



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCOTORADO EN ARQUITECTURA
TECNOLOGÍA

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE
ILUMINACIÓN ARQUITECTÓNICA**

TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE MAESTRA EN ARQUITECTURA

PRESENTA

AVRIL ORTIZ ÁVILA

TUTORA:

DRA GEMMA LUZ SYLVIA VERDUZCO CHIRINO
Facultad de Arquitectura, UNAM

SINODALES:

DRA GENEVIVE LUCET LAGRIFFOUL, Facultad de Arquitectura UNAM

MTRO. ANTONIO BAUTISTA KURI, Facultad de Arquitectura, UNAM

MTRO FRANCISCO REYNA GÓMEZ, Facultad de Arquitectura, UNAM

DRA. ANA FLORES SANDOVAL, Facultad de Arquitectura, UNAM

México D.F. Mayo 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central

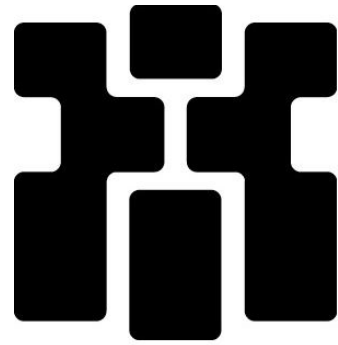


UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



ÍNDICE

Índice	1
Introducción	4
I. Luz ≠iluminación arquitectónica.....	7
Luz y arquitectura	10
Iluminación y arquitectura	12
Natural y artificial	12
Breve Historia	15
Iluminación Natural y Arquitectura.....	26
II. El proyecto de iluminación arquitectónica	27
El concepto	32
Tarea/actividad.....	33
Jerarquía/Capas	34
Usuarios	36
Modelo IES.....	43
Proyecto ejecutivo	44
El diseñador de iluminación o lighting designer.	46
Represnetaciones y Entregables	48
Dibujos y bocetos	48
Representaciones abstractas.....	48
Representaciones esquemáticas	50
Especificaciones.....	58
III. Energía	63
Definición	64
Watt, Watt-hora, candelas, etc.	66
Entropía.....	68

La eficiencia y la eficacia	69
Eficiencia energética	70
Energía destinada a iluminar	72
Retrofitting.....	74
Normatividad	74
Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado.	79
Contaminación Lumínica.....	80
Métodos de representación de energía lumínica	83
Sistema LBR.....	83
La escala de grises.....	83
Descripción del método	84
Pseudo color.....	86
Autodesk 3ds Max.....	86
DIALux.....	89
IV. Propuesta	91
Revisión al modelo IES	92
Uso del espacio y análisis de los usuarios.....	93
Coexistencia de la luz natural y artificial (%).	94
Operación y Mantenimiento.....	98
Evaluación del modelo.	98
V. Caso de estudio.....	101
Análisis arquitectónico.....	101
Análisis de los usuarios.....	104
Uso.....	105
Proyecto.....	108
Propuesta LBR	111
Aparatos lumínicos	114

Lámparas y luminarias	114
De la propuesta a la simulación	115
Análisis de Resultados.....	116
Comparación con la escala LBR.....	120
Coexistencia de la luz artificial y natural.	122
Análisis de Resultados de Dialux.	122
Conclusiones.....	126
Referencias	131
Apéndice A: Visión	134
Apéndice B: Luminotecnia	138
Iluminancia	138
Visibilidad	138
Luminancia	139
Apéndice C Aparatos lumínicos.....	142
Lámparas.....	142
Incandescencia.....	144
Lámparas de descarga.....	145
Estado sólido.....	146
Luminarias.	149

INTRODUCCIÓN

Cada espacio arquitectónico a iluminar está pensado en específico para que en él se realice una o varias tareas. Las mismas dimensiones pueden utilizarse para tareas completamente diferentes. Otro aspecto importante a considerar es el ambiente que se desea generar. Aunque la tarea sea la misma, el ambiente puede ser diametralmente opuesto.

Arquitectos e ingenieros interesados en el tema de iluminación, se encuentran sumidos en un mar de información por parte de la industria. Campañas publicitarias de los fabricantes **de equipo de iluminación artificial nos invitan a “ahorrar energía”** utilizando ciertas tecnologías. Las frases *bajo consumo, foco ahorrador*; resuenan en la conciencia popular como si se tratase de una simple receta de cocina, sin considerar más aspecto que la potencia (Watts) de las lámparas.

Estos profesionistas también se topan con que están regulados por normas que limitan el uso a una cantidad de potencia determinada por metro cuadrado (W/m^2) lo que resulta en que día a día nos topamos con una pobre aplicación de tecnologías que consumen menos energía.

Tal parece que la respuesta ante el problema de ser energéticamente eficientes al iluminar **es sencilla; solamente aplicar tecnologías de “bajo consumo” para cumplir con una cantidad** de potencia delimitada por la normatividad. En automático estaremos consumiendo menos energía y abaratando la factura por consumo de energía eléctrica

Este documento tiene como objetivo proponer un procedimiento compuesto de una serie de tácticas y prácticas que faciliten el análisis e implementación de los sistemas de iluminación arquitectónica, con el propósito de que estos sean energéticamente eficientes.

El primer capítulo, Luz ≠ Iluminación Arquitectónica, establece los conceptos base de este documento. Se denota la importancia de la luz en la arquitectura y cómo el título indica, hace una diferencia entre los conceptos luz e iluminación, que muchas veces se utilizan de manera indistinta en el hablar de cotidiano, pero cuya sutil diferencia resulta importante para el quehacer y diseño arquitectónico.

Repasa brevemente la historia de la iluminación artificial en la arquitectura como un proceso evolutivo muy lento hace no más de 200 años y pero que ha acelerado vertiginosamente desde la bombilla de Edison; hoy en día los diseñadores piensan en la iluminación artificial cómo parte integral del proyecto de arquitectura, pero no siempre fue así. En este capítulo se introduce por primera vez el concepto *lichtarkitektur* (en alemán) o su traducción más cercana luz arquitectura, propuesto en la década de los 20 y que resume la necesaria interdisciplinariedad entre técnica y arte en el tema de iluminación arquitectónica

En la primera mitad del segundo capítulo se discute el proyecto de iluminación arquitectónica como parte integral de un proyecto de arquitectura pero con ciertas características que lo singularizan: la conceptualización de la luz en el espacio, las actividades a realizarse, las jerarquías o capas de luz que se diseña y las necesidades propias del usuario. En la segunda mitad se habla de cómo estas consideraciones se materializan y se hacen construibles. Se analiza el modelo que propone la Sociedad de Ingenieros de Iluminación (IESNA o IES) para aterrizar un proyecto, así como las herramientas para presentar la información. En este capítulo aparece un actor importante: el diseñador de iluminación o *lighting designer* como también se le llama en nuestro país, un especialista en la técnica y pero también en diseño arquitectónico y sobre todo en diseño de luz.

Si descomponemos el título del documento en dos grandes mitades la primera sería Eficiencia Energética, es hasta el tercer capítulo titulado Energía que se toca el tema. En un principio, se toman definiciones útiles de algunos conceptos como energía, potencia eléctrica, consumo, unidades lumínicas y entropía; que si bien suelen ser claros para los ingenieros, la experiencia que suelen ser confusos para el público general e inclusive algunos arquitectos. Esto, ayuda a delimitar la definición de Eficiencia Energética pero no de manera general, eso sería amplísimo, sino confeccionada a la medida para la iluminación arquitectónica.

En este tercer capítulo se enumeran las normas nacionales e internacionales que aplican cuando se construye un sistema de iluminación arquitectónica. Hacia el final del capítulo se discuten los diferentes métodos de representación de energía lumínica que más adelante serán herramientas útiles que permiten analizar lo que sucede con la energía en el espacio.

El cuarto capítulo es ya la propuesta que hace el documento. El concepto de luz-arquitectura del que se habló en el primer capítulo sirve como eje rector para elaborar un modelo en un principio teórico que une la parte técnica y la parte arquitectónica para lograr una mejor eficiencia en los sistemas eléctricos de iluminación, es decir no solo se trata del ahorro de energía, sino que la iluminación en el espacio construido, se comporte cómo fue diseñada. Se toma el modelo IES de eficiencia energética que se presentó en el Capítulo 2, porque toma elementos técnicos, elementos arquitectónicos y al usuario. Se realizan algunas adecuaciones para complementar el modelo y poder realizar un análisis cualitativo y cuantitativo de lo que sucede con la luz iluminando el espacio desde un punto de vista energético.

El capítulo cinco toma un espacio interior residencial, con requerimientos especiales muy específicos de iluminación arquitectónica y se desarrolla el proyecto considerando el modelo propuesto en el capítulo cuarto.

I. LUZ ≠ ILUMINACIÓN

ARQUITECTÓNICA

“La luz tiene una flexibilidad milagrosa, puede crear sombras hacerlas vivir y distribuir la armonía de sus vibraciones en el espacio como la hace la música ” Adolphe Appia

“Sin luz no hay vida”. Rogier Van DeHeide, reconocido iluminador holandés comienza sus entrevistas y conferencias reflexionando sobre la importancia de la luz para la vida en el planeta **“Sin comida podemos** esta varios días, sin agua varias horas pero la vida sin luz terminara en segundos” (trad).¹

Una reflexión el mismo sentido es con la que Marieta Millet comienza su libro. **“Nuestras vidas están íntimamente ligadas** a la luz. Literalmente no podemos vivir sin ella es una de las **fuerzas básicas e inmutables de la naturaleza” (trad)**² En pocas palabras, sin luz no hay vida. La idea de un día en la que no salga el Sol es prácticamente material para una película de ficción post apocalíptica.

Los antiguos no contaban con ese lujo, la aparición de la deidad Sol y por lo tanto de su supervivencia dependía de sacrificios, pirámides, oración, magia. Los hombres modernos saben con certeza que el Sol saldrá al día siguiente inundándonos de nuevo de luz y otros tipos de radiación haciendo nuestra vida energéticamente posible. Quizá sea por esta certeza científica de la constancia de la luz natural que, a veces, olvidan, reflexionar sobre la dependencia de ella tanto física como psicológicamente.

¹ Expolighting America, febrero 2013

² Millet M, Revealing architecture light. Van Rostrand Reinhold, 1996, E.U. p.1

La respuesta a la luz, tanto de los seres humanos como de otros animales, no se limita únicamente al fenómeno de la visión (transformar los impulsos de luz en imágenes tridimensionales en el cerebro). Muchos libros sobre iluminación dedican los primeros apartados a explicar el fenómeno de la visión y el funcionamiento anatómico del ojo, al entenderlo de manera general se vuelve una herramienta importante, en el trabajo de iluminar espacios y comprender términos como colores, niveles, etc. en este documento se ha anexado una breve explicación de la visión en el apéndice A.

Aunque la visión es la más evidente de las respuestas del cuerpo, existen otras. Las personas con discapacidades **visuales o incluso ceguera total, son sensibles al “ciclo de la luz” a través del día.** Al igual que con todas las personas. La glándula pineal es sensible a la luz y recibe esta información a través de foto-sensores ubicados en los ojos y en el cráneo provocando diferentes respuestas a los diferentes colores de la luz del sol durante el día, así su organismo les indica la mañana como la hora para despertar al igual que las personas con visión perfecta y en la noche segregan las hormonas necesarias para dormir.



Ilustración 1- 1 Instalación colocada en Montreal para el programa Luminothérapie para "combatir" entre sus habitantes los efectos de los largos y grises inviernos

Incluso existen condiciones relacionadas directamente con la luz, por ejemplo el Desorden Afectivo Estacional (Seasonal Affective Disorder), también conocido como depresión de invierno y en el que las personas sanas mentalmente a través del año experimentan síntomas depresivos durante determinada temporada del año.

Sobre la influencia que tiene la luz en el organismo y en particular, se hablará con un poco más de profundidad en el capítulo 3, por ahora solo es necesario apuntar que el

arquitecto que como parte de su quehacer diario genera y crea espacios y por ende ambiente, debe entender cómo la luz afecta al ser humano.



Ilustración 1-2 Mujer escribiendo una carta con su criada de Vermeer

Fuente:

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2b/DublinVermeer.jpg>

consultado Febrero 2015

Para poder percibir luz y crear imágenes inteligibles debemos poder percibir sombras. Es un binomio inmutable y necesario. Gracias a las sombras es que físicamente podemos percibir profundidad, textura, etc. La luz revela y la sombra oculta. En la pintura de Vermeer en la ilustración 1-2 la luz destaca a la mujer y la criada, mientras que el resto de la escena se pierde en escalas graduales de sombras, o de menos luz.

En el hablar cotidiano, las palabras luz e iluminación a veces se tratan como sustantivos cuando en realidad no lo son. Pocas palabras, entendiendo palabra como la representación gráfica o sonora de una idea, tienen tantos significados distintos y dependen del contexto en el que se está hablando.

Iluminación deriva del latín *iluminare*, y de acuerdo con la definición más elemental que podemos tener, la de la Real Academia de la Lengua Española, significa “alumbrar, dar luz o bañar de resplandor”; “adornar con muchas luces templos o casas”; “dar color a las figuras”; “ilustrar el entendimiento con ciencias y estudios”.

Luz por su parte, etimológicamente se deriva de la voz griega *liki* que significa luz, alba. La Real Academia de la Lengua Española define luz de distintas maneras: “claridad que irradian los cuerpos en combustión”; “agente físico que hace visibles los objetos”; “radiación electromagnética en el espectro visible”; “esclarecimiento o claridad de la inteligencia”. Es así, que para diferentes disciplinas el concepto de luz tiene significados diferentes, para la biología es un factor importante para la fotosíntesis, para la psicología

lo que hace posible la visión, para las artes plásticas en conjunto y juego con los claroscuros lo que da vida a una obra artística; para la fotografía su materia prima, un elemento más de la composición.

Por el momento, estas dos definiciones que se refieren simplemente a los vocablos y ayudan a marcar la diferencia entre luz e iluminación y sirven para deducir y establecer en palabras sencillas, **luz es energía; iluminación el acto en sí de proveer luz y controlarla.**

LUZ Y ARQUITECTURA

Como la palabra luz tiene diferentes significados de acuerdo con la disciplina que la esté tratando y el contexto bajo el que se esté usando, es necesario *desmenuzar* lo que significa para la arquitectura y contextualizarla dentro del quehacer arquitectónico.

El tema de la luz es tan importante en la arquitectura que incluso aparece en una de sus definiciones más famosas, la dictada por Le Corbusier: “ **La arquitectura es el juego sabio, correcto, magnífico de los volúmenes bajo la luz**”. La luz es intrínseca a la arquitectura y a la manera en la que se percibe el espacio. Entonces, se puede asumir que la luz siempre ha sido parte formal de la arquitectura.

La parte técnica de la arquitectura; la que está íntimamente ligada con disciplinas como la ingeniería o la física no permite obviar la definición que estas dan a la luz y que servirá para explicar algunos conceptos: energía electromagnética capaz de excitar al ojo humano. En el espectro electromagnético se encuentra entre la radiación UV y la radiación infrarroja con una longitud de onda entre los 380 y 750nm.

El espectro electromagnético es una combinación de campos eléctricos y magnéticos que se disipan en el espacio llevando energía. La diferencia que existe entre uno y otro tienen que ver precisamente con la cantidad de energía que transportan.

Ahora, para poder contextualizar la luz en el diseño de la arquitectura, habrá que revisar otras definiciones.

Valero reflexiona respecto a la luz en la arquitectura en su **ensayo la materia intangible**. **“La luz es un material en el trabajo arquitectónico**. Es el único que no está sometido a la gravedad; cambia constantemente provocando sombras y colores en perpetuo movimiento y no envejece, es siempre **original...**”³

“La luz está en el origen de una obra de arquitectura” asegura el restaurador Paolo Marconi en Carta de 1987. “Un trabajo de restauración arquitectónica debe mirar hacia lo que alguna vez fue y como su propio nombre lo indica restaurarlo, renovarlo. Las carpinterías pueden haber sido sustituidas, la pintura puede haber perdido su esplendor incluso, la estructura puede estar completamente afectada, pero la luz del sol sigue entrando ofreciendo más o menos el mismo arco de luz. La luz natural no puede falsificarse”.

La luz existe en el lugar antes que la arquitectura y es única para cada latitud, el arquitecto debe fascinarse por esa luz, conocerla y experimentarla antes de empezar a diseñar, y una vez en el proceso de diseño ver cómo utilizarla.

