escolar, escuelas primarias	-	80%	Por lo menos 300 lux durante 2000 horas por año o más.	Por lo menos 90 lux durante 2000 horas por año o más.
Universidades, preparatorias, secundarias.	60%	80%		

DGNB

La certificación alemana DGNB, define los parámetros de iluminación natural dentro del confort visual, este apartado aporta 2.7% de la calificación total de la edificación, es necesario sumar un 30% para acceder a esta acreditación.

Los lineamientos marcados por DGNB marcan diferentes factores de iluminación a tomar en cuenta para el diseño y la calificación de la edificación.

Disponibilidad de luz natural en la edificación.

Es necesario cumplir con al menos el 1% de coeficiente de luz diurna en por lo menos el 50% de la edificación. Para que sea aceptada la medición se debe corroborar con los estatutos marcados en la norma alemana.

Ausencia de deslumbramiento

La certificación otorga puntos, dentro del apartado confort visual, por contemplar dentro del diseño sistemas de protección de luz natural y/o de deslumbramiento. En el caso de tener ambos sistemas alguna edificación, ambos son evaluados y solo se tomará en consideración para la calificación el que resulte con mayor nota. El método de calificación es utilizando el índice UGR.

ICARO

El manual de iluminación ICARO más que otorgar una certificación su manual está diseñado para llevar a los usuarios de dicho sistema, paso a paso durante el diseño. La metodología presentada en él “se fundamenta en que las decisiones de diseño deberían hacerse en el contexto del conjunto del edificio como una unidad funcional, y no como un agregado de diferentes partes”. En cuanto a iluminación natural marca los siguientes aspectos a considerar durante el proyecto.

Solicita primordialmente que las habitaciones consideradas en el tengan conexión con el exterior, para con ello, tener acceso a la iluminación natural directa en el interior del local. Además, marca como otro punto importante, el poder ver el cielo desde los diferentes puntos de la habitación, a través de las ventanas.

ICARO, recomienda tener en consideración el coeficiente de luz diurna, que esta dado por la relación de la iluminación natural interior de la edificación entre la iluminación exterior tomadas en el mismo instante, se menciona como un valor ideal el 3%, además, considera poco conveniente estar por debajo de 1% y para evitar el exceso de iluminación en los espacios interiores no superar el 9%.

$$\text{Coeficiente de luz diurna (\%)} = \frac{E_i}{E_e} \times 100 \text{ Formula (6)}$$

Para determinar los niveles relativos en el interior de una sala en una edificación dicta como que las variables geométricas que entran en consideración son: el fondo de la sala con respecto de la ventana, el ancho del local, la altura del local, el ancho de la ventana, el alto de la ventana y la altura de la ventana desde el piso hasta el dintel.

Para garantizar la uniformidad de la iluminación en una sala, el manual de iluminación ICARO, señala que es necesario se cumpla con la siguiente igualdad:

$$F < 2 D \quad \text{Formula (7)}$$

Donde:

F= Fondo de la sala.

D = Altura desde el piso hasta el dintel.

Distribución de la luz natural.

Para la distribución de la iluminación en un espacio interior hace mención de la ubicación de las ventanas y el aprovechamiento que se puede obtener realizando un diseño adecuado de estas.

Ventanas en fachada: Producen iluminancia elevada bajo la abertura de la edificación y va disminuyendo rápidamente al fondo del espacio interior, el manual recomendando limitar la profundidad que tendrá aportación de luz natural 1.5 y 2 veces la altura superior de la ventana.

Ventanas en esquina: Con la misma superficie, pero distribuida en dos partes adyacentes se mejora la uniformidad del nivel de iluminación, el fondo útil puede aumentar moderadamente de 2 hasta 2.5 veces la altura del dintel.

Ventanas opuestas: El fondo útil puede llegar a duplicarse al sumarse en planta la proyección de la aportación de la luz de ambas ventanas.

Ventanas altas: El aumento de la altura de la ventana permite que la luz penetre a mayor profundidad, aumentando la uniformidad y el nivel luminoso al fondo de la sala.

Domos: Si se controla la componente de la luz solar directa llegan a tener un rendimiento de entre 200% a más del 400% de la misma superficie de la ventana vertical. Debido a la mayor altura de la fuente se tiene un mayor alcance o radio útil (R). El radio iluminado llega a ser hasta una vez y media la altura del techo figura 7.

Para suprimir la radiación solar directa se pueden proponer cubiertas con forma “diente de sierra” (figura 13), su proyección luminosa es asimétrica a razón de:

$$R = 1h + 2.5h \quad \text{Formula (8)}$$

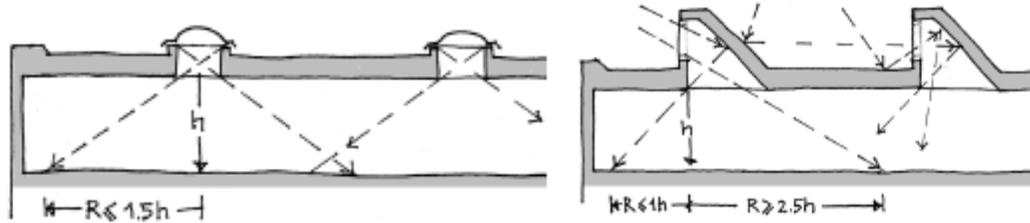


Figura 13. Derecha: Esquema de un Domo. Izquierda. Esquema de cubierta diente de sierra. Recuperado del manual de iluminación ICARO.

Captación de la luz.

El manual de iluminación marca recomendaciones para hacer más eficiente la penetración de la luz natural en la edificación en condiciones de baja luminosidad exterior.

Acrilamiento.

Utilizar vidrios totalmente transparentes. El vidrio claro tiene un factor de transmisión luminosa de $FI=0.80$. Existen vidrios de alta transmitancia $FI>0.98$ pero no suelen compensar el incremento en el coste. Para aplicaciones especiales se pueden utilizar vidrios opalinos o difusores de la luz.

Cancelería.

La penetración del flujo luminoso es proporcional al área acristalada, con lo cual, la proporción que la cancelería obstruya se puede disminuir utilizando perfiles más delgados y evitando el uso de perfiles intermedios en las ventanas.

Geometría del vano.

Para el caso de muros de gruesos, su tamaño puede influir para obstruir la incidencia de la luz natural, siendo conveniente disminuir el espesor o diseñar elementos para compensar el inconveniente. Otro importante a considera es la posición de la cancelería en el vano.

La colocación interior: suele ser la preferida por que en condiciones de verano la radiación solar absorbida por el vano queda en el exterior y la ventana queda parcialmente sombreada.

La colocación exterior: puede ser mejor para condiciones de poca iluminación o muros gruesos, para utilizar las superficies interiores como reflectores.

La colocación intermedia: es la ideal para reducir la obstrucción de la luz natural cuando penetre con bastante inclinación.

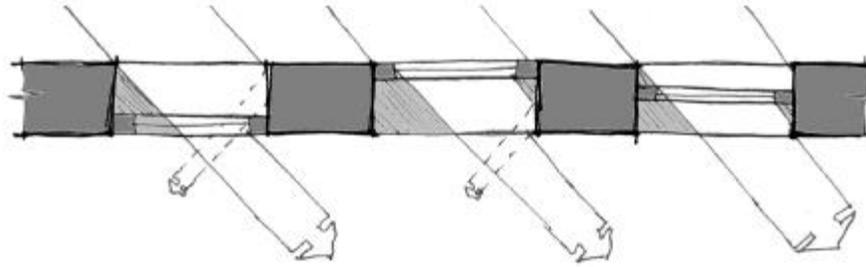


Figura 14. Planta de posiciones de ventanas en muros gruesos. Recuperado del manual de iluminación ICARO.

Norma Mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013

La norma mexicana de construcción sustentable permite diseñar una edificación con criterios bioclimáticos que favorezcan la iluminación natural dentro de la edificación, para considerarla como tal, la norma pide que se genere una iluminación de al menos 250 luxes, medidos a 0.78 metros de altura sobre el nivel del piso cada 1.5 metros a partir de una distancia de 4 metros con respecto a los muros de fachada.

Si tomamos el día más “corto” del año o en el que menos horas de luz de día se tienen, es el 21 de diciembre, fecha del solsticio de invierno. En la figura 20 se muestra un gráfico del nivel de radiación extraterrestre, que nos muestra la incidencia de la luz solar directa y difusa en la ciudad de Aguascalientes, para el día 21 de diciembre, en el cual se observa que a partir de 14 horas no se tiene iluminación directa.

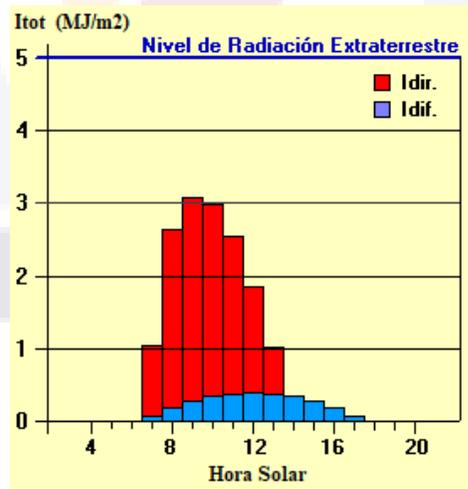


Figura 20. Nivel de radiación para el día 21 de Diciembre. Generado en Geosol V2.0

La figura 21 muestra las plantas de iso-líneas de iluminación para el día 21 de diciembre, la imagen del lado derecho representa la iluminación a las 10:00 am y la imagen del lado izquierdo

representa la iluminación a las 15:30 horas, buscando cumplir con el promedio mínimo requerido por la certificación BREEAM.