³ Valero E. La materia intangible. Ediciones Generales de la construcción. España p.47

ILUMINACIÓN Y ARQUITECTURA

El “toque” de la luz, como Elisa Valero llama románticamente a la interacción de la luz y la arquitectura, modifica la manera en la que percibimos los objetos de manera dramática. Antiguamente, ventanas, puertas, cristales y domos e incluso rendijas permitían la entrada de la luz en los espacios arquitectónicos. Por ejemplo, los grandes constructores de catedrales medievales colocaban ventanas en la parte superior para ocupar la superficie de la pared justo al frente como reflector y llenar el espacio de luz proveniente *del cielo* el espacio, aunque en la parte de abajo se mantiene un poco más oscuro para propiciar la oración. Es un juego de luz y sombras diseñadas para seguir un concepto propio de la época. La luz en la arquitectura está íntimamente vinculada con las ideas de estética de momento histórico.

Al hablar de Iluminación en específico en el quehacer arquitectónico, porque cabe aclarar que el tema de iluminación también se puede tratar desde el punto de vista fotográfico y/o escénico, se habla de la manera en la que la luz interactúa con el espacio. Luz en general, proveniente tanto de fuentes naturales como artificiales.⁴

NATURAL Y ARTIFICIAL

En el hablar cotidiano arquitectónico el término luz muchas veces recibe el apellido *natural*, y una vez que se incorpora a la arquitectura; iluminación natural.

La luz es energía, radiación entonces este apellido podría sonar redundante. Luz e iluminación natural son términos que surgen de la necesidad de diferenciar entre la luz

⁴ Valero, E. P.9 (IDEM)

proveniente del medio o de la naturaleza y las fuentes construidas por el hombre porque las características que reconocemos importantes en ellas y la temporalidad que estas deberían tener en el espacio son diferentes.



Ilustración 1- 3 Luz de luna



**Ilustración 1- 4 Medusas
luminiscentes en el acuario de
Florida. Foto de: M.M.Meeks**

En términos prácticos se puede considerar al Sol como la única fuente de luz natural que existe en la Tierra; pero no toda la energía solar es luminosa, ni toda la luz natural proviene directamente del Sol.

Solo hace falta voltear a la naturaleza para recordar que otros fenómenos producen luz de manera natural. Existen seres vivos capaces de producir luz, como parte de un proceso evolutivo de millones de años que se transforma en verdaderos espectáculos nocturnos para aquellos que tienen la suerte de verlos. La compañía holandesa Philips, buscando desarrollar nuevas tecnologías en iluminación, ha criado bacterias luminiscentes en un espacio cerrado para comercializar una luminaria en un proyecto que llama Bio-light⁵. Los primeros resultados fueron publicados el 19 de octubre de 2011 en la página web de la compañía (Ilustración 2).



**Ilustración 1- 5 Biolight de Philips.
Fuente Philips.com**

Hasta no hace muchos siglos, la noche era el dominio de la luz de luna (que en realidad no es más que un reflejo de la luz del Sol sobre el satélite). Pero la calidad de esta luz, tenue, azulosa y con una capacidad de reproducir los colores limitada es diferente a la brillante luz que se tiene durante el día. Se ve y se aprecia diferente y bajo ella el juego de sombras y volúmenes es otro que durante el día.

⁵ Philips.

http://www.design.philips.com/philips/sites/philipsdesign/about/design/designportfolio/design_futures/bio_light_page.

Consultado Marzo 11, 2013



Ilustración 1- 6 Rayo cayendo sobre la ciudad de Arlington. Foto: Postlfd



Ilustración 1- 7 Aurora boreal Foto: National Geographic

No hay mucho escrito sobre la luz de luna, como otra manera de ver la arquitectura. Se encuentra durante la realización de esta investigación solo una cita del catalán Antonio Gaudí :

”El arte gótico es imperfecto, está a medio resolver; es el estilo del compás, de la fórmula de la repetición industrial. Su estabilidad se basa en el apuntalamiento permanente de los contrafuertes: es un cuerpo defectuoso que se aguanta con muletas. (...) Prueba que las obras góticas son de una plástica deficiente es que producen la máxima emoción cuando están mutiladas, cubiertas de hiedra e **iluminadas por la luna”⁶.**

Gaudí está hablando de los espacios litúrgicos y emite una crítica al gótico en la cual no es necesario profundizar, lo importante de su crítica es que no elogia que las obras góticas luzcan bien bajo la luna, de ninguna manera es un parámetro de apreciación.

También se puede pensar en otros fenómenos naturales que producen luz, las auroras boreales son un magnífico espectáculo de luces de colores, o la luz producida por un flujo de electrones, es decir, corriente eléctrica. Por tan solo unos instantes un rayo, que cae (o sube) dado por una diferencia de potencial eléctrico entre la superficie de la Tierra y la nube cargada electromagnéticamente baña lumínicamente todo a su alrededor.

En cuanto a la relación que existe hoy en día entre la luz natural y el quehacer arquitectónico, se podría tomar el término inglés *daylight* que se traduce como luz de día. Es decir, aquella luz que proviene del Sol y que se percibe

⁶ Flores C. Les Ilcons de Gaudi. Biblioteca Universal Empuries España, 2002. P.89

exclusivamente, valga la redundancia, durante el día. En el capítulo IV de esta tesis se profundiza un poco sobre la aplicación de este concepto, *daylighting* o en español iluminación natural.

La luz artificial por su parte es la que, aunque la fuente sea gracias un fenómeno natural, es en la que el hombre participa en la creación de la luz de una manera voluntaria y para satisfacer la necesidad de poder tener experiencias visuales en **condiciones donde “hay poca luz”**. **Tácitamente en la** definición debería haber un elemento de control sobre la fuente y control sobre la luz.

El fuego, que durante siglos ha iluminado y calentado a la humanidad, no puede considerarse una fuente de luz artificial sino es que proviene de una lámpara de aceite, de gas, de una vela, de una antorcha. La relación que existe entre la luz artificial y la arquitectura es la que interesa a este documento.

BREVE HISTORIA

Desde la antigüedad el hombre ha buscado ganarle unas horas al día, el fuego fue evidentemente la primera fuente una vez que fue dominado y controlado. La energía que se desprende de este cubría dos necesidades fundamentales, calor y luz.

“Miles de años pasaron sin que hubiera cambios en el estilo, pero no es hasta este siglo que hubo luz eléctrica, mucho más que la triada de acero vidrio y concreto que ha cambiado las **bases de la arquitectura”**⁷ decía Douglas Haskell un crítico de arquitectura en 1931

Realmente no hay un avance considerable en el tema de luz artificial sino hasta finales del siglo XIX, con la invención de

⁷ Neuman Dietrich, The structure of light, Yale University, 2010

la bombilla de Edison, pero eso no quiere decir que en el imaginario arquitectónico de las distintas épocas no se pensara en lo que la luz artificial podría lograr, más allá de cubrir una simple necesidad.

De acuerdo con el ensayo *Architectural illumination before the Twentieth Century*⁸ el Renacimiento fue el momento en que el concepto *de luz* dejó de ser una idea religiosa como había sido hasta la edad media, festivales públicos y privados tenían iluminación en los edificios y fuegos artificiales. Los canales de los jardines de Versalles fueron iluminados en 1674 para goce de la corte real.

Existen varias descripciones de “iluminaciones” hechas durante los siglos XVIII y XIX todas ellas muestran una añoranza hacia la permanencia o por lo menos una vida más larga de la luz artificial sobre la arquitectura que tan sólo unas horas.

La Ilustración 1-8 se desprende de un grabado antiguo de la Basílica de San Pedro en Roma iluminada para alguna fiesta religiosa con velas. Esto implicaba la tarea que cada una de las velas debía colocarse a mano. La ilustración 1-9 es una fotografía de un *Sanpietrini* (como se le llama los hombres que cuidan de la Basílica) colocando las velas. La Ilustración 1-10 es una fotografía de cómo lucía a principios del SXX.

⁸ Neuman Dietrich. The architecture of night Prestel, 2002



Ilustración 1- 8 Grabado de la plaza de San Pedro iluminada para alguna fiesta Fuente, The architecture of night p9



Ilustración 1- 9 "Sampietrini" encendiendo linternas para una iluminación a principios del SXX



Ilustración 1- 10 Iluminación de la Basílica de San Pedro a principios del SXX Fuente: Nat-Geo



Ilustración 1- 11 Basílica de San Pedro apagada por cambio de luminarias, solamente iluminada por las luces de la plaza Fuente: AOA



Ilustración 1- 12 Iluminación de la Basílica de San Pedro hoy en día utilizando leds durante la época navideña fuente: Catholicsun.org consultado febrero 1, 2015

Sin embargo, hasta este punto de la historia la importancia de la luz artificial solamente se reconoce cuando va vinculado con efectos deslumbrantes producidos por miles de velas y el obvio trabajo que conlleva encenderlas como menciona Elisa Valero¹⁰.

La figura 1-11 es una rara fotografía de la Basílica más o menos apagada durante un cambio de luces, en ella se aprecia que la monumental cúpula se esconde durante la noche. Finalmente, la Ilustración 1-12 es la nueva iluminación que estreno la Basílica en 2014 a base de LEDS



Ilustración 1- 13 Lámpara de gas en Dublin Castle, restaurada para utilizarse eléctricamente. Fuente AOA

Realmente la luz artificial comienza a masificarse y estandarizarse con la aparición de la lámpara de gas. A través de tuberías de gas montadas en los muros, se encendían lámparas como la que aparece en la Ilustración 1-13. El gas era viable comercialmente La intensidad luminosa se producía regulando la salida de gas. Esto evidentemente presentaba riesgos, ya que se usaba no solo para alumbrado público sino también en el interior, además de que no sólo producía luz sino también calor.

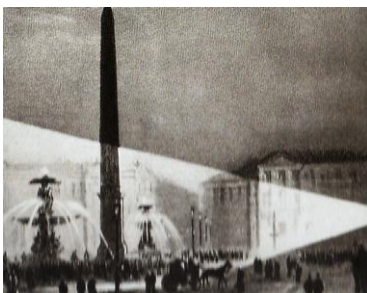


Ilustración 1- 14 Lámpara de arco voltaico en una plaza. Fuente Architecture of the night

Posteriormente en el Siglo XIX apareció la lámpara de arco voltaico, la colocaron en plazas públicas para alumbrado urbano, pero fue rechazada rápidamente por el público en general porque la luz que desprendía era muy intensa (Ilustración 1-14). Hasta este punto la lámpara de gas continuaba siendo una apuesta más segura. No fue sino hasta final del Siglo con la lámpara de Edison que se hicieron los primeros intentos de una integración de la luz eléctrica a la vida cotidiana del hombre y por lo tanto a la Arquitectura.

Es en estos primeros intentos que la arquitectura y la ingeniería eléctrica, que aún estaba en pañales, se

¹⁰ Valero p.143

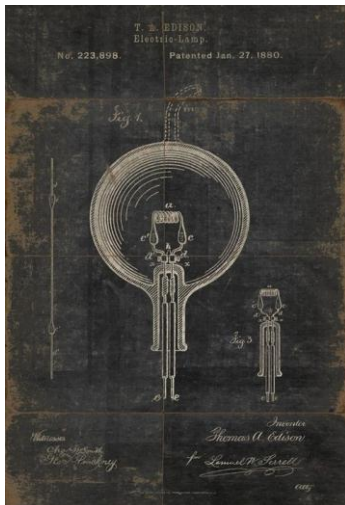


Ilustración 1- 15 Patente de la
lámpara de Edison

entremezclan para dar lugar a una nueva disciplina: *la iluminación eléctrica arquitectónica*.

En 1882, John Slater miembro del *Royal Institute of British Architects* en una conferencia ya veía el riesgo de tratar con **ignorancia a esta “nueva luz” que llegaba a los espacios** “La electricidad es una nueva fuerza que ha sido puesta en nuestras manos para elaborarla y nos incumbe estudiar su naturaleza y ventajas y estar prevenidos contra sus riesgos y peligros y paren de a usarla con los medios más antiguos a nuestra disposición, de acuerdo con la máxima *usui civium, decori urbium* (para ser usado por los ciudadanos, para embellecer la ciudad) ”¹¹

En 1883 Luther Stierinser, un ingeniero eléctrico que colaboró en el laboratorio de Edison, desarrolló el primer plan de iluminación en conjunto con los arquitectos para la Exposición del Sur de Estados Unidos. El plan estaba diseñado resaltar solamente el exterior del edificio principal.

Era evidente que la instalación de luz eléctrica causaría conflicto con las empresas que se dedicaban a la distribución de gas a pesar de que las ventajas de la luz eléctrica y las políticas públicas y parlamentarias en Europa retrasaron lo que hubiera sido una expansión mucho más orgánica del uso común de la luz eléctrica.

Joachim Teichmüller en la Alemania de los años 20’s decía “la luz que emana de una fuente se funde en una unidad artística, tan íntima e insuperable que uno debe hablar de arquitectura de iluminación... La arquitectura debe producir luz y efectos especiales y usarlos como lo haría con otro elemento estructural.”

Pero realmente el aporte importante de Teichmüller es su artículo para la revista alemana *Licht und Lampe*¹² donde acuñó el término *lichtarkitektur*, traducido al español, **luz-arquitectura** y reconoció en él dos vertientes en el tema. La primera tenía que ver con el *diseño de las fuentes de luz*, que complementaría el espacio su forma y lo adornarían, esta es la parte que va de la mano con el desarrollo tecnológico, es decir, con *la ingeniería* del tema. La segunda, era la que se percataba que era importante darse cuenta del poder formador de espacios de la luz, es decir, la que afecta directamente al quehacer e interés que deberían tener los arquitectos en mente.

La cooperación entre ingenieros de luz y arquitectos según Teichmüller tenía sentido sobretodo en la segunda parte. El ingeniero primero tomaría en consideración solo la imagen formada en la retina por la luz y cómo es que su aparato la presenta al usuario, hoy en día podríamos decir que la siguiente preocupación del ingeniero es el consumo de energía eléctrica, al respecto se profundizará en el capítulo 2. Pero el arquitecto empezaría con el edificio, para él la luz simplemente explicaría la arquitectura, esto produciría luz arquitectónica pero no luz-arquitectura. “Pero esta luz arquitectónica puede llevarnos **a luz-arquitectura**”. *Lichtarkitektur*, en Alemania se entiende principalmente para iluminación exterior, sin embargo la idea desarrollada por Teichmüller también es aplicable a los espacios interiores que son a los que se refiere esta tesis.

Del otro lado del océano, en Estados Unidos, Basset Jones un talentoso ingeniero, economista y diseñador de iluminación, se decepcionaba de la poco entusiasta respuesta de los

¹¹ Valero p.145 (IDEM)

¹² Neuman Dietrich, *Architecture of the Night* p. 30

arquitectos hacia la aplicación de la luz artificial en la arquitectura. Dijo en una convención de ingenieros de **iluminación en 1919 “El arquitecto es una hombre muy difícil** de manejar, siendo parte de un culto que ve hacia condiciones ancestrales y no hacia la **modernidad”**.

De acuerdo con Dietrich Neuman un ejemplo de lo que pasaba en esta época de Basset Jones eran las luminarias diseñadas por los arquitectos, la mayoría parecían candelabros con luz desnuda y brillante que producían un desagradable brillo, la respuesta de Neuman fue diseñar pantallas difusas. Fue el primero en desarrollar un plafón luminoso, que contenía varias soluciones de iluminación que más adelante se volverían la base para el trabajo de otros diseñadores de iluminación.

André Lucrat, un arquitecto francés, reflexionaría respecto a la luz eléctrica en la arquitectura hacia 1929 “Ahora que ha ocurrido un evento por primera vez en siglos que puede traer un cambio decisivo para mejorar la vida en el hogar. La euforia alrededor de este nuevo **logro técnico predomina “(trad). Es también durante los años 20’s que en Europa la tecnología de** iluminación eléctrica para el desarrollo estético y la ciudad nocturna genera emoción en el viejo mundo cuya sensibilidad artística y estética era muy diferente a la que predominaba en América.

En 1930 la compañía que había fundado Thomas Alva Edison, bajo el nombre de ***Edison General Electric Company*** y que ahora se llamaba simplemente General Electric, publicó un folleto que se llamó *Architecture of the night*, título y portada que después Dietrich Neumann tomaría para hacer una nueva recopilación para un libro respecto al tema en 2006. El folleto de la GE, fue particularmente bien recibido en Alemania

donde había un gran interés por la iluminación de exteriores y sobre la cual se asoció el término Architecture of the night principalmente en Europa.

La luz eléctrica proporcionó nuevas posibilidades a la arquitectura, pero poco se reflexionó respecto a su correcta utilización. Las lámparas eléctricas se trataban como otro artefacto eléctrico más que debía colocarse dentro del edificio para que la gente pudiera ver de noche. Por otro lado, de acuerdo con Valero ¹³ “**...la rapidez con la que se extendió el uso de la luz eléctrica y el fenómeno que se produjo alrededor de esta, no permitió que se aprovecharan las posibilidades reales de exploración. Este fenómeno de fascinación la convertía en una potencia arrolladora protagonista del espacio deslumbrando con su espectacularidad y despreciando a la luz natural**”.