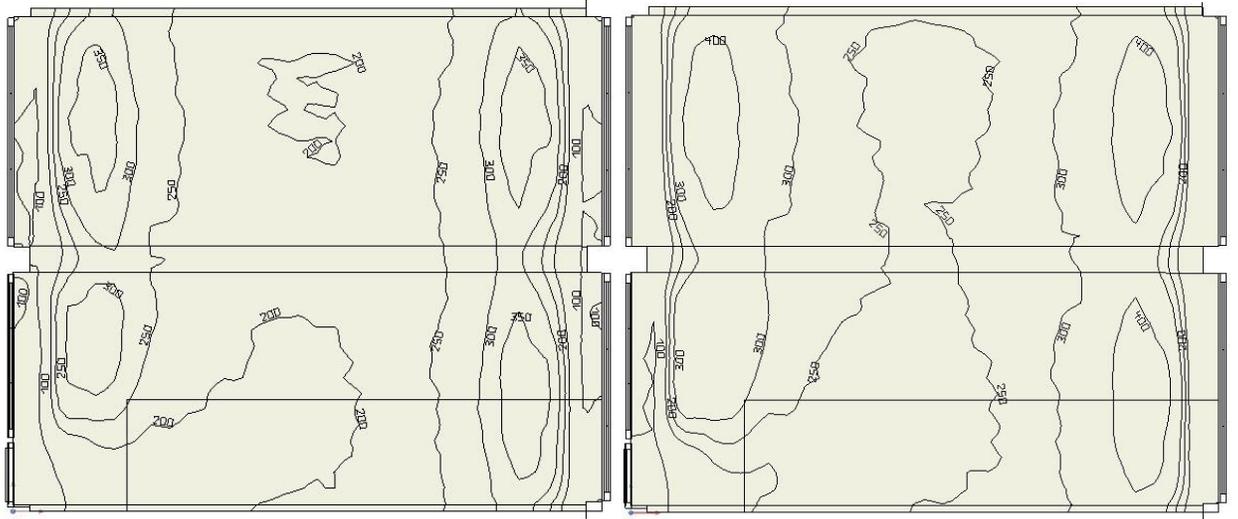


Figura 21. Planta de iso-líneas de iluminación, 21 de Diciembre, aula "D" edificio 43 UAA. Generado en Dialux evo 9.0.

A las 10:00 hrs, se tiene más de 250 luxes en más del 50 % del área del aula, mientras que para las 15:00 se tienen valores por encima de los 250 luxes, y prácticamente el 50% del espacio arriba de 300 luxes con esto podemos decir que se cumpliría lo establecido por la norma mexicana de construcción sustentable.

Capítulo V: Discusión y resultados

La presentación de los resultados se realizará analizando el comportamiento de aulas del edificio 34 bajo los parámetros de las variables presentadas en el capítulo de iluminación. Las variables de nivel de iluminación y factor de luz natural se abarcaron en el capítulo IV.

Orientación

Actualmente, el edificio 43 se encuentra orientado norte-sur respecto a las fachadas donde se encuentra los ventanales, como se explicó en el capítulo de iluminación, las fachadas este y oeste son más complejas para controlar la incidencia de la luz directa. La figura 15 ejemplifica la incidencia de la luz en ambas direcciones a las 8:00, 12:00 y 16:00 hrs.

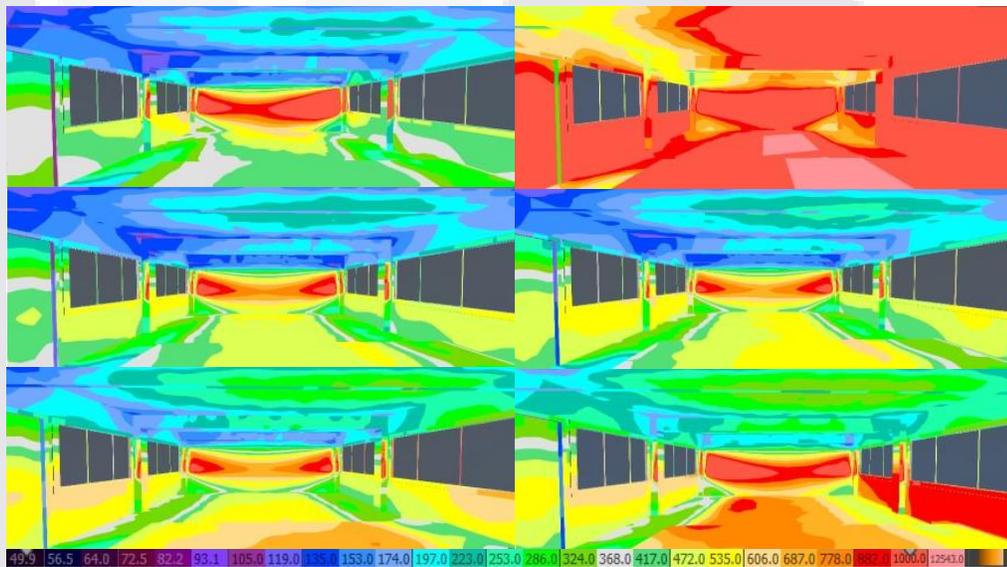


Figura 15. Iluminación natural incidente en el aula “D” del edificio 43 de la UAA. Lado izquierdo: orientación norte-sur. Lado derecho: orientación este-oeste. Elaborado por el autor.

La imagen muestra del lado izquierdo la iluminación que incide en el aula cuando es orientada en dirección norte-sur y a la derecha se muestra la orientación este-oeste. Las imágenes de la parte superior muestran la iluminación a las 8:00 hrs para ambas orientaciones, posteriormente a las 12:00 hrs y la última refleja la iluminación a las 16:00 horas.

Para mostrar el comportamiento de la iluminación es importante hacer notar, que los modelos se realizaron en condiciones de cielo despejado, para ejemplificar como es que los rayos del sol actúan en el local.

Cuando la edificación es orientada en dirección este-oeste, las mediciones de iluminación suben drásticamente por la mañana y por la tarde, que es cuando el ángulo de incidencia de los

rayos solares evade las áreas destinadas al sombreado. Mientras que en la orientación norte-sur los valores de iluminación se mantienen constantes durante el transcurso del día.

Materiales

Los variables utilizadas para evaluar la reflectancia de los materiales aparecen en la tabla 11. Los valores utilizados para la representación de los modelos presentados están en función del cumplimiento de la norma mexicana de construcción sustentable.

Tabla 11. Variación de iluminancia respecto al factor de reflexión de los materiales. Elaborada por el autor.

VARIACIÓN DE ILUMINANCIA PROVOCADA POR EL FACTOR DE REFLEXIÓN

Modelo	Factor de Reflexión			Iluminancia max (lx)	Iluminancia min (lx)	Iluminancia (lx)
	Plafón	Muros	Piso			
1	80.00%	60.00%	20.00%	110.00	1013.00	496.00
2	80.00%	30.00%	20.00%	77.90	964.00	441.00
3	80.00%	60.00%	40.00%	132.00	1065.00	547.00
4	60.00%	30.00%	40.00%	76.10	966.00	443.00
5	60.00%	60.00%	20.00%	94.50	987.00	471.00

La figura 16 muestra la relación que existe entre el factor de reflexión y la iluminación del local, en los modelos 1, 2 y 3, se seleccionaron estos debido a que son los que nos permitirán comparar las reflexiones de muros y piso.

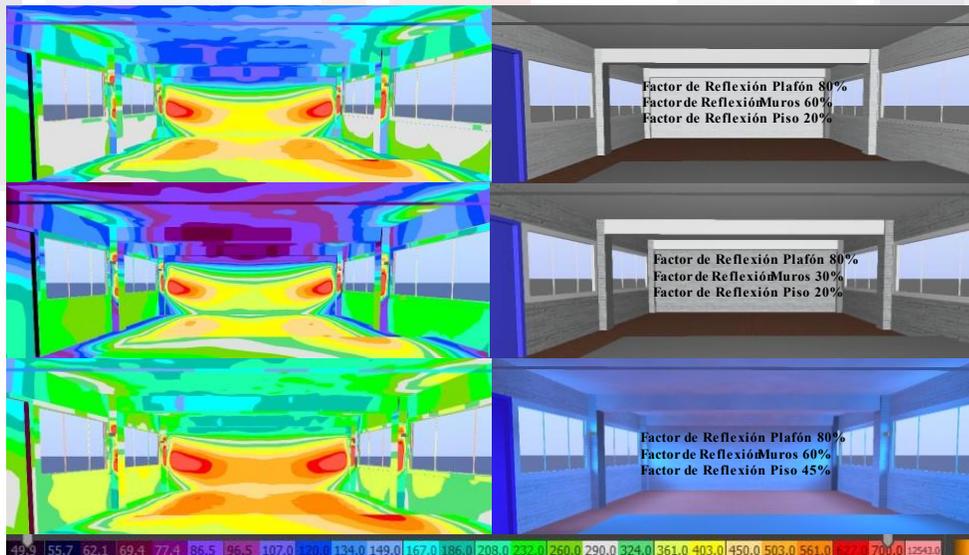


Figura 16. Representación del factor de reflexión de los materiales en el aula “F” edificio 43 UAA con orientación norte-sur en los ventanales. Generado en DIALux evo 9.0. Elaborado por el autor.

Cuando se aumentaron los valores de reflexión en el piso y los muros se aprecian los valores de iluminancia mayores en todo el local, esto se demuestra con el modelo 1 y 2, en donde se muestran la variación provocada por la reflexión en los muros, manteniendo los valores de reflexión tanto en piso como en plafón, se observa un aumento de 55 luxes al llevar la reflexión del muro al máximo permisible. Esta situación es muy similar al piso, se muestra en los valores para los modelos 1 y 3, en donde se tiene exactamente el mismo aumento de 55 luxes al aumentar el valor de reflexión de 20% a 40%.

La reflexión en los materiales utilizados en el piso no presenta ninguna restricción en el código municipal, ni en la norma mexicana de construcción sustentable, únicamente el manual de iluminación ICARO menciona que el reflejo que viene desde el piso es muy molesto (figura 6) lo que puede ocasionar deslumbramiento.

Ventanas

Tamaño y forma

En el capítulo de iluminación se muestra la figura 8 que representa la incidencia de la luz en un espacio, de acuerdo con el tipo de ventana seleccionada

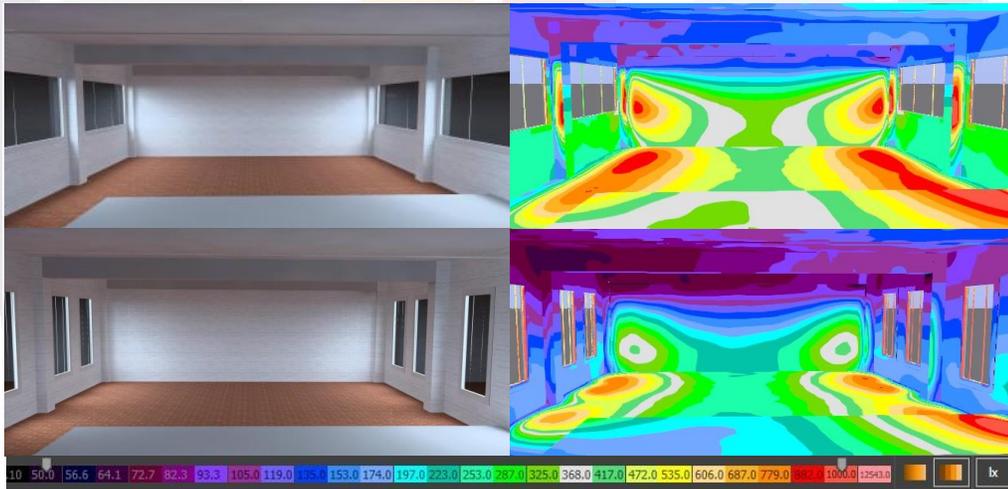


Figura 8. Diseño de forma de ventanas para el aula “A” edificio 43 UAA”. Generado en DIALux evo 9.0. Elaborada por el autor.

Las ventanas horizontales producen que la iluminación del interior se genere paralela a la pared de la ventana, lo que fomenta la poca variación en la iluminancia dentro del local a lo largo del día, disminuyendo la posibilidad de sufrir deslumbramiento, además permite una visión panorámica del exterior.

La elección de ventanas verticales, como se observa en la figura 8, genera grandes variaciones en la iluminancia dentro del local, durante el día la distribución de la luz no es uniforme. Estas ventanas propician que los lugares más alejados de las ventanas estén más iluminados, pero provoca mayor deslumbramiento. Además, las vistas al exterior se reducen panorámicamente, pero se aprovechan en cuanto a profundidad.

Posición

El diseño de la posición de la ventana puede aportar en las ganancias de iluminación en los lugares más profundos del local, para representarlo se anuló todas, menos una, las ventanas de una de las aulas de edificio 34 (figura 9).

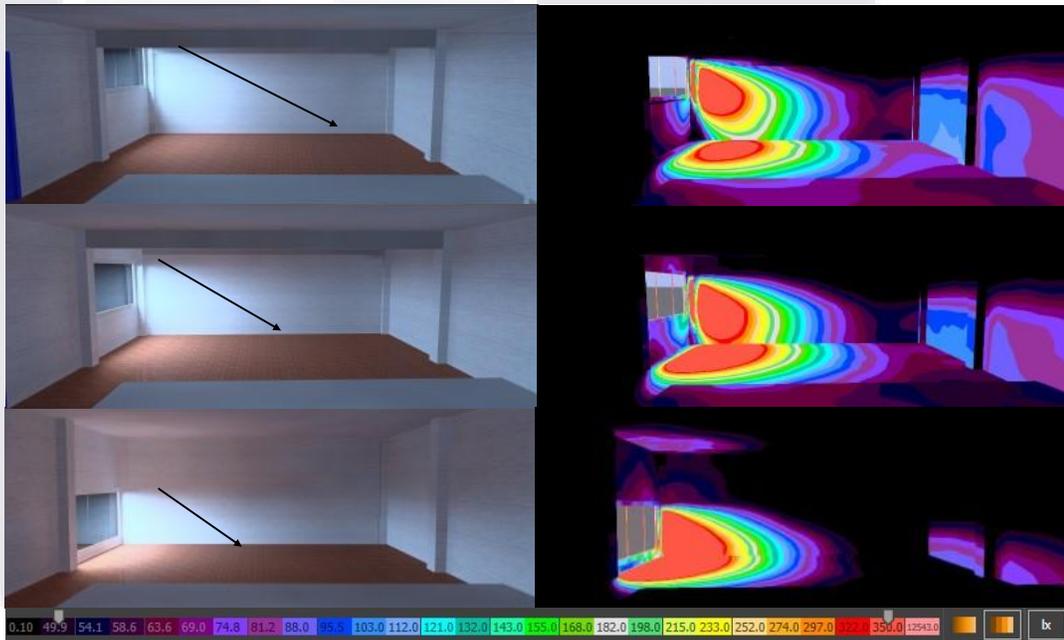


Figura 9. Diseño de posición de ventanas para el aula “A” edificio 43 UAA”. Generado en DIALux evo 9.0. Elaborada por el autor.

La figura ejemplifica la incidencia de la luz en un espacio interior, respecto a la posición en la que se ubique una ventana, a mayor altura se distribuye en mayor cantidad hacia los espacios más alejados en el local, el diseño de la posición dependerá de las especificaciones que se tengan para cada proyecto, de la presencia o no de otras ventanas, del uso del local o si se plantea la conexión visual con el exterior. La tabla 12 recopila los valores de iluminancia para los tres casos.

Tabla 12. Variación de iluminancia respecto a la posición de las ventanas. Elaborada por el autor.

Posición	Iluminancia			Uniformidad
	Minima	Máxima	Media	
Alta	14.40	104.00	58.90	24%
Media	20.10	120.00	305.00	17%
Baja	15.20	227.00	1384.00	7%

De la tabla podemos notar que, aunque los valores más altos de iluminancia se encuentran en el aula con la ventana ubicada abajo, el valor de uniformidad es el más bajo respecto a los otros modelos. En la figura 5 se observa esto, prevaleciendo las zonas oscuras en mayor área del local, que en los modelos con las ventanas ubicadas en medio del muro y en la parte superior.

La figura 17 muestra los planos de isólinas para cada uno de los modelos, se observa que la iluminación esta mejor distribuida conforme mayor es la altura de la ventana en el local, a menor altura se tienen niveles de iluminancia mayores pero menor uniformidad, los cambios drásticos de iluminación en un espacio interior son causantes de deslumbramiento.

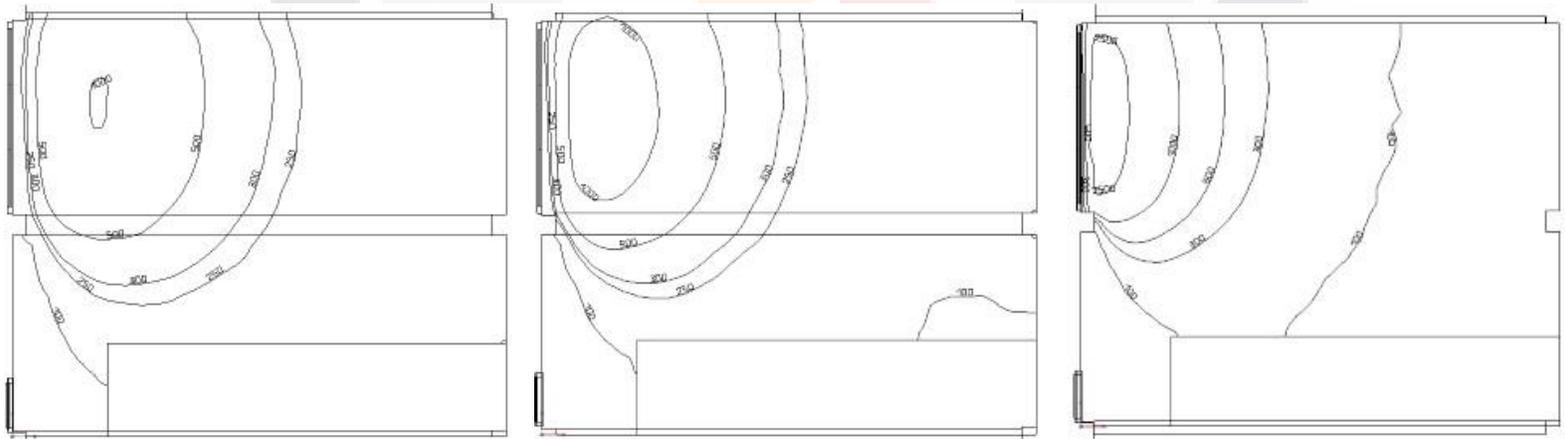


Figura 17. Plantas de isólinas de iluminación provocadas por la posición de las ventanas. Elaborada por el autor.

De derecha a izquierda aparece el diseño de la ventana en una posición alta, media y baja. En la primera se observan menos cambios de iluminación y la mayor área cubierta por al menos 250 luxes. En la segunda se aprecian cambios repentinos cerca del área de la ventana que se van uniformizando conforme el haz de luz se expande en el local, predominan también las mediciones sobre los 250 luxes. Finalmente, para la ventana baja se aprecian cambios bruscos en el área de la ventana que descienden hasta los 100 luxes en un tercio del local.

Sistemas de iluminación

Para analizar los sistemas de iluminación en el edificio 34, éste fue modelado realizando cambios en su estructura para evaluar la respuesta que tendría con la utilización de los sistemas de iluminación. La figura 18 muestra los sistemas propuestos para la evaluación de las aulas.

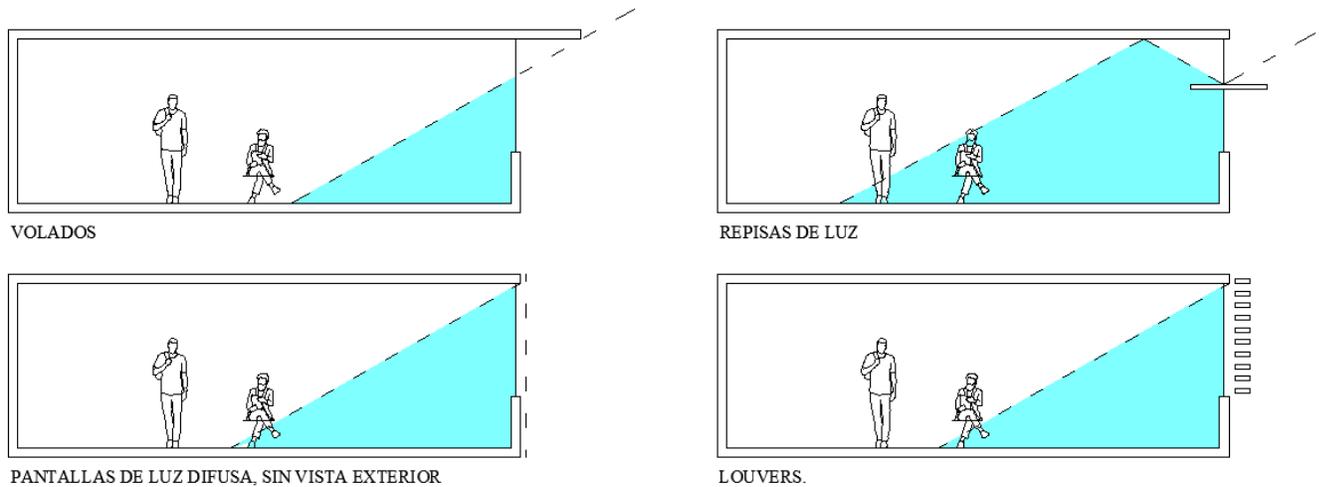


Figura 18. Diseños de sistemas de iluminación natural propuestos. Elaborada por el autor.

Para la evaluación de cada sistema de iluminación, cada uno fue modelado con las mismas condiciones tanto en orientación como en los valores de la reflectancia de los materiales para apreciar únicamente las variaciones lumínicas en el espacio interior de las aulas. Las condiciones para los modelos son las siguientes.