Es importante entender que hasta la aparición de la luz eléctrica los edificios se conceptualizaban bajo una luz ya existente, la luz natural, con todas las vicisitudes propias de esta como color, tono, posición etc. y la arquitectura se adaptaba a esta. La arquitectura, que ahora podía ser más alta gracias a los avances en cuanto a estructuras y con ventanas de tamaños que antes eran inconcebibles generaba nuevos retos en cuanto a luz, si en efecto, grandes cantidades de luz natural podrían entrar durante el día y en la noche la luz artificial “salía” de estos, así, sobre todo en Europa los arquitectos se encontraron fascinados por edificios brillantes.

¹³ Valero, p39 (IDEM)



Ilustración 1- 16 Maison De Verre de día.

Fuente:

<http://sanslartigue.wordpress.com/tag/maison-de-verre>. Consultado 26 de julio de 2013



Ilustración 1- 17 Maison de Verre de noche Fuente:<http://tyylit.com/wp-content/uploads/2013/04/MAISON-DE-VERRE-Chareau.jpg>. Consultado Julio 26, 2013



Ilustración 1- 18 Maison de Verre de día (interior) fuente:

<http://www.paris-architecture.info/PA-018.htm>. Consultado Julio26.2013

Un ejemplo de esto es la Maison de Verre en París, que en 1929 diseñó Pierre Chareau con el iluminador André Salomón y que aparece en la Ilustración 1-15 y en la 1-16. A través de bloques de vidrio (vitroblocs como se les conoce comercialmente) se crea un muro traslúcido, como una pantalla que en el día permite la entrada de luz blanca difusa y en la noche la luz y sombras de lo que sucede y está adentro se proyectan al exterior.

La iluminación eléctrica en la arquitectura, tiene sus raíces en el teatro, y hoy se identifican como dos disciplinas diferentes, que si bien comparten el uso de tecnologías y técnicas, hay una marcada línea entre una y otra.

Stanley McCandless un arquitecto que trabajaba diseñando iluminación para producciones teatrales, sugirió en la década de los 30's transferir las ideas de la iluminación teatral al hogar. En 1937 escribió "si volteamos hacia el teatro para ver qué tan efectivamente la luz es utilizada para producir un humor, nos da esperanza que tal vez, pronto podamos alcanzar la atmósfera adecuada en nuestros hogares, dónde es **más importante que en el teatro**"¹⁴. Esto, no es literal y de ninguna manera se debe interpretar como tal, tiene más bien que ver con introducir estas primeras ideas de control de iluminación. Es posible crear escenarios para un día dinámico, una sala de estar puede servir de muchas cosas, centro de reunión familiar al final del día, dónde los pequeños hacen las tareas, el lugar dónde los padres descansan o dónde se sirven los *cocktails* antes de una escena, por este motivo la iluminación debería ser mucho más que un simple elemento suspendido y omnidireccional que se enciende o apague. Esta idea se haría popular mucho tiempo después hasta los 50's

Hacia el final de los años 40's Richard Kelly, un arquitecto de

Yale, que había tenido los inicios de su carrera en los grupos de teatro de la universidad, y que hoy es considerado como uno de los pioneros en el diseño de iluminación como práctica especializada dentro del quehacer arquitectónico. Kelly, a pesar de haber trabajado al lado de Mies Van der Rohe y de influenciarlo en cuanto a su tratamiento de la luz encontraba difícil explicar el trabajo que tenía el diseñador de iluminación.

Con un ensayo para la revista Interior Design and Decoration de junio de 1949 Kelly listaba tres funciones de diseño para la iluminación: **énfasis** o la organización del diseño visual, **confort** o el cumplimiento de las necesidades de vista y **carácter** o el sentimiento del espacio. Kelly finamente logró resumir de manera muy clara sus ideas: “Una iluminación exitosa crea estados emocionales. Tres años después, en una conferencia del Instituto Americano de formularía un credo que es altamente citado acerca de los tres tipos de luz que existen en un espacio: *brillo focal, luminiscencia ambiental y el juego de brillos*. Además listo seis cualidades de la luz: intensidad, brillo, difusión, color espectral dirección y movimiento. Esto es importante porque estas ideas de Kelly se han vuelto pilares del diseño de iluminación arquitectónica y aunque la tecnología ha avanzado a pasos agigantados desde la época de Kelly, estos principios mantienen vigencia.

Hasta este punto histórico, la primera mitad del siglo XX, de la bombilla de Edison se había avanzado tecnológicamente haciendo crecer el portafolio de productos. Quizá el más significativo fue la lámpara fluorescente presentada en la Feria Mundial de 1939 y era muy popular para los 50's., quizá porque se ocupaba para generar “techos luminosos” y modulares, de esta manera no solo la las luminarias se

¹⁴ Neuman D, The structure of light, 2010

integraban al espacio sino también otros servicios como el control acústico, ventilación, y sistemas contra incendio en un solo sistema que facilitaba no solo la instalación sino el mantenimiento.

De ahí en adelante, realmente sólo se ven mejoras en las dos tecnologías predominantes, la incandescencia tal cual la formuló Edison y la descarga, es decir, fluorescencia y vapor de sodio, fueron evolucionando con las décadas, y volviéndolas cada vez más eficientes, más brillantes. El tema de lámparas y luminarias se trata a profundidad en el anexo.

Desde la década de los 2000's o quizá desde un poco antes, hay un nuevo boom en cuanto a iluminación en arquitectura, la tecnología ha avanzado a pasos agigantados en los últimos 30 años en todos los aspectos y nos ha permitido hacer cosas, que antes parecían impensables. Por el otro lado, existe una enorme preocupación por el consumo energético que nuestra vida iluminada eléctricamente significa y cómo resolverlo.

Ahora, *la electrónica* juega un papel importantísimo y abre toda una gama de posibilidades, balastos electrónicos conectados a sistemas controlados por computadoras abren todo un abanico de posibilidades lumínicas. Los LEDs (diodos emisores de luz) que se habían ocupado en electrónica desde **los 60's, a partir de la década de los 2000's han podido ser** aplicados en la arquitectura, son todo un boom y presentan una nueva tecnología para producir luz eléctrica que no se veía desde 1926 cuando se patentó la lámpara fluorescente. En el capítulo 3 se profundiza en el tema de lámparas, su funcionamiento y evolución.

ILUMINACIÓN NATURAL Y ARQUITECTURA.

El manejo y control de la luz en la obra arquitectónica, (iluminar) no sólo tiene que ver con las fuentes eléctricas y otros aparatos como suele generalizarse cuando se habla sobre el tema. Ya se decía que la principal diferencia entre la luz natural y la artificial tenía que ver con la naturaleza de las fuentes y que desde siempre la luz ha sido inherente a la arquitectura, es decir, esta última es concebida bajo luz. Por esta razón, al hablar de iluminación arquitectónica, a diferencia de lo que pasa en el teatro por ejemplo, es preciso y absolutamente tomar en cuenta la variable iluminación natural que en algunos casos quizá es más importante que la iluminación artificial.

A través de cortes, domos, ventanas, persianas y otros elementos pasivos los espacios son y han sido iluminados naturalmente.

Debido a la tendencia en un uso eficiente de la energía de la que se hablará en el capítulo 3 la iluminación natural o iluminación de día (*daylighting*) ha tomado nuevos bríos entre la comunidad arquitectónica. No es objeto de esta tesis profundizar en el tema de iluminación natural sino simplemente puntualizar su importancia.

Para los seminarios en línea de la marca Philips¹⁵ la diseñadora de iluminación alemana Ulrike Brandi reflexiona sobre el tema en un punto importantísimo: la luz natural siempre debe ser *inspiración* y de la luz artificial y está última *complemento* de la primera. Cada lugar, cada punto geográfico tiene su propia luz natural, por ejemplo dice **Brandi:** “[mi inspiración] en Rotterdam fue el cielo y la luz del

¹⁵ <http://www.youtube.com/watch?v=kg198m5GNmU&feature=youtu.be>. Consultado Octubre 31, 2013

día. La luz del día en Rotterdam es muy especial porque se tiene un paisaje plano. Tomé una fotografía desde la oficina postal y había un cielo muy dramático y los reflejos en el agua¹⁶. **También cada hora del día tiene su propia luz natural, y como seres humanos eso ¡nos encanta!**.



Ilustración 1- 19 Diseño de Ulrike Brand de la estación de trenes, inspirado en la luz natural del lugar

II. EL PROYECTO DE ILUMINACIÓN ARQUITECTÓNICA

“En cada proyecto, sufro como si estuviera empezando en la vida otra vez. Hay mucha sana inseguridad que alimenta esto” Frank Lloyd Wright (trad)

Es preciso comenzar por delimitar lo qué es un proyecto; luego en específico lo qué es el proyecto de arquitectura y las particularidades que tiene un proyecto de iluminación arquitectónica; porque hasta este punto es que llegará el alcance de esta tesis.

¹⁶ <http://community.lighting.philips.com/thread/1612#sthash.kY4TDA2g.dpuf> Consultado Noviembre 4, 2013

Un **proyecto** se define como “un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto o servicio con un resultado **único**”¹⁶. Aplicándolo al tema que ocupa este documento se debe pensar que aunque el sistema de iluminación se quede funcionando por muchos años en el espacio la etapa de planeación de tendrá una duración limitada y el resultado único del que se habla y que se espera dependerá directamente de este esfuerzo.

Ahora, el **proyecto en arquitectura** de acuerdo con Alfonso Muñoz Cosme, se define como “**designio o pensamiento para ejecutar algo**”. Otra definición es la del “*Dizionario enciclopédico de architettura e urbanística*” que dice que es “el conjunto de las elaboraciones a través de las que se describe la prefiguración de un objeto y la predisposición de su **producción**”.¹⁷

El Real Instituto de Arquitectos Británicos (RIBA *Royal Institute of British Architects*) desde 1963 ha desarrollado un Plan de Trabajo que sumariza las etapas del proyecto en diseño y construcción. Este Plan ha sufrido diferentes cambios a través de los años para reflejar los desarrollos en la organización de los equipos de diseño. Este plan consta de 8 etapas que se presentan en la siguiente ilustración.

¹⁶ Guía de los Fundamentos de la dirección de proyectos 3era edición, Guía del PMbok, 2004 Project managment institute

¹⁷ Muñoz Cosme A. “El proyecto de arquitectura” Ed, Reverte, 275pp 2008

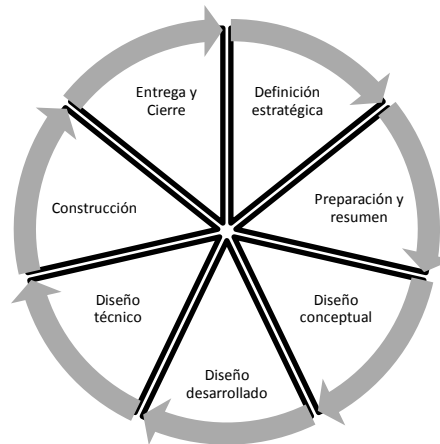


Ilustración 2- 1 Plan de trabajo RIBA fuente:www.riba.com

En México de manera similar los aranceles de los Colegios de Arquitectos delimitan las labores de arquitectura y sus especialidades durante el desarrollo de un proyecto.

Como se ve en el Plan de Trabajo de RIBA, el proyecto arquitectónico se puede pensar como el proceso que está entre los primeros bosquejos hasta que se hace entrega de las llaves al cliente, pero tomando estas dos últimas definiciones se acota, para esta tesis al proyecto hasta la etapa de diseño.

Una consideración importantísima al diseñar arquitectónicamente es que las soluciones deberán concebirse como un **sistema** integral .

El diseño estará condenado al fracaso si sólo se enfoca en elementos en particular y no en un resultado global, en el todo del espacio o la obra.

La visión sistémica de proyectos ofrece una **filosofía de diseño** que resulta importante para un buen resultado en cuanto a iluminación arquitectónica. “Un sistema, desde la óptica del enfoque de sistemas, es la totalidad cuyo conjunto de

elementos que interaccionan juntos para alcanzar un objetivo **común específico**".¹⁸

No se pretende entrar en materia de sistemas sino simplemente usarlos como apoyo. Un buen enfoque no implica solo la iluminación sino integrar en un todo coherente las exigencias del diseño arquitectónico original y las decisiones que se toman de manera individual al seleccionar lámparas y accesorios. Una solución adecuada **debe** satisfacer las necesidades inmediatas de iluminar el espacio, además de que será fácil de implementar, operar y mantener y adaptarse a las exigencias del espacio.

El enfoque sistémico de realización de proyectos va de la mano con la idea de *lichtarkitektur* de Teichmuller sobre la iluminación arquitectónica de la que se hablaba en el capítulo 1. El tema tiene elementos de naturaleza técnica y tangible, como son los equipos y de una parte un poco más subjetiva que es el diseño arquitectónico, pero ambos deben de funcionar en conjunto para alcanzar resultados óptimos

“La mayoría de las instalaciones hoy en día son ineficientes, debido a debido a una guía inadecuada en la etapa de diseño, se enfatiza en el costo; no se piensa durante el diseño y la instalación y se tienen pobres procedimientos de mantenimiento” dice Robert Bell en su ensayo *Efficient and Effective lighting* de la recopilación, a design guide (p 71)¹⁹ Aquí vale la pena hacer una pausa y marcar esta idea con alfileres, porque se retomará más adelante. Por primera vez en el documento se habla de (in)eficiencia, concepto se analizará a profundidad en el capítulo 3 .

¹⁸ Olmedo Canchola, H Formulación y desarrollo de proyectos inmobiliarios UNAM p.14

¹⁹ Roaf S, Hancock M. Efficient building a design guide. Halsted Press 1992

El proyecto de iluminación arquitectónica, tradicionalmente en México, se presenta como parte de las instalaciones eléctricas, incluso los planos de ubicación de luminarias llegan a ser los mismos que los de contactos o tableros.

De nuevo, tradicionalmente, al hablar de un proyecto de iluminación se entiende simplemente como el conjunto de planos, dibujos, esquemas, memorias y textos explicativos que se pueden utilizar para plasmar el diseño de un sistema de iluminación, antes de ser construido que incluye la manera de utilizar los materiales y tecnologías. Ya se verá que estos documentos son simplemente *entregables*, una herramienta de comunicación entre las partes involucradas que contienen información sobre el diseño de iluminación.

Alberto Casals Balagué dice “El arquitecto no se comporta exactamente igual que el artista, en el quehacer arquitectónico hay un proyecto con unos objetivos casi perfectamente prefijados, hay un destinatario, el cliente, el promotor o el usuario o los tres a la vez, a los que hay que escuchar y satisfacer”²⁰(Casals p.38)

Tomando esta cita de Casals Balagué se formulan dos preguntas importantes que el proyecto debe resolver: para **quién** se hace y **qué es lo que se espera**. Entonces, aplicando esto al sistema de iluminación se ve que además de incluir a los elementos físicos, el espacio, los equipos (¿cómo?) sino también, existe un por qué y un para quién.

El *por qué* se resuelve con los siguientes elementos de un sistema de iluminación, el concepto, la tarea y las jerarquías/capas.

²⁰ Casals Balagué “El arte, la vida y el oficio del arquitecto” Alizna 295pp 2002

EL CONCEPTO

Es común en arquitectura que se utilice la palabra “concepto” para definir las pautas creativas para el proceso de diseño. Si se toma la definición pura de la palabra concepto, de acuerdo con la Real Academia de la Lengua Española es la “**idea que concibe o forma de entendimiento**”. Esto aplicado al desarrollo de un espacio sería entonces la idea bajo la cual se va a diseñar.

En la Ilustración 2-2 se presenta la guía de diseño de una cadena internacional de hoteles, donde, con fotografías y un adjetivo **que describe lo que se quiere lograr, muestran el “concepto”** sobre el cual se debe trabajar al ambientar las diferentes áreas de su hoteles.



Área: Entrada
Concepto: Impacto, Dramático



Área: Lobby
Concepto: Suave brillo



Área: Restaurante
Concepto: Intimidad



Área: Alberca
Concepto: Luminoso



Área: Baño de las habitaciones
Concepto: Brillante



Área: Habitaciones
Concepto: Calmante

Ilustración 2- 2 Guía de diseño de la cadena de hoteles Holiday Inn.

TAREA/ACTIVIDAD

“El principal propósito de la iluminación permitir a las personas ver. A diferencia de la temperatura y la humedad que se controlan dentro de límites cercanos para el confort humano, las condiciones de iluminaciones varían en un rango enorme y es esencial que los estándares de iluminación coincidan con el tipo de trabajo a realizarse.”²¹ dice Robert Bell No todos los espacios son iguales y no todos los espacios deben tratarse igual porque simplemente son escenarios de diferentes actividades, como se veía en el capítulo 1 que ya observaba McCandless

²¹ Roaf S, Hancock M. Efficient building a design guide. Halsted Press 1992

en los 30's. Estas actividades se conocen en la literatura inglesa del tema como *task* y cuya mejor traducción técnica al castellano ha sido *tarea*.

La Sociedad Norteamericana de Ingenieros de Iluminación (IES o IESNA) reconocida institución estadounidense con sede en México y considerada como una de las principales autoridades en el tema define tarea como *aquellos detalles y objetos que deben verse para que se pueda llevar a cabo una determinada actividad*²².

Durante el proceso visual natural, los humanos tenemos un objeto de detalle que vemos, el cual se encuentra contra un “fondo” inmediato. El objeto es el punto focal y los alrededores son responsables de la orientación de la persona en el espacio y la atmósfera que la rodea.

JERARQUÍA/CAPAS

Muchos autores del tema hablan de la jerarquía en iluminación, la idea básicamente es que la iluminación arquitectónica no debe ser plana, diferentes situaciones pasan en un mismo ambiente al mismo tiempo y la luz debe de ser capaz de satisfacerlas. Como los seres humanos somos atraídos por la luz, iluminar algo o dejarlo en penumbra puede ser la diferencia entre que se vea o no

Para lograr esto, el diseñador de iluminación estadounidense Sage Russell en su libro *Architecture of the night*, describe la jerarquización como capas de luz, en una visión mucho más entendible y orgánica. “El proceso de iluminación que implementaremos es un método para identificar las razones por las que añadimos luz al espacio

²² Harrold. Ready Reference. IESNA. 9ª ed EU. 2000.

viéndolas de manera **individual**²³.

- Capa 1: Iluminar para coreografiar una experiencia. Aquí Russell habla de una dirección del movimiento hacia dónde la gente se mueve dentro del espacio.
- Capa 2: Iluminar para definir ambiente y humor. La segunda capa tiene el propósito de alterar el estado emocional del sujeto en el espacio. Esto está directamente relacionado con otros elementos dentro de la paleta del arquitecto, color, escala, **textura. “La idea es acercarse al diseño local por local o área por área para determinar humor y efecto emocional que se desea en cada uno de los espacios”**
- Capa 3: Iluminar para acentuar objetos. Quizá la capa más intuitiva y reconocida es hacer un objeto más notable dada la naturaleza fototrópica de los humanos para llamar la atención de las personas. Cuando se acentúa un objeto también es necesario considerar al objeto en sí mismo
- Capa 4: Iluminar para revelar arquitectura y espacio. No se puede iluminar el aire. Para poder ver la luz, esta debe reflejarse en algo. La luz define, acentúa y articula los efectos arquitectónicos y detalles que se han diseñado en un espacio. Los conceptos y efectos espaciales pueden perder sentido si la luz no se aplica de forma correcta y si la forma de esta no favorece al espacio.
- Capa5: Iluminar para las tareas/actividades. La última capa pero no por eso la menos importante

²³ Russell Sage, architecture of light Conceptnine, 2008 p30

es la que tiene que ver con las tareas/actividades, esta se introduce solamente para la realización de tareas visuales. Russell la enumera al último porque al cumplir con todas las anteriores probablemente la luz sea suficiente y de o ser así siempre se pueden incluir elementos lumínicos para reforzarla. Rusell hace hincapié en que esta no debe ser la única capa de luz.

“Ninguna de las capas representa una solución completa en sí misma”²⁴ comenta el autor pero que se pueden tratar por separado para facilitar el diseño.

La siguiente pregunta en un sistema de iluminación a contestar es *¿para quién se diseña?*. Llanamente, para los usuarios.

USUARIOS

En primer lugar son las personas que utilizarán el espacio y en segundo los clientes/propietarios a quienes les afecta el costo del sistema de iluminación aún sin poner un pie en el espacio jamás.

El tema de los usuarios se vuelve un poco más complicado porque como se comentaba en párrafos anteriores, los rangos no son como en otras condiciones controlables en el ambiente como la temperatura y la humedad, más o menos uniformes para todos los seres humanos. La percepción que se tiene de la luz depende de muchos factores, que pueden ser desde la edad, la cantidad de bastones capaces de reproducir RGB propios de la anatomía de cada persona o de sus preferencias. La respuesta a la luz impacta tanto física como

²⁴ Rusell p.36

psicológicamente a las personas.

La incorporación de la electrónica de control (rama de esta disciplina dedicada a obtener una respuesta determinada de un sistema) ha permitido explorar nuevas aplicaciones y nuevas reacciones en las personas.

La reacción más importante que tiene la luz, además de la visión, sobre el cuerpo humano es sobre el ciclo o ritmo circadiano. Etimológicamente el vocablo se divide en dos **circa, que quiere decir cerca y diano que significa día**. “se refiere a que los seres humanos vivimos en una dimensión de 24 horas y que en función de la latitud, localización y momento del año somos expuestos a un periodo diurno y a uno nocturno. Es decir que la luz regula nuestro organismo pues somos afectados por las variaciones de intensidad de esta y por la duración de la exposición a la **luz determinada por el ciclo día noche**” (Aranda, 2009).

El tema en sí es extremadamente complejo y hay mucha investigación al tema liderada por la empresa holandesa de iluminación Philips, así que en este documento se tratará de manera muy rápida y sólo con el propósito de que se tenga en mente su importancia al momento de diseñar iluminación.

El ritmo o ciclo circadiano depende de dos hormonas, una que nos mantiene activos y otra que nos hace relajarnos y dormir. Gracias a fotosensores en los ojos que no son los conos y bastones (referirse al Anexo A para revisar la anatomía de la visión) percibimos la intensidad y color de la luz y se libera una u otra. La Ilustración 1, (tomada de la serie de seminarios en línea para profesionales de Philips), muestra claramente en un lapso de 24 horas como suben y bajan los niveles de melatonina y cortisol a

través del día.

Así la en tonos más azules (6100K- 4000K) es más parecida a la luz de la mañana y promueve la segregación de Cortisol y alerta a las personas, la luz amarillenta (3000K-2700K) promueve la segregación de Melatonina y relaja a las personas. Las Ilustraciones 2-3 y 2-4 muestran los colores de la luz y su relación con el ciclo circadiano.



Ilustración 2- 3 Influencia de la luz de día en los humanos Fuente: Light and Well being webinar Philips

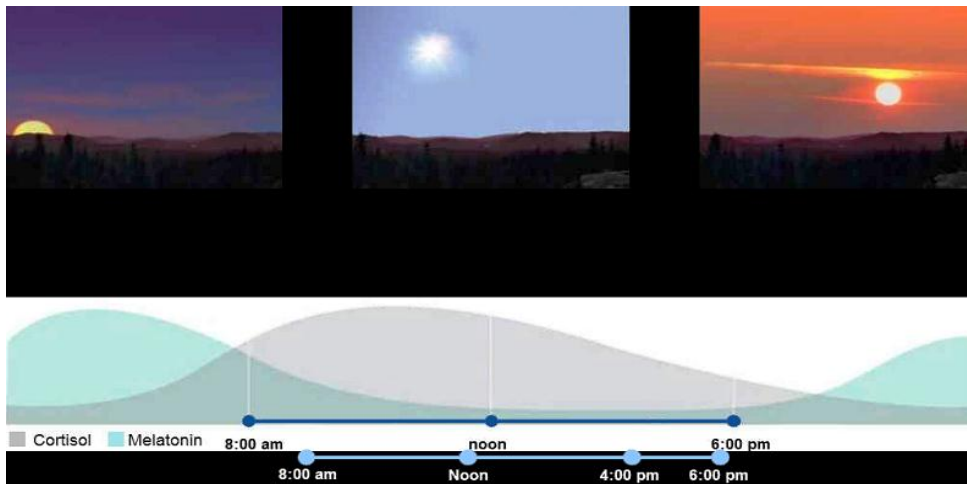


Ilustración 2- 4 Relación entre los cambios de la luz y la generación de Cortisol y Melatonina Fuente: webinar Philips

Así, conociendo la reacción que determinada cantidad de luz o el color de esta produce sobre los humanos al compararlo con el efecto durante el día, se puede simular y lograr resultados excelentes.



Ilustración 2- 5 Iluminación en cuartos de hotel para que los pacientes tengan una mejor y más rápida recuperación.



Ilustración 2- 6 Iluminación en salones de clase, produce diferentes reacciones en los estudiantes

“Cuando le digo a un cliente que la luz puede aumentar las ventas 25% en una tienda o reducir la estancia en el hospital de una paciente por dos o tres días, inmediatamente se ven los **beneficios**”²⁵ dice el diseñador de iluminación holandés Roger van der Heide.

Para ilustrar un poco mejor cómo aplicar estos efectos, a continuación se presentan un par de ejemplos aplicados y **presentados por Philips en el seminario “Light and Wellbeing”**

En el primero, a través de un sistema controlado de persianas que aíslan la entrada de luz natural combinado con lámparas de diferentes temperaturas de color, se promueve el sueño y descanso de los pacientes en un hospital, reduciendo la estancias entre dos y tres días.

En el segundo, menos exitoso, a través del mismo sistema de lámparas pero esta vez en un kínder se ayuda a las educadoras a controlar el ánimo de los inquietos estudiantes, así, con una configuración previamente estudiada en los niños, se promueve la hora de recreo, de estudio o de siesta.

Siempre, se deben tener en mente ciertos aspectos particulares respecto al usuario y se recomienda tener conocimientos generales de cómo funciona la visión humana, para un poco más de información al respecto, favor de referirse a los anexos de este documento.

La edad de los ocupantes es un factor que puede afectar de manera importante el diseño, la visión humana se degenera rápidamente durante la vida, de tal suerte que se llega a los 50 años con tan sólo el 50% de la visión que se tenía durante la

²⁵ Van der Heide, Rogier entrevista febrero 2013. Expo ExpoLighting America

infancia.

¿Cómo? Diseñar un sistema de iluminación sería la última **pregunta a contestar. Malcom Innes dice “El proceso de diseño** de iluminación no siempre es fácil de definir pues varía en cada proyecto aunque los principios generales son válidos para la **mayoría de los casos... El proceso de diseño es a menudo** iterativo con grandes saltos hacia delante seguidos de replanteamiento de cuestiones que han resultado problemáticos. No obstante, en general cada vez es más detallado hasta que todo el proyecto al completo puede definirse de forma que permita que el contratista suministre e instale lo **que el diseñador quiere”**(p. 126)²⁶

Innes plantea el siguiente esquema para realizar un diseño de iluminación, sin embargo cabe aclarar que este no es modelo único, cada diseñador y cada proyecto puede tener su propio proceso, sin embargo aclara Innes estas son las fases más habituales en el diseño de iluminación arquitectónica.

²⁶ Innes Malcom, Iluminación en interiorismo. Ed. Blume, España, 192 pp

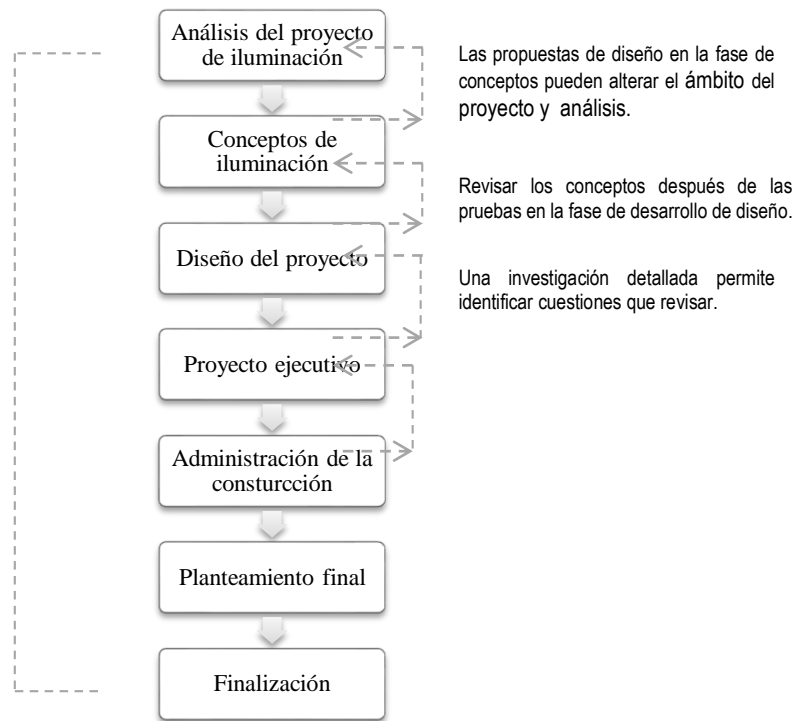


Ilustración 2- 7 Fases del diseño de Iluminación según M. Innes

El siguiente diagrama presenta una pauta de trabajo para un equipo arquitectónico en el Reino Unido. En este país los arquitectos y los diseñadores de iluminación trabajan bajo un contrato basado en el Plan de fases de trabajo publicado por el Real Instituto Británico de Arquitectos (RIBA). Existen fases contractuales anteriores y posteriores a las que se muestran aquí, pero se ilustra cómo el proceso de diseño de iluminación se engrana con el proceso de diseño de arquitectónico.

En la práctica arquitectónica hoy en día es más cada vez más común que el diseñador de iluminación colabore con el arquitecto en las primeras fases del proyecto con la intención de asegurar el aspecto deseado, además los elementos de iluminación suelen influir en las decisiones arquitectónicas como podría ser el diseño de los plafones, la selección de materiales o colores.

Por otro lado la iluminación necesita superficies para iluminar, por lo tanto, la documentación del proyecto de iluminación se basará en el diseño arquitectónico. Como se mencionó anteriormente este proceso es iterativo y en cada fase la iluminación se basará en la información plasmada en bosquejos, croquis, planos o cualquier otro tipo de herramienta que presenta el arquitecto. A su vez, la información pasa al resto del equipo de diseño para que modifique y dé forma a la siguiente fase del proceso de diseño.

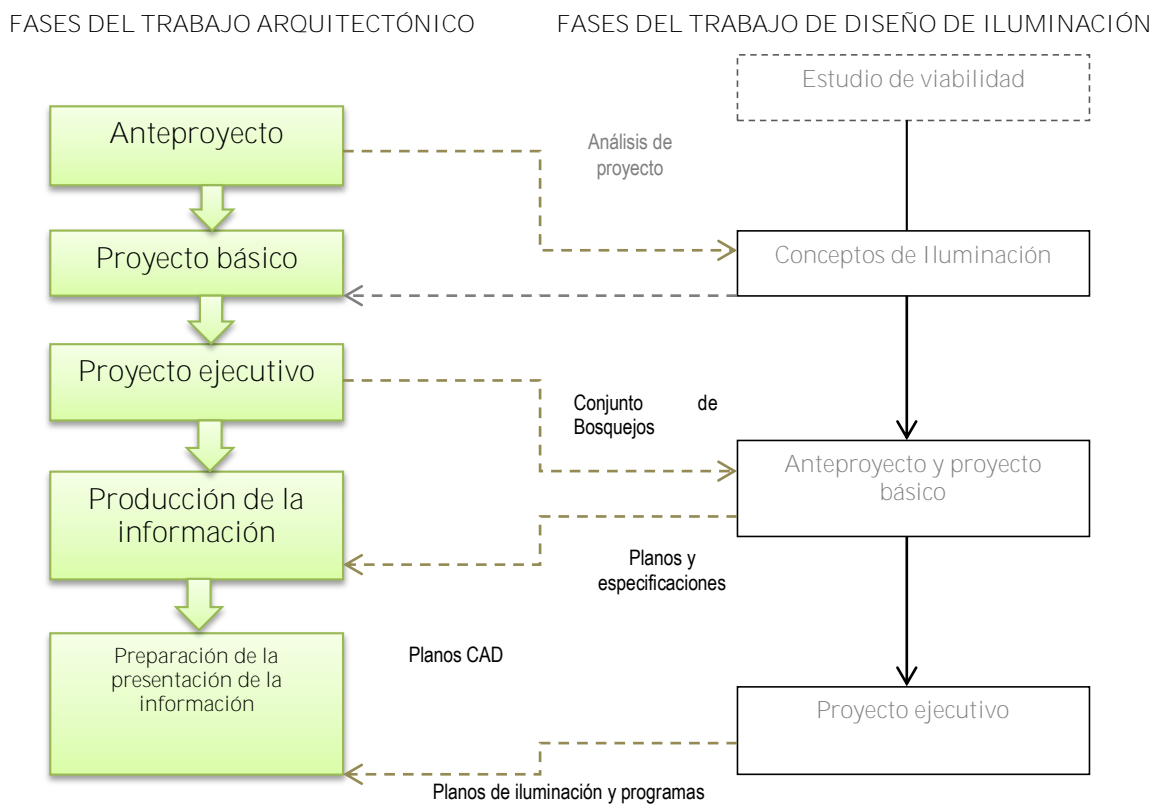


Ilustración 2- 8 Fases del Trabajo Arquitectónico RIBA en conjunto con las fases del trabajo de iluminación Fuente: Innes, p 127

Además Innes, basado en su experiencia como diseñador de iluminación identifica las siguientes fases en el trabajo de diseño de iluminación.