- Orientación: norte-sur.
- Reflectancia de materiales: Piso 40%, Muros 30%, Plafón 60%.
- Modelo 1. Iluminación natural 21/06 (solsticio de verano) a las 16:00 horas y luz directa.
- Modelo 2 Iluminación natural 21/12 (solsticio de invierno) a las 16:00 horas y luz directa.
- Modelo 3 Iluminación natural 21/12 a las 16:00 horas y luz difusa.

Volados

La estructura del edificio 43 original, cumple con el principio de los sistemas de iluminación natural con volados, el cual tiene como finalidad evitar los rayos solares directos en el verano y permitir el paso de la luz en mayor cantidad en in invierno (figura 19)

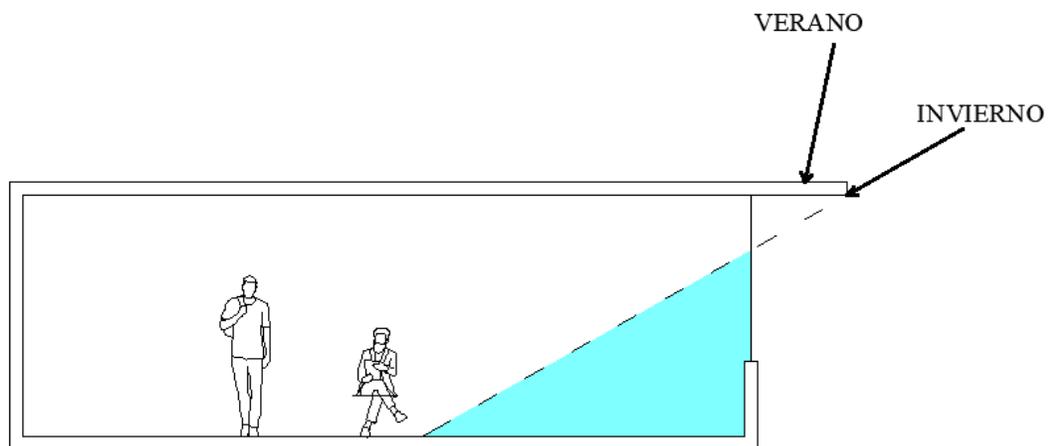


Figura 19. Incidencia de la luz solar en el sistema de iluminación con volados. Elaborada por el autor.

Las figuras 20, 21 y 22 muestran los modelos 1, 2 y 3 para una de las aulas del edificio 43 de la universidad en su estado actual.

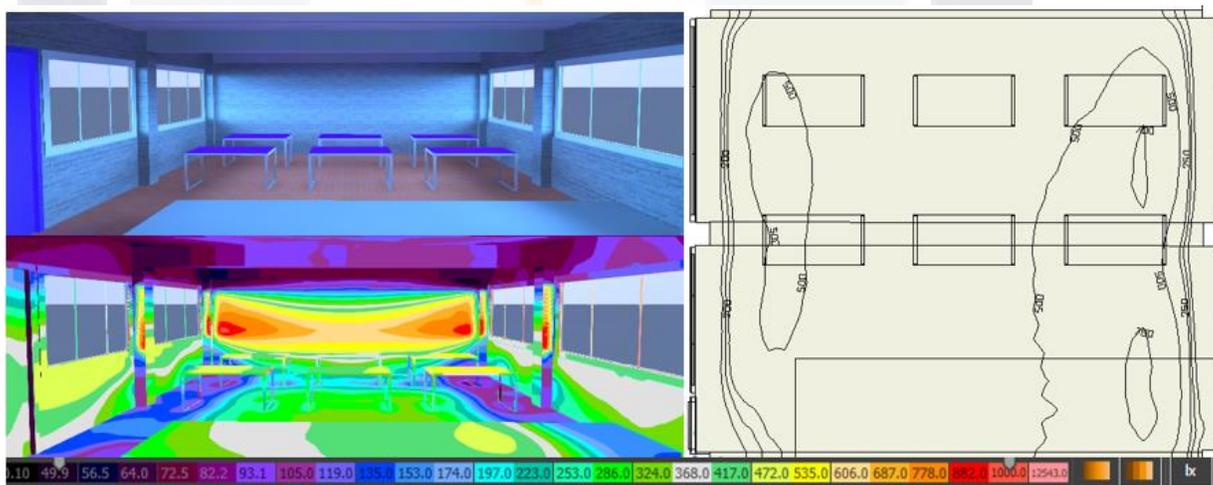


Figura 20. Sistema de iluminación natural: Volados, Modelo 1. Elaborada por el autor.

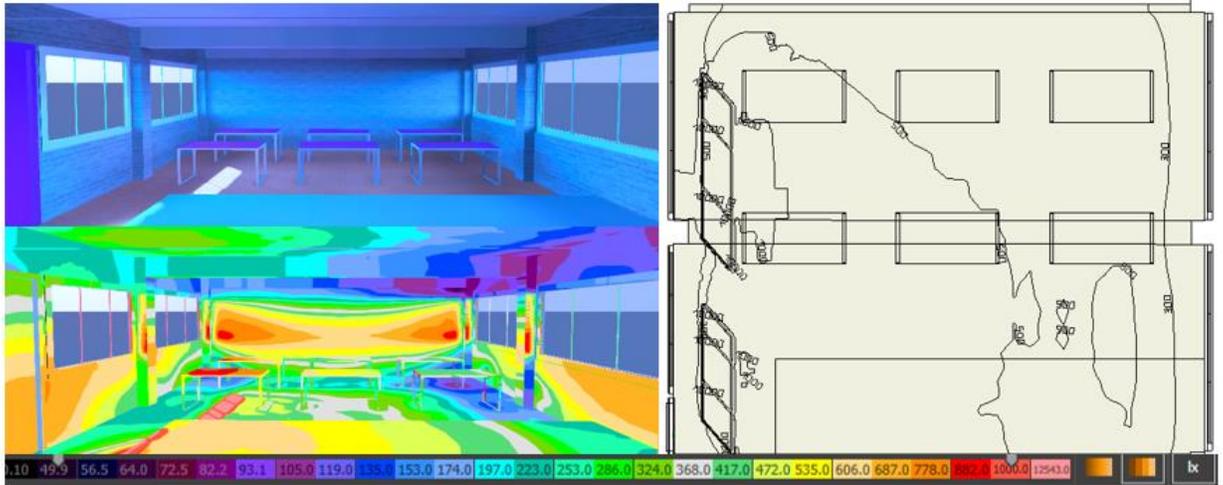


Figura 21. Sistema de iluminación natural: Volados, Modelo 2. Elaborada por el autor.

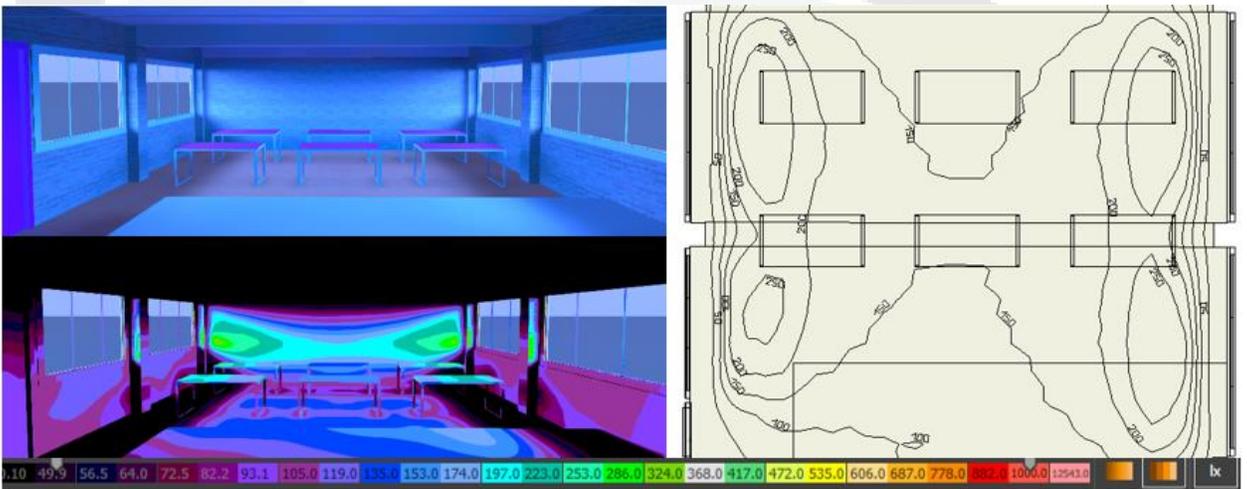


Figura 22. Sistema de iluminación natural: Volados, Modelo 3. Elaborada por el autor.

La tabla 13 resume los valores lumínicos obtenidos para cada uno de los modelos.

Tabla 13. Iluminancia mediada para sistema de iluminación natural: Volados. Elaborada por el autor.

Iluminancia mediada para sistema de iluminación natural: Volados						
Modelo	Iluminación natural	Fecha y hora del modelo	Iluminancia (lx)			Uniformidad
			Mínima	Máxima	Media	
1	Directa	21/06 16:00 hrs	118.00	737.00	428.00	28%
2	Directa	21/12 16:00 hrs	145.00	15410.00	986.00	15%
3	Difusa	21/12 16:00 hrs	27.70	291.00	161.00	17%

Como se observa en la figura 19, la incidencia de los rayos solares directos para este tipo de sistema de iluminación natural, ocurre mayormente en invierno, por esta razón en la tabla observamos un valor de 15410 luxes en el interior del aula. La figura 21 donde se representa el modelo 2, aparece una franja de luz solar directa, este haz de luz que penetra el aula, es el causante de la variación tan significativa de iluminancia.

El sistema de iluminación tiene un aprovechamiento mayor en el verano, ya que por la configuración del volado no inciden directamente rayos solares en el interior y se aprovecha mayormente la luz difusa, el valor de uniformidad también es significativamente mayor para el verano lo que favorece a evitar el deslumbramiento en el interior.

Repisas de luz

El sistema de iluminación de repisas de luz, busca distribuir la iluminación a través del plafón del local, además busca evitar la incidencia de los rayos solares directamente en el espacio interior (figura 23).