- Investigación para el proyecto.
- Análisis de las necesidades.
- Fase resumen de propuestas.
- Fase de diseño detallado.
- Fase de construcción.
- Planteamiento final y programación de la obra.
- Entrega al cliente.

MODELO IES

De acuerdo con IES, en la versión resumida de su manual de iluminación, el Ready Reference²⁷ (2003, p.137) la tendencia **en los diseños de iluminación hacia el “manejo de energía” está presente desde los 90’s y principios de la década de los 2000’s. Por lo que desarrolló un modelo el cual se muestra esquemáticamente en la Ilustración 4 que contiene los elementos claves para alcanzar la eficiencia energética**

²⁷ Harrold R. IESNA, Lighting Ready reference 8th edition p. 137



Ilustración 2- 9 Modelo de elementos claves del manejo de energía de acuerdo con IES
fuente: Ready Reference.

De acuerdo con IES, estos son los 7 elementos de un diseño de iluminación **enfocado hacia la eficiencia energética**. “**Primero que nada, las necesidades de iluminación de un espacio deben definirse para optimizar la asignación y manejo de energía**” (trad)²⁸.

PROYECTO EJECUTIVO

En el plan de trabajo RIBA que se veía al principio de este capítulo, se mencionan tres etapas de diseño, conceptual, desarrollado y técnico. RIBA sugiere comenzar a revisar el plan de ejecución²⁹ (trad).

²⁸ Harrold R. (ídem)

²⁹ <http://www.architecture.com/Files/RIBAProfessionalServices/Practice/RIBAPlanofWork2013Template.pdf> _Consultado Enero 23,2014.

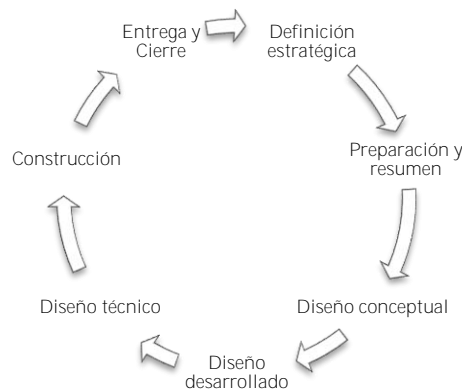


Ilustración 2- 1 RIBA plan de trabajo. Fuente
www.ribaplanofwork.com

En México, al plan de ejecución se le conoce como Proyecto Ejecutivo y es simplemente la información con la que se va a **construir. Se puede definir como una “solución constructiva del Diseño Arquitectónico**, representada en forma gráfica, bidimensional y tridimensionalmente. Se realizan los planos detallados (representación bidimensional) y la especificación de los materiales y técnicas constructivas para su ejecución y se conforma de las siguientes especialidades (y sus respectivas sub-disciplinas) arquitectónico, estructural, constructivo, instalaciones complementos y programación de la obra.³⁰

Cómo se mencionaba anteriormente el proyecto de iluminación es considerado erróneamente como parte de la especialidad de instalaciones. Lo que sí forma parte del proyecto de instalaciones son las configuraciones eléctricas necesarias para alimentar las fuentes y el control. Sin embargo, deben de cumplir con las regulaciones que rigen a estas.

El diseñador de iluminación debe tener en mente que su proyecto se integrará a una red eléctrica; al respecto Malcom

³⁰ Sistematización del diseño arquitectónico, Universidad Autónoma de Aguascalientes. P4

Innes advierte “En los proyectos de iluminación pueden surgir problemas a causa de proyectos ejecutivos mal hechos o incompletos. Ser metódico y especificar con detalle lo que se necesita acabará siendo rentable porque asegurará que se obtengan exactamente los elementos y los efectos que se pedían”.

Cada diseñador o firma se puede apoyar de programas generales de proyectos como PRINCE o PMbok para generar la documentación o de acuerdo a lo contratado, pero como se verá en apartados posteriores existen documentos entregables deben dar una buena idea constructiva del diseño de iluminación.

EL DISEÑADOR DE ILUMINACIÓN O LIGHTING DESIGNER.

En el capítulo 1 se habló de los esfuerzos de Richard Kelly por explicar la importancia de un especialista en iluminación eléctrica; hoy en día la práctica del diseño de iluminación es mucho más aceptada y necesaria dentro del proyecto de arquitectura tanto por razones estéticas como por razones prácticas y técnicas.

El profesional dedicado a esto es el *diseñador de iluminación* que a veces también es conocido en el medio por el término inglés *lighting designer* normalmente un arquitecto o un ingeniero de profesión especializado en el tema. Prestigiosas escuelas como Parsons en Nueva York o el KTH, Royal Institute of Technology en Suecia tienen dos de los cursos de posgrado más reconocidos a nivel mundial. En México, desde 2006 la UNAM y la Universidad Iberoamericana ofrecen diplomados sobre el tema a profesionales en arquitectura o ingeniería o todo aquel relacionado con la iluminación arquitectónica.

Aun así muchos diseñadores de iluminación aprenden sobre la marcha o como Richard Kelly tienen sus orígenes en el teatro. Los excelentes resultados logrados por la aún pequeña pero creciente comunidad de especialistas en iluminación arquitectónica, la difusión en la prensa especializada de sus proyectos, la creciente oferta de productos y la búsqueda de eficiencia o ahorro en energía hacen que cada vez más, los arquitectos se den cuenta que, hay que cambiar la práctica de dejar esto en manos del mismo ingeniero que diseña de las instalaciones y simplemente calcula una luz uniforme (a menos, claro, que esta sea la intención que se tiene para ese espacio en particular) o en manos del proveedor que en la compra de equipo regala el proyecto.

Richard Kelly decía sobre el diseñador de iluminación un editor de arquitectura una figura similar al editor literario que tiene una visión del manuscrito distinta a la del autor, que en teoría, debe ser capaz de sacar lo mejor de este, siempre respetando las directrices e ideas que tenga el arquitecto o el cliente. El diseñador de iluminación es un consultor que apoya al arquitecto.

No siempre es absolutamente necesario un diseñador de iluminación, pero es recomendable se tenga cerca, en la experiencia profesional se ha observado que los arquitectos son en general muy sensibles y muy críticos de lo que la luz hace al espacio, de los colores y texturas de esta.

Pero retomando la idea de que luz-arquitectura es la que hay una parte arquitectónica y otra ingenieril, el diseñador de iluminación además de poder apoyar al arquitecto a llevar sus ideas a la realidad o sugerir algunas que él considere necesarias, también debe tener un profundo conocimiento técnico y estar

al día con lo que el mercado ofrece para poder ofrecer a sus clientes una solución óptima y a la medida.

Por estas razones es que proyectos *regalados* por una marca o un diseño basado en un plano eléctrico de ninguna manera son soluciones óptimas para iluminar un espacio arquitectónico.

REPRESNETACIONES Y ENTREGABLES

Durante la etapa de diseño y conceptualización, muchas veces resulta complicado explicar los conceptos lumínicos, para lo cual existen diferentes técnicas que crean imágenes visuales con diferentes grados de realismo. Al hablar de luz, en iluminación de manera especial, una imagen dice más que mil palabras.

DIBUJOS Y BOCETOS

Pequeños esbozos, croquis o perspectivas son una gran herramienta que siempre se ha utilizado en arquitectura. De **acuerdo con Innes “debido a su propia naturaleza son una forma fantástica de eliminar información irrelevante para concentrarnos en lo que es importante”**

Simplemente con lápiz, papel y algunas líneas en unos cuantos instantes se puede dejar clarísimo alguna idea y la manera en la que la luz se comportará en el espacio. Una o más personas pueden plasmar sus ideas y el dibujo se vuelve una herramienta de comunicación importantísima.

REPRESENTACIONES ABSTRACTAS.

Esta herramienta rara vez sirve para comunicar a un cliente las ideas de iluminación sino más bien son una herramienta de diseño y para describir los aspectos un poco más técnicos de la iluminación (como niveles y distribución).

Existen programas como Visual de Acuity Brands que permiten

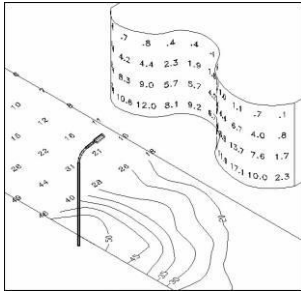


Ilustración 2- 2 Representación de niveles lumínicos en alumbrado público a través de curvas isocandelas

realizar cálculos de iluminación utilizando datos fotométricos para las lámparas y luminarias propuestas sin que se trate aún de un render. **“La información gráfica que arroja el software permite comprender las sutilezas de la forma en la que la iluminación diseñada funcionara en el espacio” con la ventaja de que todo esto se realice aún antes de que instale una luminaria.**

La manera más sencilla es a través de isolineas, que representan la distribución de la luz sobre el espacio utilizando líneas, cada línea es un nivel. De manera similar a lo que ocurre en un plano topográfico.



Ilustración 2- 3 Imagen en pseudocolor de una locomotora, las zonas amarillas representan mayor energía calorífica desprendiéndose Fuente: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:ParowozIR.jpg> consultado Enero 2014

Algunos programas de cálculo como Dialux (muy utilizado en el medio por su distribución gratuita), de rendero como Autodesk 3Ds max e incluso de fotografía como Adobe Photoshop permiten generar imágenes de falso color que **“se usan mucho en las proyecciones científicas para presentar información como temperatura, densidad de población y los resultados de una elección que no se ven a simple vista y que se hacen visibles con superposiciones coloreadas en mapas”.**

En iluminación en particular la información que arrojan los programas se procesan por una técnica conocida como **“falso color”** y en específico por un tipo de falso color llamado pseudocolor, una que se deriva de una imagen en escala de gris mapeando cada valor de intensidad de acuerdo a una tabla o función. Pseudocolor se usa cuando solamente se utiliza una canal de información por ejemplo, temperatura, elevación o niveles de luz). En estas imágenes a cada nivel de luminancia corresponde un color, de tal suerte que gráficamente se puede ver las zonas más iluminadas, las sombras, etc. En el capítulo 4 se retoma este concepto.

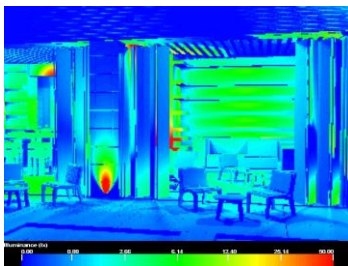


Ilustración 2- 4 Imagen en pseudocolor de una simulación arquitectónica

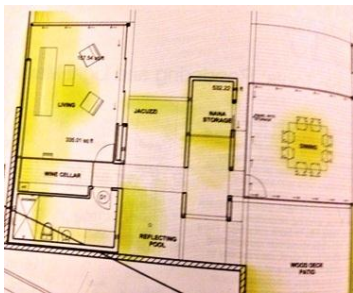
Fuente: elaboración propia

REPRESENTACIONES ESQUEMÁTICAS

Dibujos arquitectónicos.- tales como alzados o plantas pueden ser de gran utilidad al representar las ideas que se tiene sobre la iluminación. “Un símbolo contundente para poder explicar la luz es simplemente una flecha, Su trayectoria puede ser invisible para no otros, pero la dirección desde la que incide en una superficie supone un impacto, también el apoyo de colores y leyendas son grandes herramientas para dejar claro los efectos que se han planeado para el espacio determinado”³¹.

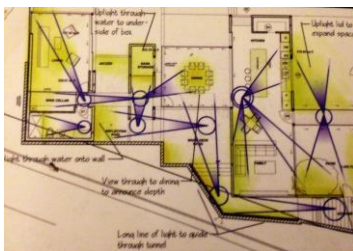
Mapas de luz.- De acuerdo con Russell³² el credo que todo arquitecto debería tener para asegurar éxito en iluminación es: “dibuja tu luz”.

“El primer paso es representar la luz como LUZ no como luminarias. Se dibuja la luz como se ve y dónde se ve, se identifican las superficies y objetos que queremos que brillen y se dibuja brillo sobre ellos”(trad).



“Cuando un arquitecto dibuja la luz en los planos y bocetos, los otros diseñadores, clientes y colegas se “iluminan” con comprensión y entendimiento”, dice Rusell.

Para hacer esto Rusell propone lo que él llama un Mapa de luz, que básicamente es una representación de los efectos lumínicos en las plantas y cortes.



Una vez que el diseñador entiende los conceptos de diseño, el espacio y los usuarios y el proyecto se encuentra en tal punto

³¹ Innes, Iluminación para interiorismo, Editorial Blume 192pp España 2010

³² Rusell p.120

Ilustración 2- 5 arribamapa de luz preeliminar. Abajo, el mismo mapa ya con anotaciones y revisando los remates visuales Fuente. Rusell S, p120



Ilustración 2- 6 Fotografía original. Fuente CAC



Ilustración 2- 7 Fotografía manipulada con thelightngapp Fuente: elaboración propia



Ilustración 2- 8 Fotografía manipulada con thelightngapp Fuente: elaboración propia

que ya existen plantas y cortes se dibuja sobre estos los efectos lumínicos, la dirección de la luz, el color de esta, la intensidad etc. En segundo paso se colocan las primeras representaciones de los equipos y finalmente todas las especificaciones necesarias de los equipos, esto puede convertirse en un plano.

Fotografías.- hay que tener mucho cuidado al tratar de explicar la luz con fotografías por que la cámara y el ojo funcionan de manera diferente, sin embargo pueden ser de utilidad para sobre ellas “dibujar” la luz.

La aplicación para móviles *thelightingapp*, intenta simular con filtros precargados de los efectos lumínicos más comunes, con el objeto de dar a los diseñadores en campo la facilidad de rápidamente esbozar una idea de luz más o menos realista.

Paneles de humor o de inspiración.- esta es una técnica que viene originalmente del mundo de la publicidad y se “mudó” al del interiorismo y que se puede aplicar a la presentación de ideas de iluminación. Es una técnica con la que hay que tener cuidado, pero que puede ser útil sobre todo si se trata con arquitectos no muy experimentados o con clientes completamente ajenos al tema.

La Asociación para la Investigación Cualitativa los define como una “forma de estímulo visual material, consistente de grandes paneles cubiertos con imágenes y diseñados para representar un humor, atmósfera o sentimiento”³³.

Si no se puede explicar, se le enseña al cliente cómo, aclarando que no se va a copiar sino que se va a de-construir la idea y se aplicará al proyecto.

³³ Mitton Maureen, Interior design visual presentation 4ª ed Wiley EU 2012, pos 3049,



Ilustración 2-9 Tabla de ideas elaborado en computadora

“Los proyectos de interiorismo profesional *llaman* al estudio y revisión de los acabados arquitectónicos y materiales así como del mobiliario, lámparas y equipamiento tanto de manera **individual como un todo**”.³⁴

Tradicionalmente los paneles se hacen sobre láminas de cartón, unicel, corcho etc y se arreglan de acuerdo a lo que el interiorista considere necesario cuidando el arreglo gráfico de la **presentación**. “A pesar de el estilo o método de la organización de las muestras se deben usar algunos principios básicos de diseño gráfico. Por ejemplo, el uso de mallas puede hacer maravillas. Una presentación con varios paneles o diapositivas **debe tener una orientación composicional consistente**”³⁵

Evidentemente, los interioristas hoy en día cuentan con las herramientas tecnológicas para realizar los paneles de manera digital, incluso algunos fabricantes proveen de imágenes digitales de alta definición en línea para que puedan ser descargadas y acomodadas en programas gráficos, que, aunque no fueron pensados originalmente para esto sino para otras aplicaciones como fotografía o diseño gráfico, son una herramienta muy buena para este tipo de presentaciones, por ejemplo Adobe Photoshop o Illustrator.

Renders.- El término inglés render, se traduce literalmente como reproducir o interpretar y es el nombre común con el que se conoce en el medio a las representaciones tridimensionales realizadas por computadora.

Son de particular importancia porque al tener información

³⁴ Mitton pos 863.