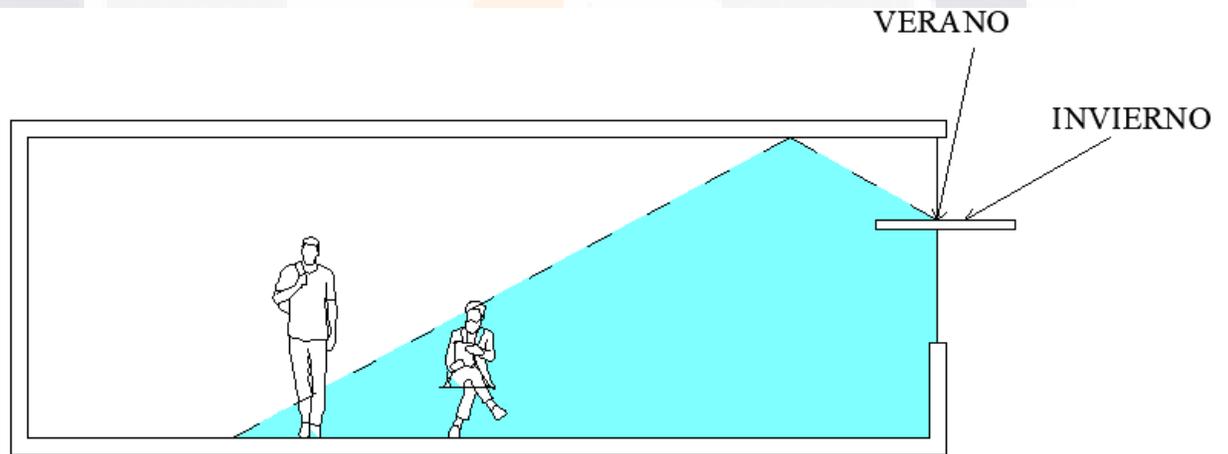


Figura 23. Incidencia de la luz solar en sistema de iluminación con repisas de luz. Elaborada por el autor.

Las figuras 24, 25 y 26 muestran los modelos 1, 2 y 3 para una de las aulas del edificio 43 de la universidad reconfigurando la estructura para simular un sistema de iluminación con repisas de luz.

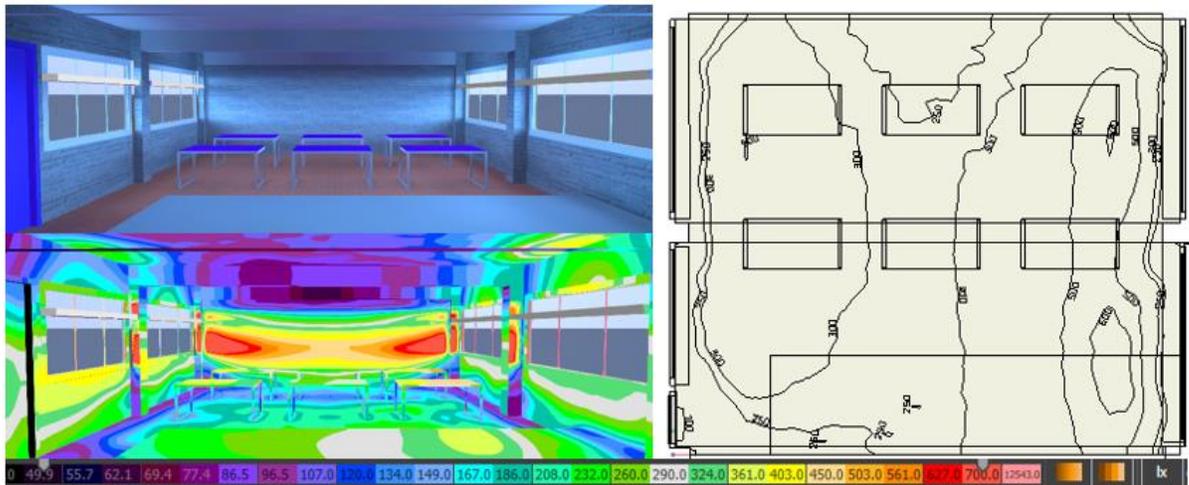


Figura 24. Sistema de iluminación natural: repisas de luz, Modelo 1. Elaborada por el autor.

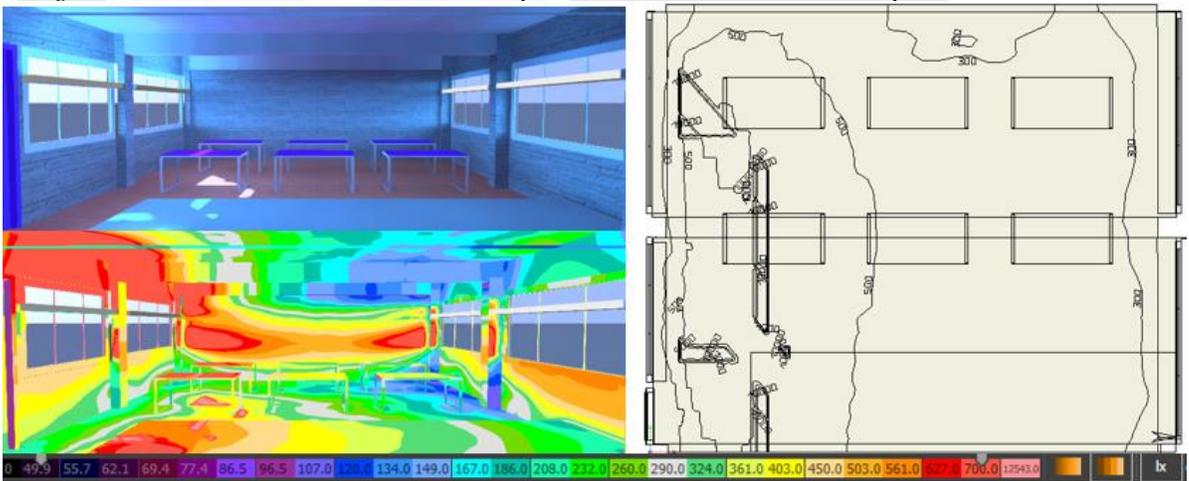


Figura 25. Sistema de iluminación natural: repisas de luz, Modelo 2. Elaborada por el autor.

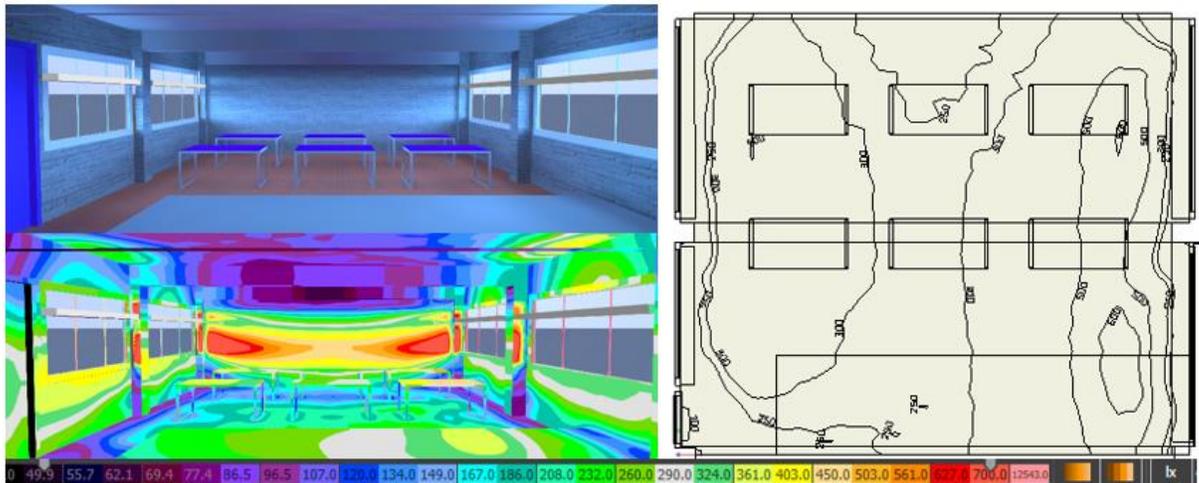


Figura 26. Sistema de iluminación natural: repisas de luz, Modelo 3. Elaborada por el autor.

La tabla 14 resume los valores lumínicos obtenidos para cada uno de los modelos.

Tabla 14. Iluminancia mediada para sistema de iluminación natural: repisas de luz. Elaborada por el autor.

Iluminancia mediada con la implementación de Repisas de Luz						
Modelo	Iluminación natural	Fecha y hora del modelo	Iluminancia			Uniformidad
			Mínima	Máxima	Media	
1	Directa	21/06 16:00 hrs	97.70	664.00	341.00	29%
2	Directa	21/12 16:00 hrs	142.00	15510.00	762.00	19%
3	Difusa	21/12 16:00 hrs	25.20	239.00	134.00	19%

La figura 24 que representa el modelo 1 para el solsticio de verano, muestra que el sistema de iluminación, logra evitar la incidencia de los rayos solares directamente en el interior, desviándolos con dirección al plafón, evitando valores de iluminancia para esta época del año.

En invierno, la figura 25, cuando el ángulo de incidencia es menos favorable para la edificación, se observa en la imagen de colores falsos como la repisa de luz desvía la iluminación al plafón y se distribuye con dirección al fondo de la sala, sin embargo, no los evita en su totalidad. La tabla 14 en el modelo 2 se tienen una medición muy alta que representa los rayos que superan la repisa y llegan hasta el plano de trabajo.

Una de las finalidades de las repisas de luz es lograr distribuir de la mejor manera posible la luz difusa, el sistema de iluminación logra la misma uniformidad para la luz difusa que para la luz directa en el solsticio de invierno, que representa una de las condiciones más críticas de iluminación natural.

Pantallas de luz difusa

Los sistemas de iluminación difusa buscan evitar las estructuras exteriores en las fachadas e implementando el sistema directamente en los vidrios de las aberturas de la edificación (figura 27).

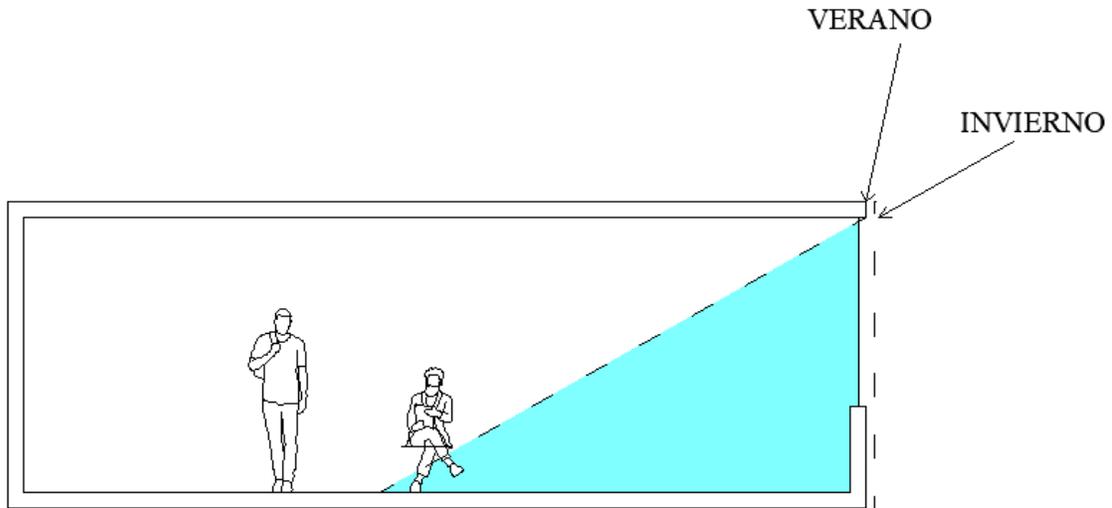


Figura 27. Incidencia de la luz solar en sistema de iluminación con pantalla de luz difusa. Elaborada por el autor.