³⁵ Mitton pos 3168.

sobre los materiales y los espacios se puede prever como se verá **la luz, tanto de día como la artificial “cuando la estructura a iluminarse todavía no existe en la fase de diseño, los modelos computarizados pueden ser una herramienta útil para ayudar en el proceso de diseño. Hay que tener en cuenta que la capacidad de los sistemas de interpretación que producen imágenes que parecen fotografías puede resultar una distracción en las fases de diseño”**³⁶

En iluminación los renders son particularmente útiles para responder a preguntas como sombras que se proyectaran, si las luminarias se verán, los sistemas de montaje, etc.

Los fabricantes prestigiosos, además de las curvas fotométricas tradicionales en un plano, ponen a disposición en sus páginas web curvas tridimensionales de la distribución de la luz de sus luminarias, conocidas como archivos IES. El software basado en las propiedades de los materiales del render y la información de la curva, genera una imagen de cómo la luz afectará el espacio.

Existen diferentes programas en el mercado entre los que destacan 3dsMax de Autodesk, Revit también de Autodesk, Sketchup de Google y Dialux, un software alemán de licencia gratuita, especializado en iluminación. La veracidad y precisión del software depende directamente de la sofisticación del mismo y por supuesto, del grado de complejidad que se requiera. Sobre estos se tratará más a detalle en el capítulo 4.



Ilustración 2- 10 Maqueta iluminada, permite ver cómo se comportará la luz

Maquetas. - Es cierto que los renders han desplazado el uso de maquetas en la presentación de proyectos de arquitectura, sin embargo, son una herramienta importante. Porque permiten analizar las cualidades tridimensionales de la forma.

³⁶ Innes, M. p 148

en el objeto arquitectónico Fuente:
afasiarq.blogspot. Consultado Febrero
2015

Las maquetas pueden ser simplemente con papel rígido blanco o extremadamente detalladas, al grado que algunas firmas contratan maquetistas profesionales.

“La maqueta permite al diseñador percibir en la práctica cómo los pequeños cambios pueden influir en el efecto iluminado. En maquetas sencillas se pueden cambiar rápidamente los materiales para probar ideas en el mismo instante en que surgen. No importa lo compleja que sea la interreflexión difusa de la luz sobre las superficies; con las maquetas los resultados son instantáneos y no hay que esperar como sucede cuando se hace una interpretación computarizada”³⁷

Planos.-Quizá la representación arquitectónica más emblemática y la que se conoce mejor entre la generalidad de las personas.

Los planos más comunes son los planos en planta, son diagramas, usualmente a escala de las relaciones entre locales, espacios y otros elementos en un nivel de una estructura. Se dibujan cotas dimensionales para especificar el tamaño. Este tipo de diagramas incluyen información sobre los objetos que se encuentran en el espacio como mobiliario sanitario, mobiliario fijo o movable, calentadores, puertas, etc. Los planos deben incluir notas para especificar, acabados, métodos de construcción, o cualquier otro tipo de información necesaria.

Otro tipo, son los cortes o alzados, que es una proyección ortográfica de un objeto horizontal. En conjunto, planta y corte deben de dar una muy buena idea del espacio

³⁷Innes, P150

En iluminación rara vez, (o más bien nunca) se comienza desde cero en un plano; normalmente planos más o menos completos, con una distribución espacial bastante adelantada, información estructural e incluso información sobre tonos y acabados son la base del trabajo.

La información que existe en un plano de iluminación puede (o debe) derivarse de lo que se planteó en forma de luz. Símbolos, preferentemente a escala de las luminarias, lámparas etc. se colocan en la posición exacta en la que irán en el espacio. La Ilustración 2-1X muestra un código propuesto por Sage Rusell³⁸. Es importante considerar que las luminarias en proporción al espacio son muy pequeñas y verlas en el plano se puede volver difícil. Otra consideración importante es que, como se verá en el capítulo 4, luminarias con diferentes accesorios pueden provocar diferentes efectos de luz. Una manera sencilla de solucionar esto es ponerle a luminaria una clave y adjuntar al plano una lista de luminarias en las que se colocan las especificaciones generales de la misma.

³⁸ Rusell S, p 204

Símbología de luminarias

	Luminaria montada en alguna superficie		Luminaria arbotante decorativa
	Luminaria de acento empotrable ajustable		Luminaria arbotante direccional en muro
	Luminaria empotrable (downlight)		Luminaria empotrable decorativa
	Luminaria empotrable (downlight)		Luminaria empotrable decorativa
	Luminaria para baño de pared empotrable		Luminaria suspendida decorativa (pendant)
	Luminaria empotrada decorativa (downlight)		Luz de cortésia en empotrada en escalón
	Luminaria empotrable de acento ajustable		Luminaria arbotante para esquinas
	Luminaria empotrada en piso (uplight)		Cabeza de luminaria montada en riel
	Combinacion Luminaria/Ventilador		
	Luminaria tipo gabinete suspendida de 60 x120cms		Luminaria tipo gabinete de sobreponer de 60 x120cms
	Luminaria suspendida de 30x120cms		Luminaria de sobreponer de 30x120cms
	Luminaria tipo gabinete empotrada de 60 x120cms		Luminaria hacentos sobrepuestos
	Luminaria tipo gabinete de 30x120cms		Línea de luz de 30 cms de longitud

Ilustración 2- 11 Simbología de luminarias en planos Fuente: Russell Sage p.204

Notas de conexión, fijación y distancias precisas de la ubicación de las luminarias así como el arreglo de control son vitales para garantizar el mejor resultado posible.

Como se mencionaba anteriormente, el sistema de iluminación artificial forma parte de las instalaciones eléctricas. Lo ideal, sería presentar un plano de iluminación con toda la información necesaria y otro con el cableado eléctrico, porque de manera ideal el diseñador de iluminación y el ingeniero eléctrico son dos personas diferentes en el equipo (aunque algunos diseñadores de iluminación tienen una formación ingenieril y son capaces de diseñar también el cableado). Hay veces en las que no vale la pena generar dos planos o que por contrato o estilo solo se puede presentar un plano con toda la información.

En estos casos se debe ser mucho más cuidadoso, organizado y preciso con la manera en la que se presenta la información.

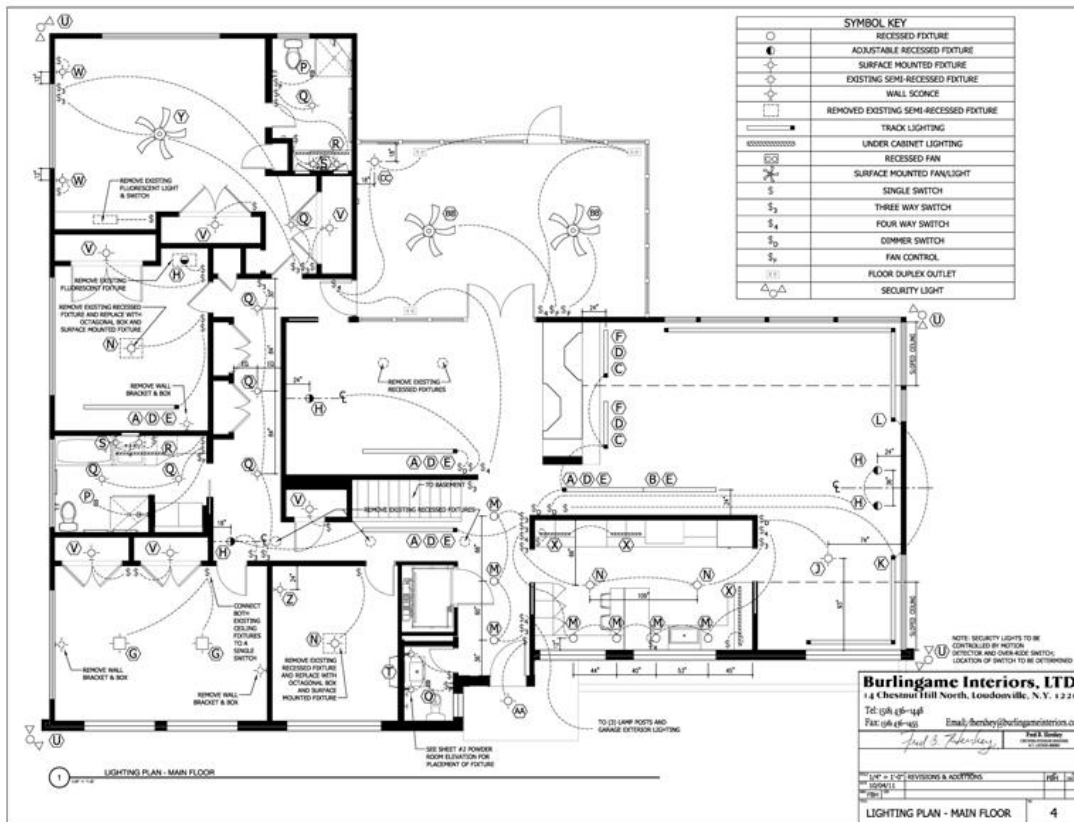


Ilustración 2- 12 Plano de iluminación. Fuente: <http://www.conwaycreations.com/wordpress/wp-content/uploads/2012/07/LightingPlan.jpg> consultado Febrero 11, 2014

Detalles.- Son dibujos mucho más precisos de la manera en la que se deberán montar los equipos para lograr los efectos deseados. Es como hacer un zoom un punto específico del plano para explicar los detalles técnicos de cómo se incorporan los equipos a los elementos arquitectónicos. “Trabajando con las restricciones de presupuestos modestos los arquitectos y los diseñadores de iluminación han sido forzados a ser más imaginativos en cómo hacen su trabajo. Mientras que los dibujos van desde bosquejos duros hasta detallados

documentos de construcción”³⁹ dice Jean Gorman en su libro *Detailing Light* dedicado simplemente a los detalles en iluminación. Los detalles de iluminación puede incorporarse a los planos (en el plano debe haber una referencia al detalle), unificarse todos en un plano o entregarse como documentos durante la etapa de construcción.

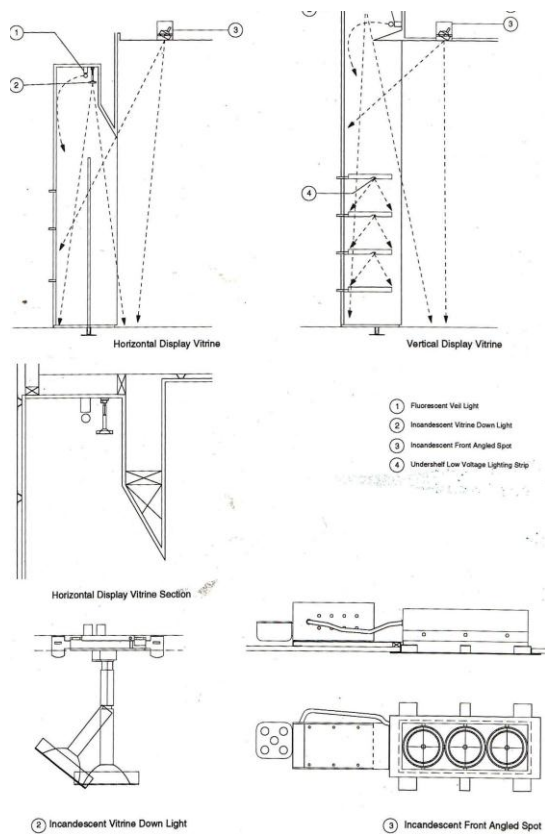


Ilustración 2- 13 Detalles de cajillos



Ilustración 2- 14 Fotografía de la tienda ya construida
Fuente Gorman J, p 152

ESPECIFICACIONES.

“Los documentos de soporte más importantes que

³⁹ Gorman Jean “Detailing light, Integrated lighting solutions for residential and contract design”. Watson Guptill Publications, 1995, EU p. 12

acompañan a los planos de iluminación es la tabla de luminarias y las hojas de especificaciones que ilustran exactamente qué equipo de iluminación se requiere para **volver el plano real... Son documentos que deben listar los productos de manera precisa y completa.**⁴⁰

Los catálogos de iluminación suelen ser extensos y errores tan sencillos como *un error de dedo* al especificar el modelo de una luminaria, puede causar que se pida un producto completamente diferente al que se tenía especificado originalmente.

Cédulas o tablas de luminarias.- Es el documento que el contratista utilizara para instalar el equipo de iluminación. La información que recomienda Sage Rusell se coloque en esta se lista a continuación, sin embargo esto no es una regla y cada diseñador de iluminación puede añadir o quitar categorías a su mejor criterio.

Encabezado

Simbología de las luminarias

Fabricante

Número de catalogo

Lámpara

Características eléctricas (Voltaje, potencia etc)

Tipo de montaje

Ubicación

Notas

⁴⁰ Rusell S. IDEM P.197








CÉDULA DE LUMINARIAS									
Simbología	Etiqueta	Qty	Modelo	Descripción	Lámpara	File	Lumens	LLF	Watts
	Art	3	CO1061B	WALL WASHER MR16 EXN	50W MR16 MASTERCOLOR ÁNGULO DE APERTURA ESP. EN PLANO. PHILIPS	CO1061B.ies	1000	1,00	55
	Pinho	6	RE1006	Unique MR16 50	50W MR16 MASTERCOLOR PHILIPS	RE1006.ies	600	1,00	50
	Gral	48	CO1060B	PIN HOLE MR16	MR16 RETROFIT LED PHILIPS	CO1060B.ies	470	1,00	55
	Reg	8		TECHO 100 LED 2700K	LED 2700K. INCLUIDO	CEILING_LED_100_2700.ies	Absolute	1,00	5,5
	Cajil	17	SM 1 28T5 MOVLT GEB10PS	4' CANALETA 28WATT STRIP LIGHT	UNA 28-WATT LINEAL T5 FLUORESCENTE EN CAJILLO. VER DETALLE	SM_1_28T5_M OVLT_GEB10 PS.ies	2600	1,00	30,5
	Fluor	3	8VF 1/26DTT MVOLT 802AZ	8" DOWNLIGHT ABIERTO CON REFLECTOR ESPECULAR.	UNA 26-WATT DOBLE FLUORESCENTE COMPACTA	8VF_1_26DTT_MVOLT_802AZ.ies	1800	1,00	33
	dbleh	4	CO1006	MODULARE DIRIGIBLE PAR-30 LED.	PAR30 RETROFIT LED PHILIPS		1900	1,00	33
	Apoyo			SUSPENDIDA CONSULTAR CLIENTE PARA INSTALACIÓN					

Ilustración 2- 15 Cédula de luminarias con el formato de Visual Fuente: elaboración propia

Hojas de especificación.- Para que la información quede muy clara, el diseñador de iluminación incluye fichas técnicas a los documentos de construcción. Estas fichas normalmente siguen la literatura que provee el fabricante, pero puesta en un formato que “ayuda al proyecto de iluminación”. Al igual que las tablas de luminarias, las hojas de especificación deben crear un vínculo directo entre la simbología de los planos y el conjunto entre lámpara-luminaria-control (en el capítulo 4 se tocan estos temas a detalle).

No basta tan solo con presentar la hoja de especificaciones del fabricante, porque algunos fabricantes utilizan la misma hoja para varias luminarias u opciones. Entonces es necesario destacar la información pertinente. Cuando se especifican compañías extranjeras en ocasiones es preciso traducir y ajustar las hojas de especificaciones a la normatividad mexicana. Las compañías nacionales muchas veces no generan estos documentos y hay que acomodar la información de catálogo en una hoja de especificación. La

Ilustración 2-1x una hoja de especificación de una marca que provee espacio para que el diseñador pueda adaptarla al proyecto. La Ilustración 2-1X contiene esta información presentada en el formato de una firma de iluminación

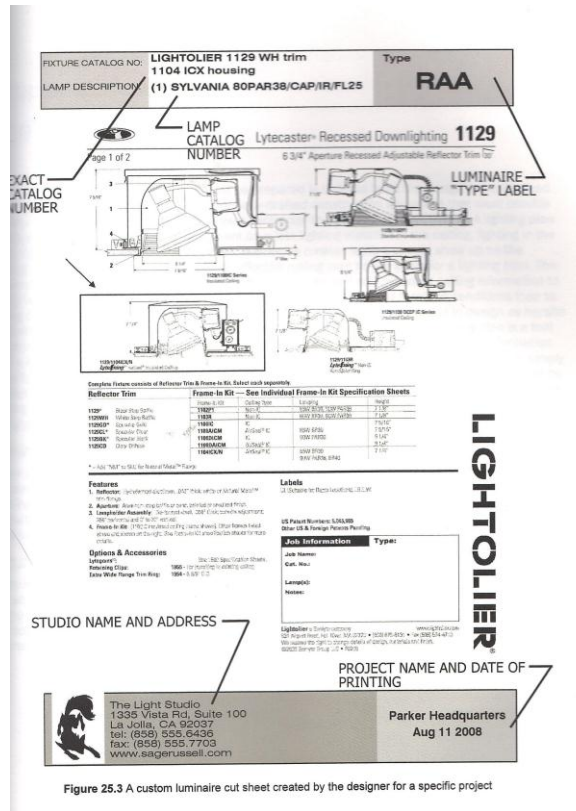
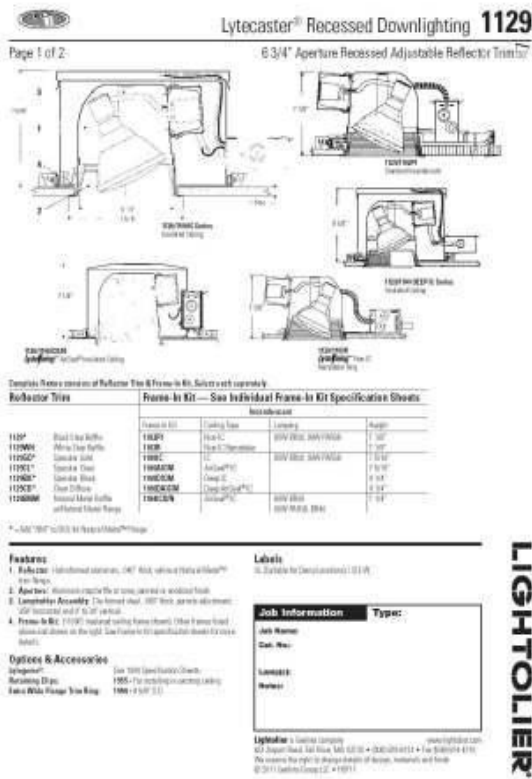


Ilustración 2- 16 Ficha técnica típica de una luminaria

Ilustración 2- 17 Ficha en el formato de la firma de diseño de iluminación

Catálogo de Conceptos.- Es un listado que contiene una descripción, cantidades y características de los materiales y servicios para la construcción, instalación, puesta en marcha, etc en una obra. Los datos se extraen del proyecto ejecutivo. Este documento es importantísimo porque las cotizaciones y compras se harán en base a este documento.

Las diferentes instancias de gobierno y empresas trabajan con diferentes formatos de catálogos y descripciones. En el caso particular de iluminación algunas instituciones utilizan la unidad *salida eléctrica* y ahí se debe cotizar todo lo que se requiere para la instalación, en el caso de una salida de iluminación se contempla: luminaria, lámpara, balastos, cables, cajas, registro, tuberías, elementos de fijación, mano de obra. Otras consideran cada elemento de manera individual.

Los conceptos que normalmente se incluyen en este documento son :

- Descripción del proyecto.
- Logotipos de las instituciones.
- Clave.
- Referencia a especificaciones.
- Descripción del concepto (la cual debe ser extremadamente precisa para evitar confusiones durante la obra).
- Cantidad.
- Unidad de Medida.
- Precio Unitario y Total.
- Total

III. ENERGÍA

“Si deseas entender el Universo, piensa en energía, frecuencia y vibración”. Nikola

Tesla

Hoy en día, el tema de la energía tiene un innegable protagonismo en la conciencia popular y científica porque ha terminado una época de bonanza en cuanto a los combustibles que tradicionalmente se utilizan para generar energía eléctrica, es decir aquellos que provienen de fósiles. Como adolescentes rebeldes, hoy se ve el comportamiento energético de las generaciones del SXX, como barbárico e irresponsable y la tarea de las nuevas es corregirlo y hacer una limpieza del desastre heredado, claro, sin perder ninguna de las comodidades adquiridas.



Ilustración 3- 1 Lámpara CFL sobre pasto usada para enfatizar el beneficio ecológico de usarlas al reemplazar incandescencia, para una campaña gubernamental en India. Fuente:

**<http://www.energytrendsinsider.com>
/ Consultado Julio 31, 2013**

Esto se trasmina en una cultura y en una sociedad preocupada por el ambiente, la energía o simplemente preocupada por algo, muchas veces parece que no podemos apuntar bien qué es lo que debe preocuparnos

La iluminación eléctrica y en particular las lámparas hoy aparecen como estandarte del movimiento que motiva al consumidor final a mejores prácticas en cuanto al consumo, eficiencia y al ahorro energético. El "foco" incandescente se sustituye por el fluorescente compacto como ejemplo;

Este capítulo está dedicado al análisis de la energía utilizada en iluminación arquitectónica y en particular lo que tiene que ver con el espacio arquitectónico.

Antes de comenzar a hablar de eficiencia energética o ahorros energéticos resulta importante preguntarse (o recordar) qué es la energía, simplemente energía en su definición más tradicional y pura y cómo funciona. Esto además ayudará a deducir los conceptos que fundamentaran este documento y que se estarán utilizando en el desarrollo del mismo. Para poder definir energía hacer esto resulta inminentemente voltear la mirada hacia la termodinámica.

DEFINICIÓN

Tradicionalmente en física la energía se ha definido como *la capacidad de realizar un trabajo*. En tecnología y economía la definición tiene que ver más bien con los recursos naturales, como un medio para satisfacer una necesidad.

Richard Feynman publicaba hacia 1964 “Es importante darse cuenta que en la Física de hoy en día no tenemos conocimiento de qué es la energía. No tenemos una imagen de que la energías son pequeñas burbujitas de una cantidad determinada”⁴¹ A lo que Freyman se refiere es que la energía es intangible, es

Lo que sí se sabe sobre la energía, y se sabe hace siglos son las leyes de la termodinámica:

Si A está en equilibrio térmico con B y B está en equilibrio térmico con C entonces C está en equilibrio térmico con A

La energía interna de un sistema aislado es constante.

No hay ninguna transformación termodinámica cuyo único efecto sea extraer calor de un foco y convertirlo totalmente en trabajo.

Es imposible alcanzar una temperatura igual al cero absoluto mediante un número finito de procesos físicos.⁴²



Ilustración 3- 2 la palabra energía en medio de una lluvia de conceptos que se relacionen con ella. Fuente: http://www.123rf.com/photo_7338079_energy-word-collage-on-white-background-illustration.html

⁴¹ Feynman Richard, “The Feynman lectures physics” 1964 Ed. John Wiley & Sons, Inc
⁴² Atkins Peter, “The laws of thermodynamics, a very short introduction” 2010 Oxford University Press. E.U.

El principio cero o ley cero de la termodinámica simplemente establece la necesidad de una propiedad que determine el equilibrio térmico, es decir la temperatura

“Realmente esta ley se trata de una extensión de la *ley de la conservación de energía* cuyo enunciado es mucho más conocido “la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma”. Esto es, cuanta energía había al principio del universo será la misma cantidad que habrá en su muerte”⁴³ (trad) dice Peter Atkins.

Normalmente, cuando se habla de la energía en un edificio, solo se refiere a electricidad o calor, pero hay que recordar que existen diferentes tipos de energía, mecánica, química, cinética, potencial, lumínica, etc. y por supuesto eléctrica y calorífica también. A este concepto hay que *ponerle un alfiler* y mantenerlo en mente durante el desarrollo de este documento, porque será parte la espina dorsal del análisis que se hará de los sistemas de iluminación y su comportamiento energético

El segundo principio, en palabras más sencillas, dice que en un proceso termodinámico no toda la energía se convierte en trabajo, pero como no se crea no se destruye, de acuerdo al primer principio, esta genera entropía, es decir, irreversibilidades del proceso. En palabras de Sadi Carnot, el padre de la termodinámica, esto es lo que impide la existencia de máquinas de movimiento perpetuo.

El tercer principio, simplemente implica que la entropía puede ser expresada en una escala absoluta. Esto la convierte en un propiedad de estado y no de trayectoria y tiene implicaciones importantes. El valor que se le da a esta propiedad es absoluto y

⁴³ Ídem. Pos 520

coloca a la entropía al mismo nivel que otras propiedades de estado absolutas como la presión y la temperatura.

WATT, WATT-HORA, CANDELAS, ETC.

Durante esta tesis se estarán manejando diferentes unidades, que si bien en el ámbito de la ingeniería se entiende su diferencia fácilmente, la experiencia muestra que fuera de este, incluso, entre los arquitectos (para quienes parte de su formación y quehacer es técnico), resultan un poco confusos.

En iluminación eléctrica hay idealmente de dos formas de energía diferente: la energía eléctrica que alimenta las fuentes lumínicas y que se transforma, de acuerdo al principio de conservación, en segundo tipo de energía; luminosa, es decir luz que como se decía en el capítulo 1 es energía en forma de radiación electromagnética que nuestros ojos son capaces de ver. La unidad de flujo luminoso en el sistema internacional se llama candelas, pero esta unidad está en desuso y se utilizan comercialmente lúmenes o luxes.

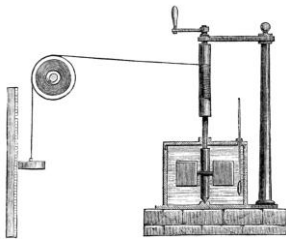


Ilustración 3- 3 Mecanismo que utilizaba Joule para sus experimentos.

Fuente:<http://recuerdosdepandora.com/ciencia/fisica/historia-de-la-energia-desde-el-calorico-hasta-joule/> Consultado Noviembre 2013

Para poder hablar sobre eficiencia energética primero es importante dejar en claro conceptos básicos.

Otro concepto importante es el trabajo que es la energía transferida de un sistema a otro que se ve reflejada como un cambio en las restricciones mecánicas generales del sistema. El cambio en las restricciones mecánicas generales puede verse como cambio químico, físico, térmico etc.

Si de acuerdo con su definición la energía es equivalente al trabajo se puede decir que son equivalentes. Esto lo probó J.P. Joule a través de un experimento en el que comprobaba el equivalente mecánico del calor.


Otro concepto importante es la potencia que es **la cantidad de energía transferida por unidad de tiempo**, esta se expresa en el SI en Watts [W], 1 W equivale a 1 Joule/s. El caballo de fuerza, **abreviado “H.P.”** es consistente con los Watts, es decir 746 W equivalen a 1 H.P. El experimento de Joule consiste de un receptáculo lleno con agua y un mecanismo con paletas. La energía cinética de paletas es transformada en calor, debido a la fuerza de gravedad⁴⁴.

Cuando hablemos de consumo de energía eléctrica se habla frecuentemente de Watts y de Watts-hora, estas unidades no son iguales, los Watts como lo mencionamos se refieren a una potencia, los Watts-hora se refieren a una potencia integrada en el tiempo, digamos que se refiere a una carga de una cantidad fija de Watts durante un tiempo de una hora. El Watt-hora [Whr] es unidad de energía, comparable con el Joule.

Las compañías eléctricas, utilizan el kilowatt-hora [kWhr] como medida de cobro y no el Joule. En México la tarifa de costo de la energía eléctrica la determina la Secretaría de Hacienda y la pública históricamente la Comisión Federal de Electricidad.


Pongamos el ejemplo de una lámpara incandescente de 100 Watts de potencia encendida durante 1 hora requerirá una energía de 100 Watts hora para operar. El Wh equivale a 3600 J por lo que la misma lámpara incandescente de 100 watts requerirá de 360,000 J para operar durante 1 hora

⁴⁴ <http://demonstrations.wolfram.com/JoulesExperiment/> consultado Octubre 09, 2013.



ELECTRICITY CONSUMPTION





RESOURCE EFFICIENCY



1 kWh

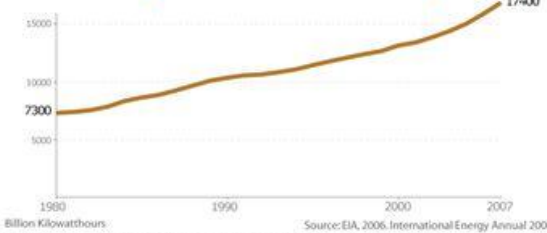
Electricity production and consumption is often measured in units of Kilowatt Hours (kWh). When a machine consumes 1 kWh, it has been running at a rate of 1000 watts for a period of 1 hour. It means the amount of electricity consumed is directly related to the wattage of appliances.

What can I do with 1 kWh?

-  Watch television for **6 and a half hours**.
-  Bake a cake in an oven for **1 hour**.
-  Keep 3 lightbulbs on for **5 and a half hours**.
-  Wash **one 5 kg load** of laundry.

Calculations based on average wattage of appliances (see bottom of page).

What is the global level of consumption?



Source: EIA, 2006. International Energy Annual 2006

Ilustración 3- 4 Infografía sobre qué es un kWh en términos coloquiales Fuente:

http://geodata.grid.unep.ch/mod_download/download_file.php?selectedName=Resource%20Efficiency%20-%20Electricity%20Consumption.pdf Consultado Diciembre 10,2012



Ilustración 3- 5 Humpty Dumpty. Ilustración para Alicia a través del espejo de Lewis Carrol

ENTROPÍA

En termodinámica, la entropía (simbolizada como S) es una magnitud física que permite, mediante cálculo, determinar la parte de la energía que no puede utilizarse para producir trabajo útil. Es una función de estado de carácter extensivo y su valor, en un sistema aislado, crece en el transcurso de un proceso que se dé de forma natural. La entropía describe lo irreversible de los sistemas termodinámicos.

El concepto de entropía no sólo se aplica para la física, se puede considerar como una medida en la que un sistema se puede arreglar, y se toma como una medida de desorden en un sistema termodinámico

“La entropía contradice la visión mecanicista del mundo. En otras palabras se trata de un estado irreversible, un estado que se mueve hacia un equilibrio gradual y que se sugiere de diferentes maneras. Quizá una bonita y sucinta definición de entropía sería: Humpty Dumpty, se sentó en un muro Humpty Dumpty sufrió una caída.

Todos los caballos y los hombres del rey no pudieron volver a unir **a Humpty Dumpty**".⁴⁵

Robert Smithson toma la rima infantil para hacer entender de manera muy sencilla lo que es la entropía, Humpty Dumpty al estar sentado en el muro, tenía una cantidad determinada de energía potencial, al caerse esta energía potencial se convirtió en cinética, el impactó con el suelo provocó que se rompiera, la energía rompió a Humpty Dumpty, esta energía potencial que tenía al principio se transformó en múltiples formas de energía, desde sonora, mecánica e incluso calor. Teóricamente es posible reconstruir a Humpty Dumpty pero requerirá más energía que la energía inicial que fue la causante de que se rompiera, es decir se necesita reponer la energía inicial más un adicional que es el equivalente a la entropía, no se puede hacer un *rewind* y volver a Humpty Dumpty a su estado original si no se añade aún más energía de la que tenía inicialmente.

“La entropía introduce una función de estado que describe la degradación cualitativa de la energía que contiene un sistema. La entropía es una variable que aumenta irreversiblemente con el paso del tiempo y manifiesta el aumento del desorden de un sistema. En este avance desde un estado ordenado a uno desordenado un sistema pasa de un instante en el que tiene potencial para desempeñar un trabajo a otro en el que deja de tener potencial para desempeñarlo. La entropía introduce en los sistemas dos variables, el paso del tiempo y su degradación”⁴⁶.

LA EFICIENCIA Y LA EFICACIA.

La eficiencia es la relación entre un valor teórico entre un valor real. Hablando de energía se refiere a la cantidad de energía teórica

⁴⁵ Smithson Robert Entropy made visible on Site 4 1973 Reimpreso para de lo mecánico a lo termodinámico Edit G.G.

⁴⁶ García Germán J. De lo mecánico a lo termodinámico p13

que se requiere para realizar un trabajo, dividida entre la energía realmente utilizada. En todos los casos se requiere mas energía que la teórica por razón de las **irreversibilidades de los procesos**, es decir siempre hay una fracción de energía que no es posible convertir a trabajo, mientras mayor sea esta cantidad de energía menor será la eficiencia del dispositivo.

La eficacia es la capacidad de lograr la tarea propuesta, independientemente de los recursos necesarios para lograrla.

Al pensar en iluminación es importante considerar la diferencia entre estos dos últimos conceptos. Si la tarea es, por ejemplo, iluminar una fachada, la eficacia nos indicará que tan bien se logra la iluminación deseada mientras que la eficiencia nos dirá cuanta energía estamos utilizando para conseguir tal fin.

EFICIENCIA ENERGÉTICA

La eficiencia energética de acuerdo con el World Energy Council⁴⁷ se refiere a una **“reducción en la energía utilizada para un servicio determinado o nivel de actividad” (traducido)**. Se puede complementar y aclarar esta definición con lo que menciona el **Center for Sustainable Energy, en California E.U.:** “la meta de la eficiencia energética es hacer las mismas tareas que se realizaban **antes usando menos energía**”⁴⁸(trad).