Las figuras 28, 29 y 30 muestran los modelos 1, 2 y 3 para una de las aulas del edificio 43 de la universidad retirando las estructuras exteriores para simular un sistema de iluminación con pantallas de luz difusa.

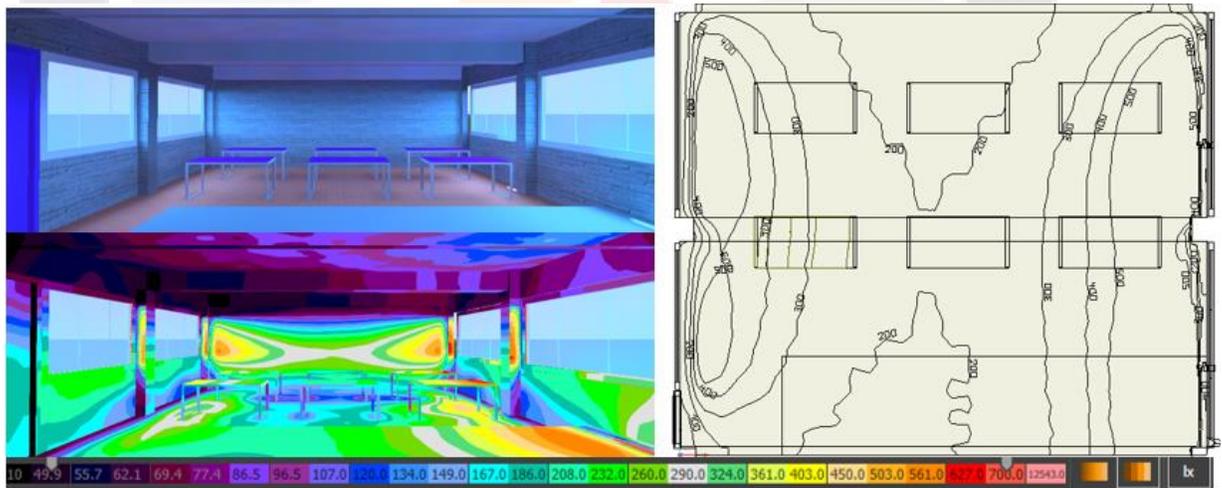


Figura 28. Sistema de iluminación natural: pantalla de luz difusa, Modelo 1. Elaborada por el autor.

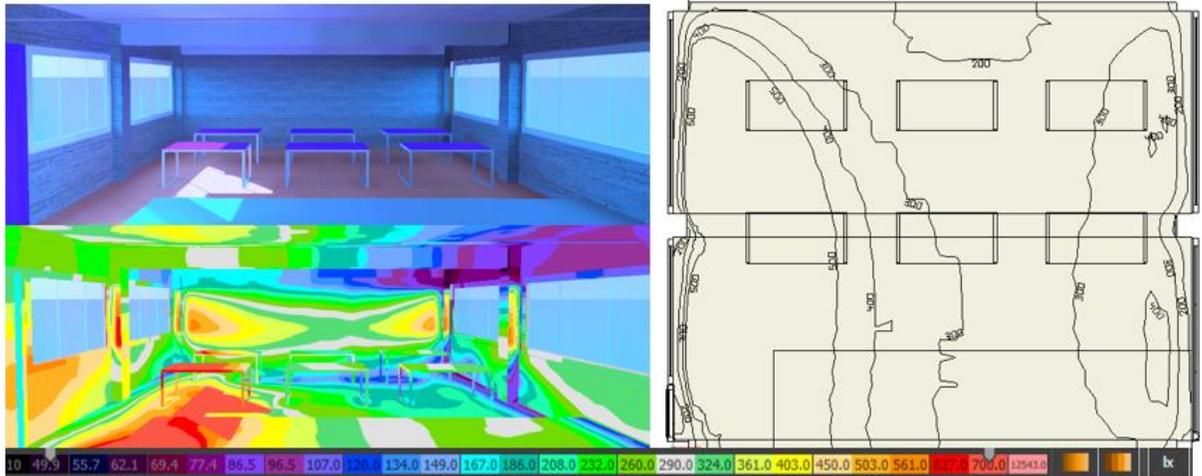


Figura 29. Sistema de iluminación natural: pantalla de luz difusa, Modelo 2. Elaborada por el autor.

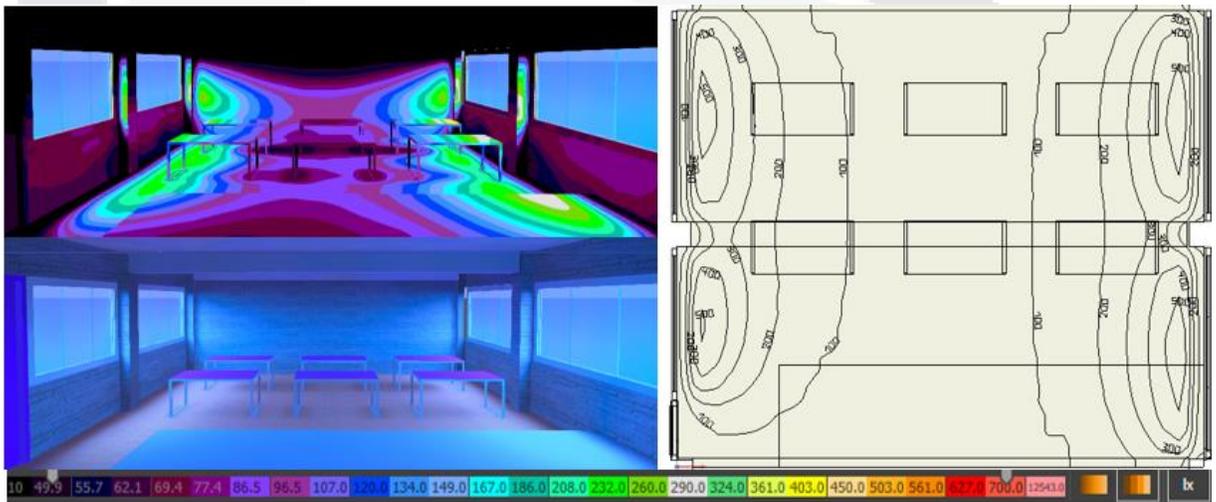


Figura 30. Sistema de iluminación natural: pantalla de luz difusa, Modelo 3. Elaborada por el autor.

La tabla 15 resume los valores lumínicos obtenidos para cada uno de los modelos.

Tabla 15. Iluminancia mediada para sistema de iluminación natural: pantallas de luz difusa. Elaborada por el autor.

Iluminancia mediada con la implementación de Pantallas de luz difusa						
Modelo	Iluminación natural	Fecha y hora del modelo	Iluminancia			Uniformidad
			Mínima	Máxima	Media	
1	Directa	21/06 16:00 hrs	71.90	5698.00	363.00	20%
2	Directa	21/12 16:00 hrs	117.00	7129.00	1041.00	11%
3	Difusa	21/12 16:00 hrs	20.00	553.00	174.00	11%

Debido a la naturaleza del sistema de iluminación, en donde no se tienen estructuras que interpongan una barrera para la incidencia de los rayos solares, se tienen valores de uniformidad bajos para los 3 modelos propuestos, además se observan valores de iluminancia altos cuando se modela bajo condiciones de luz directa. En la figura 29 se aprecia como el área de incidencia de los rayos solares es proporcional al tamaño de las aberturas presentes en el aula.

Para la condición crítica de iluminación, este sistema de iluminación tiene la media mayor en comparación con el resto de sistemas de iluminación, sin embargo, el plano de isolíneas de la figura 30 muestra como en el lugar más alejado del local la iluminancia tiene valores por debajo de los 100 luxes lo que genera un valor de uniformidad muy bajo.

Louvers

Las edificaciones donde se instalan louvers como sistema de iluminación tiene como finalidad desviar los rayos de luz directa entre su estructura para evitar que lleguen directamente al interior de la edificación (figura 31).

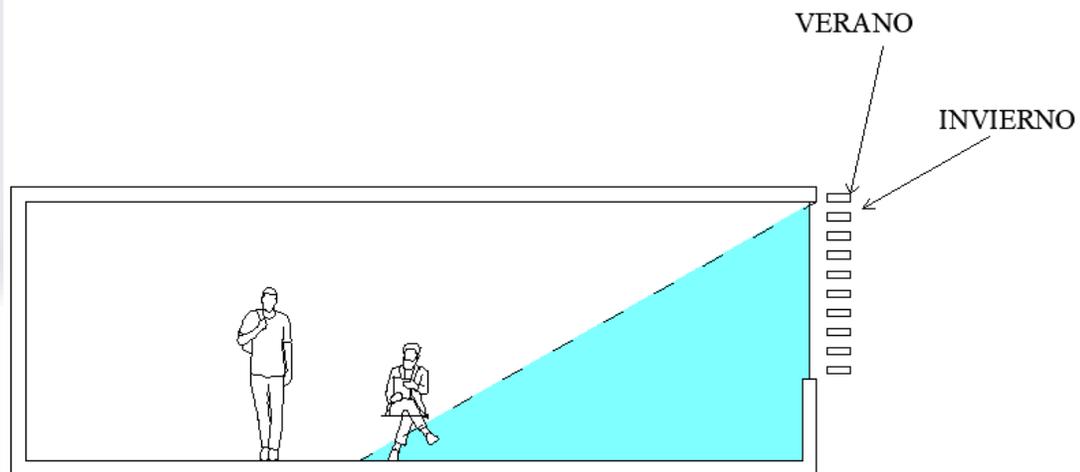


Figura 31. Incidencia de la luz solar en sistema de iluminación con louvers. Elaborada por el autor.

Las figuras 32, 33 y 34 muestran los modelos 1, 2 y 3 para una de las aulas del edificio 43 de la universidad utilizando un sistema de iluminación con la implementación de louvers.

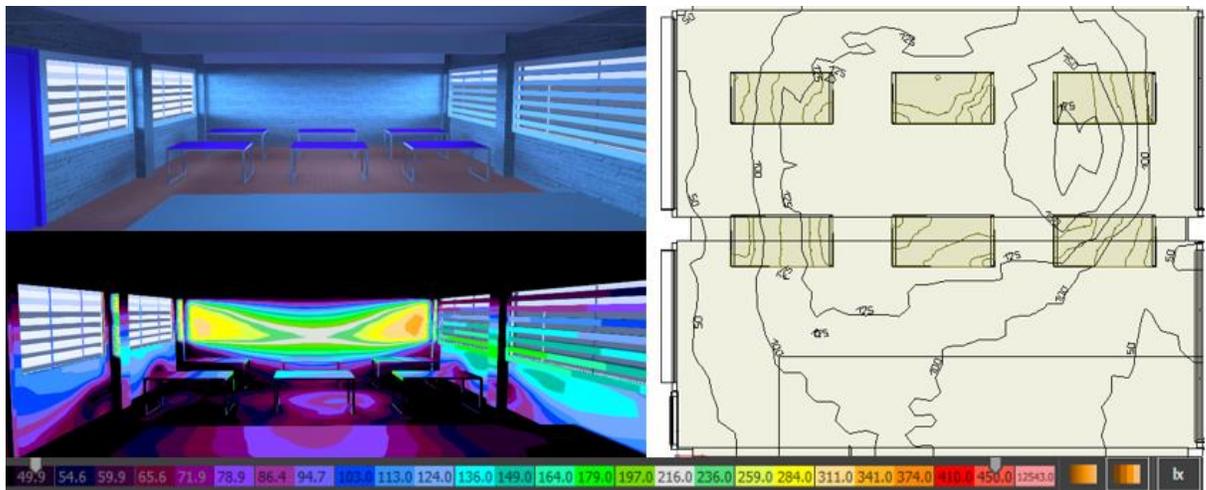


Figura 32. Sistema de iluminación natural: louvers, Modelo 1. Elaborada por el autor.

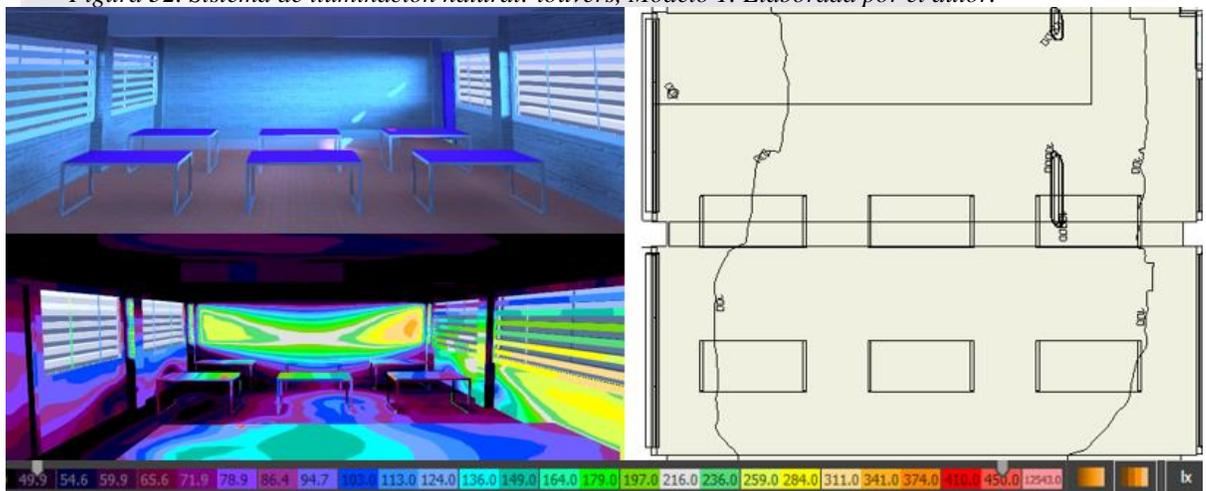


Figura 33. Sistema de iluminación natural: louvers, Modelo 2. Elaborada por el autor.

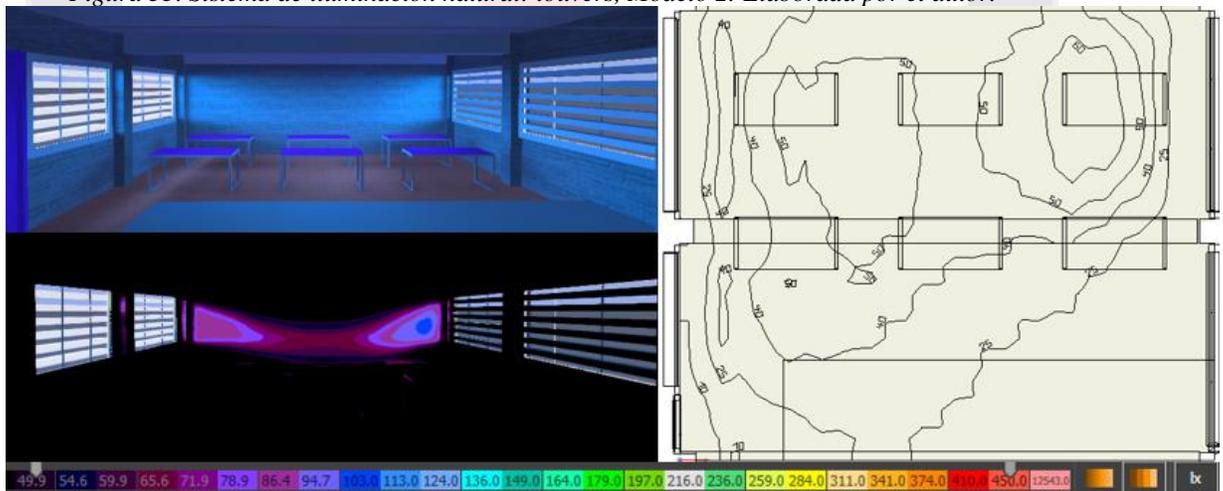


Figura 34. Sistema de iluminación natural: louvers, Modelo 3. Elaborada por el autor.

La tabla 16 resume los valores lumínicos obtenidos para cada uno de los modelos.

Tabla 16. Iluminancia mediada para sistema de iluminación natural: Louvers. Elaborada por el autor.

Iluminancia mediada con la implementación de Louvers						
Modelo	Iluminación natural	Fecha y hora del modelo	Iluminancia			Uniformidad
			Mínima	Máxima	Media	
1	Directa	21/06 16:00 hrs	23.90	184.00	104.00	28%
2	Directa	21/12 16:00 hrs	37.20	14546.00	163.00	23%
3	Difusa	21/12 16:00 hrs	6.89	69.20	35.60	19%

El sistema de iluminación con la implementación de louvers, logra la uniformidad más alta, en el solsticio de invierno en comparación con los sistemas de iluminación mostrados en esta investigación, dicho día es cuando se tiene la incidencia mayor de los rayos solares, además la figura 33, muestra la poca incidencia que los rayos solares tienen en el interior de la edificación, en el plano de isolíneas se puede observar la uniformidad en toda el área del aula.

Cuando no se tienen la presencia de iluminación solar directa, este sistema de iluminación no es el más eficiente para distribuir la iluminación hacia el interior del aula, la figura 34 muestra en la imagen de colores falsos, la ausencia de iluminación en gran parte del área de estudio.

La iluminancia media en el solsticio de verano, pese a que tiene una uniformidad alta, como se aprecia en la tabla 16, el valor de iluminancia media es el más bajo si lo comparamos con el resto de modelos.

Para realizar una comparativa de los sistemas de iluminación presentados la tabla 17 muestra los valores de iluminancia y uniformidad para cada uno de ellos.

Tabla 17. Iluminancia mediada y uniformidad para cada sistema de iluminación natural.

Sistema de iluminación natural	Modelo	Iluminancia			Uniformidad
		Mínima	Máxima	Media	
Volados					
	1	118.00	737.00	428.00	28%
	2	145.00	15410.00	986.00	15%
	3	27.70	291.00	161.00	17%
Repisas de luz					
	1	97.70	664.00	341.00	29%
	2	142.00	15510.00	762.00	19%
	3	25.20	239.00	134.00	19%
Pantallas de luz difusa					
	1	71.90	5698.00	363.00	20%
	2	117.00	7129.00	1041.00	11%
	3	20.00	553.00	174.00	11%
Louvers					
	1	23.90	184.00	104.00	28%
	2	37.20	14546.00	163.00	23%
	3	6.89	69.20	35.60	19%

Cuando se tiene la incidencia directa de los rayos solares (modelos 1 y 2) el sistema de iluminación que tiene la menor capacidad de distribuir la iluminación en el interior del espacio son las pantallas de luz difusa. Los otros sistemas se comportan de manera muy similar, en cuanto a uniformidad para el solsticio de verano (modelo 1). Existen variaciones en el solsticio de invierno (modelo 2) debido a que el ángulo de incidencia de los rayos solares penetra de manera más directa en esta fecha. El sistema de iluminación con la implementación de Louvers es el que menos variación tiene entre ambas uniformidades.

El sistema de iluminación de repisas de luz, tiene como finalidad distribuir la luz hacia el espacio interior por medio del plafón, para lograr uniformidad. Este sistema no muestra variación para esta variable, cuando en el solsticio de invierno se tiene luz directa (modelos 2) y cuando solo se tiene luz difusa (modelo 3). Las pantallas de luz difusa tampoco muestran variación entre estos dos modelos, pero su valor es menor.

En cuanto a la variable de iluminancia, las pantallas de luz difusa son las que mejor controlan la incidencia de los rayos solares directos (modelos 2), en el solsticio de invierno, teniendo una medición de menos del 50% que el resto de sistemas, debido a que la naturaleza del sistema se basa en que los cristales de las aberturas de edificio absorban, en la mayor cantidad

posible, la luz del exterior. Al no contar con estructuras que eviten el paso de los rayos solares, también es el sistema que mayor media promedia de iluminancia en el solsticio de invierno (modelos 2 y 3).

De acuerdo con el código municipal de Aguascalientes, un aula requiere al menos de 250 luxes, ninguno de los 3 sistemas de iluminación cumple con el requisito en el solsticio de invierno a las 16:00 horas (modelo 3) sin contemplar la luz directa.



Capítulo VI: Conclusiones

Conclusión General

Una vez terminada la investigación y analizado los resultados obtenidos, se concluye que:

Los lineamientos marcados en las certificaciones de construcción sustentable pueden fungir como directriz para implementar mejoras en el código municipal de Aguascalientes, la comparativa realizada en el capítulo IV de esta investigación presenta los puntos donde convergen las certificaciones y en el capítulo V se presenta las propuestas de aplicación de dichos lineamientos.

La hipótesis planteada para la investigación se cumple, a continuación, en las conclusiones particulares, se presentan las propuestas generadas para la mejora del código municipal de Aguascalientes.

Conclusiones particulares

La definición de la calidad lumínica de espacio interior se analizaron las variables de orientación de las fachadas, reflectancia de los materiales y los sistemas de ventanas presentes en una edificación. Realizado el análisis de cada variable, se concluye que:

1.- La orientación de las fachadas de la edificación debe de ser fundamental para el desarrollo de espacios de iluminación ya que como se observó en el capítulo de resultados en la figura 18. La orientación ideal es norte-sur, si se elige la opuesta las variaciones en la iluminación provocadas por la incidencia de la luz directa puede ser molesta y causar deslumbramiento.

2.- La reflectancia de los materiales utilizados en los pisos no es un factor considerable dentro de las certificaciones de construcción sustentable ni en la norma mexicana, la tabla 11 muestra que las variaciones más grandes en la iluminancia de local se producen cuando se aumentan los valores de reflectancia tanto en muros como en el piso. Añadir la reflectancia en pisos en los métodos de evaluación de la reflectancia de los materiales, es una de las propuestas que presenta esta investigación, actualmente la norma mexicana solo toma en consideración la reflectancia de los muros y el plano de trabajo, sin considerar las aportaciones del piso.

3.- Los sistemas de ventanas de las edificaciones debe ser considerado, de acuerdo a lo que se busque en el proyecto. Considerar la forma de las ventanas para una lograr una uniformidad mayor en el local, y la posición para determinar la profundidad a la que incidirá la luz en el espacio interior

El modelo comparativo de las certificaciones de construcción sustentable nos otorgó la información para concluir que:

1.- Las certificaciones LEED y BREEAM coinciden en una medición mínima de 300 luxes en el espacio interior de las edificaciones para otorgar puntos a la calificación, la certificación de construcción sustentable mexicana solicita al menos 250 luxes provocados por la iluminación natural. Además, BREEAM menciona que la iluminación solicitada debe estar presente durante al menos 2000 horas por año, lo que representa al menos 5 horas y media, en promedio por día.

El día más “corto” del año o en el que menos horas de luz de día se tienen, es el 21 de diciembre, fecha del solsticio de invierno, cuando analizamos la iluminancia en esta fecha a las 10:00 hrs, se tiene más de 250 luxes en más del 50 % del área del aula, mientras que para las 15:00 se tienen valores por encima de los 250 luxes, y prácticamente el 50% del espacio arriba de 300 luxes con esto podemos decir que se cumpliría lo establecido por la norma mexicana de construcción sustentable.

La propuesta para el código sería: Para edificios con uso escolar, tener mediciones de 300 luxes en los espacios interiores durante 2000 horas por año o más, en por lo menos el 50% del aula.

2.- BREEAM, DGNB e ICARO, toman como referencia el coeficiente de luz diurna para calificar las edificaciones. Dicho factor considera la iluminación exterior e interior provocada por la luz natural en un instante. Depende solamente de la configuración del local y del entorno, motivo por el cual puede ser aplicable en la ciudad de Aguascalientes. BREEAM en la tabla 5 considera valores de entre 1.5% y 2.2% para al menos el 60% de la edificación, DGNB solicita para su acreditación el 1% en al menos el 50% del espacio interior, mientras que ICARO menciona que el 3% es el valor ideal de este parámetro. Es importante mencionar que las diferencias en los parámetros solicitados, pueden surgir debido a la zona geográfica de donde proviene cada una de ellas; Reino unido, Alemania y las islas Canarias en España, respectivamente.

Analizando bajo las condiciones lumínicas críticas del solsticio de invierno el modelo de una de las aulas del edificio 43 de la UAA cumple con el 50% del espacio interior superior al 2.00%, con lo que cumpliríamos el requisito solicitado por BREEAM y por DGNB. Mientras que no se alcanza el valor ideal presentado por ICARO, pero se encuentra por el encima del 1% que dicho manual recomienda como mínimo.

Partiendo de los resultados observados, la propuesta preliminar para el código municipal es solicitar una medición de la luz diurna del 2.00%, en por lo menos en el 50% del espacio interior.

3.- Las certificaciones de construcción sustentable LEED, BREEAM y DGNB, mencionan la importancia de aprovechar de manera eficiente la iluminación natural. Con la implementación de sistemas de iluminación es posibles lograr esto.

De acuerdo a los sistemas evaluados para las aulas del edificio 34, es de suma importancia identificar las necesidades para cada tipo de proyecto y partiendo de esto, definir el sistema que mejor se adapte a las necesidades del proyecto. La propuesta al código municipal es realizar análisis de iluminancia y uniformidad de iluminación natural para los proyectos de construcción con uso escolar, donde se considere la orientación de las fachadas, la aportación de la iluminación exterior, la forma y tamaño de las aberturas de la edificación y si es posible mejorar el diseño mediante la implementación de algún sistema de distribución de iluminación natural.

Nichos de investigación.

La investigación esta abierta para ser ampliada en los puntos mencionados a continuación:

1.- Realizar modelos de iluminación para diversas edificaciones que no solo sean de uso académico. En donde se consideren las tareas a realizar y el diseño se genere en función de las necesidades de los usuarios, en busca de ampliar el conocimiento del aprovechamiento de la iluminación natural en los espacios interiores de cualquier construcción.

2.- Analizar, plantear y definir el desarrollo de manuales propios del estado, en el cual se consideren las variables naturales del lugar, para realizar diseños integrales de iluminación en los que sea posible reducir el uso de iluminación artificial durante las horas con luz de día.

3.- Plantear nuevos sistemas de aprovechamiento de la iluminación natural y/o la combinación de varios para incrementar el aprovechamiento de la iluminación natural y disminuir el uso de luminarias eléctricas.

4.- Generar sistemas que logren alcanzar los mínimos requeridos por el código municipal, solo con iluminación natural, incluso en días nublados o en días con poca luz disponible para dirigir al interior de la edificación.

5.- Replicar los modelos realizados utilizando el software, en la realidad para con ello, comparar y revisar la validez de los resultados obtenidos.

Referencias

- Balocco, C., Volante, G. (2019). A Method for Sustainable Lighting, Preventive Conservation, Energy Design and Technology—Lighting a Historical Church Converted into a University Library. *Sustainability*. Florencia: Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Building Research Establishment, BREEAM International New Construction. (2016). *Technical Manual for BREEAM International New Construction*. Recuperado de <https://www.breeam.com/discover/technical-standards/newconstruction/>
- Comité Español de Iluminación, Instituto para la diversificación y ahorro de Energía. Guía técnica. (2005). *Aprovechamiento de la luz natural en edificios*. Recuperado de https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10055_GT_aprovechamiento_luz_natural_05_ff12ae5a.pdf
- Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, DGNB System. (2018). *Criteria set new construction building*. Recuperado de <https://www.usgbc.org/resources/leed-v4-building-design-and-construction-current-version>
- Esquivias, P. (2017). *Análisis lumínico y térmico en base climática de estrategias arquitectónicas de iluminación natural*. Sevilla, España: Universidad de Sevilla.
- Ferris, L. (2010). *Environmental and Cultural Sustainability in the Built Environment: An Evaluation of LEED for Historic Preservation*. Massachusetts, EUA: Massachusetts Institute of Technology.
- Gutiérrez, M. (2005). *Aprovechamiento eficiente de la luz diurna en las aulas tipo CAPFCE de la Universidad de Colima, Campus Coquimatlán, Col.* Coquimatlán, Colima: Universidad de Colima.
- H onorable Ayuntamiento de Aguascalientes (2019). *Código municipal de Aguascalientes*. Recuperado de <http://eservicios2.aguascalientes.gob.mx/NormatecaAdministrador/archivos/MUN-4-2.pdf>
- Hraška, J. (2018). New Daylighting Metrics. VII. *Lighting Conference of the Visegrad Countries (Lumen V4)*. Trebic: IEEE. doi:10.1109/LUMENV.2018.8521017
- Leadership in energy & environmental Design, LEED v4 (2019). *LEED v4 for Building desing and Construction*.

- Mergold, S. G. (2013). *Certificación de edificios verdes en México, LEED y otros sistemas*. Ciudad de México, México: Universidad Autónoma de México.
- Meza, L. (2015). *Estrategias de diseño de iluminación natural en edificios educativos de nivel básico para mejorar el confort lumínico y obtener ahorro energético*. Ciudad de México, México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Monroy, M. M. (2003). *ICARO, Manual de Iluminación*. Las Palmas, España: Ayuntamiento de las Palmas de Gran Canaria.
- Muros, A. (2016). *La luz y la expresión del movimiento*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Pujols, C. J. (2016). *La iluminación Artificial del Espacio Interior Parámetros para un Diseño Emocional*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Ribero, Ó., Garzón, D., Alvarado, Y., & Gasch, I. (2016). Beneficios económicos de la certificación LEED. Edificio Centro Ático: caso de estudio. *Revista Ingeniería de Construcción*, 31(2), 139-146.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (2013). *NMX-AA-164-SCFI-2013*. Recuperado de: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/DO3156.pdf>
- Shaurette, M., & Lung, L. (2018). El trabajo colaborativo, aplicado al diseño y la construcción, para promover la construcción de edificios verdes en Perú. *Revista de Ingeniería de construcción*, 33(2), 183-192.
- Sierra, J. (2017). *Medición y evaluación del confort lumínico, térmico y sonoro al que está expuesto el personal administrativo de la constructora China Gezhouba Group Company*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Sümengen, Ö; F., Uyan; A., Yener. (Abril de 2017). Energy Efficient Lighting In Retail Spaces - Case Study. *Online Journal of Art and Design*, 5(2), 38-52.
- Urrutia, S. (2018). *Confort lumínico en los espacios de estudio de las escuelas profesionales de Arquitectura de las universidades de Huancayo*. Huancayo, Perú: Universidad Peruana Los Andes.
- Verso, V. R., & Pellegrino, A. (2015). Daylighting Systems for Sustainable Indoor Lighting. En P. Sansoni, L. Mercatelli, & A. Farini (Edits.), *Sustainable Indoor Lighting* (págs. 221-261). London: Springer, Verlag.