Muchas veces este concepto se confunde con ahorro de energía o se utilizan de manera indiferente. El segundo tiene que ver con las actividades que se realizan y que resultan en consumo inferior de

⁴⁷ Información obtenida de:

http://www.worldenergy.org/publications/energy_efficiency_policies_around_the_world_review_and_evaluation/1_introduction/1175.asp . 5 de mayo de 2011

⁴⁸ Información obtenida de: <https://energycenter.org/index.php/technical-assistance/energy-efficiency/energy-efficiency-definition>. 5 de mayo de 2011

energía, por lo tanto implica una condición de preexistencia de un determinado, sistema aparato, etc. El uso de productos energéticamente eficientes puede resultar en ahorros en el consumo de energía eléctrica pero depende del uso que se le dé.

Por ejemplo, una lámpara incandescente de 60Watts produce 600 lm/W. si se sustituye por una Fluorescente compacta de 13 Watts esta tendrá una eficiencia de 16 lm/W. La fluorescente compacta es evidentemente más eficiente, esto permite hacer la misma tarea visual consumiendo 47 Watts menos, es decir un 21.67%. Pero ¿qué pasa si la incandescente realmente utilizada durante una hora y la fluorescente compacta durante 5 horas, el consumo eléctrico que se da en kWh será más alto.

$$60W \times 1h = 60Wh = .060 \text{ kWh}$$
$$13W \times 5hr = 65 Wh = .065 \text{ kWh}$$

A pesar de que el luminario fluorescente es 78% más eficiente, habrá consumido un 8% más de energía eléctrica.

En los sistemas de iluminación arquitectónica además del uso eficiente es importante considerar el uso eficaz. Más adelante se hablará de las tecnologías y opciones para controlar las fuentes y las ventajas y desventajas energéticas que tienen las diferentes tecnologías lámparas y luminarias tratar el tema desde un punto de vista meramente energético resulta absurdo aquí no está simplemente relacionado con los costos como en un motor con menos energía. En el tema de iluminación arquitectónica se debe tomar en cuenta.

Se hace el siguiente ejercicio en una casa durante el invierno. Las 4 lámparas ahorradoras de 23 W que se ocupan durante el verano en la sala de estar se cambian por incandescentes de 75W es decir,

la carga aumenta de 92W a 300W, es decir 208 W. El espacio es ocupado por un par de horas, las lámparas incandescentes son ineficientes lumínicamente hablando pero el calor que despiden es el suficiente para alcanzar una sanción térmica confortable durante las horas de uso. La alternativa es conectar un calefactor móvil y **dejar las lámparas “ahorradoras” entonces para calentar e iluminar** durante 2 horas se utilizarían:

4 lámparas de 75 W → 300W en 2hrs= 600Wh

4 lámparas de 13W → 92 W en 2hrs=184 Wh

1 calentador de 500W en 2 hrs= 1000Wh

Es un consumo total de 1.184 kWh. Casi el doble que utilizando tecnologías de iluminación consideradas ineficientes.

ENERGÍA DESTINADA A ILUMINAR

Mientras la naturaleza de las fuentes de luz que se utilizan en la iluminación arquitectónica sea de naturaleza eléctrica, existirá la preocupación por la *cantidad de energía eléctrica* que se utiliza para iluminar, especialmente con la preocupación mundial que hay por el cuidado del planeta, los recursos con los que contamos para generar energía eléctrica y el impacto que el uso de esta tiene sobre nuestro planeta.

Tal parece que la respuesta ante el problema de ser energéticamente eficientes al iluminar es sencilla; solamente **aplicar tecnologías de “bajo consumo” para cumplir con una** cantidad de potencia delimitada por la normatividad. En automático estaremos consumiendo menos energía y abaratando la factura por consumo de energía eléctrica.

Esto no quiere decir necesariamente que estemos hablando de un

diseño energéticamente eficiente. “un diseño de iluminación es energéticamente eficiente. Usa los watts disponibles para proveer luz donde se necesita, cuando se necesita y limita a la luz donde no es deseada”⁴⁹

De acuerdo con la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), a nivel mundial, la iluminación representa aproximadamente el 15% del consumo total de energía eléctrica⁵⁰. En México, este número asciende hasta un 18%. También, de acuerdo a este mismo organismo, el índice de aumento en la demanda fue de 1997 a 2007 es del 3.9% anual.

De manera general, de acuerdo con IESNA en un edificio promedio la energía eléctrica consumida directamente por iluminación representa un 25 % del total de la energía consumida, misma que genera calor que representa entre un 15 y 20% de la carga que deben manejar los equipos de Aire Acondicionado (IESNA Ready Reference, 2003, p137) trad.

Aunque podemos considerar a la energía eléctrica como una **“energía limpia”**, de acuerdo al **Balance Nacional de Energía**⁵¹ de 2011 el 51.8% de los 253,155 GW que tiene de capacidad de generación el sistema eléctrico mexicano, se hace a través de combustibles fósiles, que son contaminantes. La transmisión también suele ser complicada ya que se tienen que tender distancias muy largas de cableado para que llegue a las ciudades y colocar subestaciones de transmisión o distribución en distintos puntos para cumplir con los requerimientos de una gran variedad de usuarios lo que impacta directamente en el precio de la energía

⁴⁹ Gordon Gary, Interior Lighting for Designers, 2003

⁵⁰Datos obtenidos de http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/alumbrado_publico; 15 de mayo de 2011

⁵¹ Balance Nacional de Energía 2011, SENER 2011, México p.91

eléctrica.

Estos datos invitan a reflexionar en la importancia que tiene el consumo eléctrico por concepto de iluminación y a examinar cómo estamos consumiendo esa energía con la que iluminamos la arquitectura.

RETROFITTING

Se trata de un término en inglés para la sustitución de viejos componentes más eficientes al momento de realizar esta investigación no se encuentra un término similar en español por eso se mantiene este.

El gobierno mexicano, en el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de Energía⁵² (PRONASE) (CONUEE, 2010, p.7) contempla la iluminación como una de las 7 áreas de oportunidad costo-efectivas para el uso eficiente de energía. Sin embargo, se limita simplemente a proponer el **incremento de la eficiencia del parque de “focos” (lámparas)**. Para alcanzar esta meta el programa, planea publicar una Norma Oficial que regule la eficiencia de estos y promover el uso de ***lámparas de alta eficiencia*** (fluorescentes compactas o Diodos Emisores de Luz (LEDs)) así como ayudar a comunidades de escasos recursos a adquirir estas lámparas y acelerar la implementación de ***iluminación eficiente*** en la administración pública y alumbrado.

NORMATIVIDAD

Todo proyecto de Ingeniería debe apoyarse y regularizarse en normas y estándares nacionales e internacionales que garanticen no sólo su buen funcionamiento sino también la calidad de éste.

Las normas y estándares también proveen un lenguaje común entre especialistas que permiten revisiones del proyecto y facilitan la construcción y mantenimiento.

Las normas son emitidas por autoridades expertas en la materia, ya sean gubernamentales o sociedades de ingenieros reconocidas y prestigiosas. Ya sea por ley, acuerdo contractual o por criterio del diseñador, la norma que va a regir un proyecto debe ser estipulada claramente al principio de éste. Las normas varían de país a país así como la manera en que estas se emitidas. En México; las Normas Oficiales Mexicanas son de carácter mandatorio para regulaciones técnicas por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y son condensadas por la Dirección General de Normas de la Secretaría de Energía.

Para el caso en particular de la iluminación arquitectónica aplican las siguientes NORMAS OFICIALES MEXICANAS:

- **NOM-001-SEDE-2005.**-Expedida por la Secretaría de energía, regula las instalaciones eléctricas.
- **NOM-007-ENE-2004.**- Expedida por la Comisión Nacional de Ahorro de Energía de la Secretaría de Energía, regula la eficiencia energética de los sistemas de alumbrado en edificios no residenciales. Establece niveles mínimos de eficiencia energética en términos de densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA) con que deben cumplir los sistemas de alumbrado para uso general de edificios no residenciales nuevos y ampliaciones de los ya existentes, con el propósito de que sean proyectados y construidos haciendo un uso eficiente de la energía eléctrica en estas instalaciones, mediante la optimización de diseños y la utilización de equipos y tecnologías que incrementen la eficiencia energética sin menoscabo de los niveles de

iluminancia requeridos.

- NOM-025-STPS-1999.-Expedida por la Secretaria del trabajo, regula los niveles de iluminación en los centros de trabajo.

Estas normas se deben cumplir a cabalidad, sin embargo en el medio no son consideradas como muy estrictas, es por esto que algunos ingenieros, prefieren diseñar de acuerdo a estándares superiores, como puede ser la norma del Seguro Social o estándares de asociaciones estadounidenses.

Figure 10-9. Determination of Illuminance Categories*

Orientation and simple visual tasks. Visual performance is largely unimportant. These tasks are found in public spaces where reading and visual inspection are only occasionally performed. Higher levels are recommended for tasks where visual performance is occasionally important.

A	Public spaces	30 lx (3 fc)
B	Simple orientation for short visits	50 lx (5 fc)
C	Working spaces where simple visual tasks are performed	100 lx (10 fc)

Common visual tasks. Visual performance is important. These tasks are found in commercial, industrial and residential applications. Recommended illuminance levels differ because of the characteristics of the visual task being illuminated. Higher levels are recommended for visual tasks with critical elements of low contrast or small size.

D	Performance of visual tasks of high contrast and large size	300 lx (30 fc)
E	Performance of visual tasks of high contrast and small size, or visual tasks of low contrast and large size	500 lx (50 fc)
F	Performance of visual tasks of low contrast and small size	1000 lx (100 fc)

Special visual tasks. Visual performance is of critical importance. These tasks are very specialized, including those with very small or very low contrast critical elements. Recommended illuminance levels should be achieved with supplementary task lighting. Higher recommended levels are often achieved by moving the light source closer to the task.

G	Performance of visual tasks near threshold	3000 to 10,000 lx (300 to 1000 fc)
---	--	------------------------------------

IES emite recomendaciones en cuanto a niveles de iluminación en prácticamente todos los espacios posibles, basados en encuestas y experimentación de la sociedad. Es común en Norteamérica, tomar estas recomendaciones como norma para diseñar y calcular el proyecto.

Estas recomendaciones de iluminación aparecen en su Manual y en la versión compacta del mismo Ready Reference. Establece siete categorías alfabetizadas de la A-G que establece niveles mínimos de iluminación de acuerdo a la dificultad de la tarea visual que se va a realizar. Se subdividen en tres grandes categorías

Ilustración 3-6 Captura de la tabla de determinación de categorías de iluminación de IESNA Fuente: Ready Reference

- Orientación y simples tareas.- El desempeño visual es poco importante, la lectura y la inspección visual es poco ocasional. Incluye las categorías: A (espacios públicos mínimo 30 luxes), B (orientación simple o visitas breves, mínimo 50 luxes), C (espacios de trabajo donde tareas visuales simples se realizan).
- Tareas visuales comunes.- El desempeño visual es importante. Los diferentes niveles de iluminancia varían de acuerdo a la naturaleza de las tareas. Incluye las categorías

D (realización de tareas de alto contraste o gran tamaño, mínimo 300 luxes), **E** (realización de tareas de alto contraste y pequeño tamaño o bajo contraste y alto tamaño, mínimo 500 luxes), **F** (realización de tareas visual de bajo contraste y pequeño tamaño, mínimo 1000 luxes).

- Tareas visuales especiales. El desempeño visual es de importancia crítica. Incluye la categoría **G** (de 3000 a 10,000 luxes).

Para saber qué categoría corresponde al espacio que se está diseñando IES anexa a la tabla de categorías una tabla que incluye prácticamente cualquier espacio e indica los niveles adecuados para las tareas y los ubica en una de las siete categorías. IES determina estos niveles de visión de acuerdo a encuestas que se han realizado a través de los años. La siguiente ilustración es un ejemplo de esto.

IESNA Lighting Design Guide																					
I. INTERIOR LOCATIONS AND TASKS	Very Important	Important	Somewhat important	Blank = Not important or not applicable																	
Design Issues	Appearance of Space and Luminaires	Color Appearance (and Color Contrast)	Daylighting Integration and Control	Direct Glare	Flicker (and Strobe)	Light Distribution on Surfaces	Light Distribution on Task Plane (Uniformity)	Luminances of Room Surfaces	Modeling of Faces or Objects	Point(s) of Interest	Reflected Glare	Shadows	Source/Task/Eye Geometry	Sparkle/Desirable Reflected Highlights	Surface Characteristics	System Control and Flexibility	Special Considerations	Notes on Special Considerations	Illuminance (Horizontal) Category or Value (lux)	Illuminance (Vertical) Category or Value (lux)	Notes on Illuminance - see end of section
Offices (13)																					
Filing (see Reading)																			E	C	
General and private offices (see Reading)																					
Open plan office																					
Intensive VDT use																	(14,15)	D	B		
Open plan office																					
Intermittent VDT use																	(14,15)	E	B		
Private office																		E	B		
Libraries (see Libraries)																					
Lobbies, lounges, and reception areas																		C	A		
Mail sorting																		E	A		
Copy rooms																		C	A		
Parking Facilities (see Section III, Outdoor)																					
Post Offices																					
...																					
Photocopier, 12 generation																					
Data processing tasks																					
VDT screens																		A	A		
Impact printer																		D			
good ribbon																		E			
2nd carbon and greater																		D			
ink jet/laser printer																		D			
keyboard reading																		D			
Machine rooms																					
Active operations																		D			
Tape storage																		D		B	
Machine area																		D			
Equipment service																		C			
Thermal print																		E			
Handwritten tasks																					
#2 pencil and softer leads																		D			
#3 pencil																		E			
#4 pencil and harder leads																		F			
Ball-point pen																		D			
Felt-tip pen																		D			
Handwritten carbon copy																		E			
White boards																				D	
Chalk boards																				E	
Printed tasks																					
6-point type																				E	
8- and 10-point type																				D	
Glossy magazines																				E	
Maps																				D	
Newsprint																				D	
Typed originals																				E	
Telephone books																				E	
Residences																					
General lighting																				B	
Conversation, relaxation, and entertainment																				A	A
Passage areas (circulation)																				A	A

72 IESNA Lighting Ready Reference

Illuminance Selection and Design Guide 73

Ilustración 3- 7 Ejemplo de la especificación de niveles de luz. Fuente: Ready Reference

A diferencia de otros temas de eficiencia energética en arquitectura como puede ser el confort térmico o la iluminación natural, los niveles de iluminación artificial se pueden considerar *internacionales*, ya que no dependen de las condiciones meteorológicas propias de la latitud. Por esta razón, estas recomendaciones estadounidenses son válidas en México.

DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA PARA ALUMBRADO.

Es un índice para determinar qué tan eficientemente se comporta un sistema de iluminación o alumbrado y consiste simplemente en una relación entre la carga instalada por concepto de iluminación entre la superficie del local y se expresa en Watts por metro cuadrado (W/m^2).

La NOM-007-ENER-2004 contempla que el uso de este indicador debe ser para nuevos edificios de uso no residencial, sin embargo esta puede aplicarse para remodelaciones o para darnos una idea de cómo es que se está comportando energéticamente un edificio y poder implementar medidas de ahorro.

LA DPEA se puede obtener de manera general para el edificio cumpliendo de acuerdo con la Tabla 1 de la Norma, los valores de esta tabla son máximos y el sistema de alumbrado general del edificio no debe sobrepasarlos.

Tipo de edificio	DPEA (W/m ²)
Oficinas	
Oficinas	14
Escuelas y demás centros docentes	
Escuelas o instituciones educativas	16
Bibliotecas	16
Establecimientos comerciales	
Tiendas de autoservicio, departamentales y de especialidades	20
Hospitales	
Hospitales, sanatorios y clínicas	17
Hoteles	
Hoteles	18
Moteles	22
Restaurantes	
Bares	16
Cafeterías y venta de comida rápida	19
Restaurantes	20
Bodegas	
Bodegas o áreas de almacenamiento	13
Recreación y Cultura	
Salas de cine	17
Teatros	16
Centros de convenciones	15
Gimnasios y centros deportivos	16
Museos	17
Templos	24
Talleres de servicios	
Talleres de servicio para automóviles	16
Talleres	27

Ilustración 3- 8 Tabla DPEA vigente

Se sugiere que para determinar el área total del edificio se tome desde la pared exterior de este. Si se va a tomar un espacio interior el área entonces será la que comprenda desde la pared exterior hasta la mitad de los muros interiores.

CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

La contaminación lumínica causada por la mala aplicación de luz artificial es un fenómeno que ocurre principalmente en los centros urbanos y es un problema que, aunque desde los 50's se le conoce, no es sino hasta fechas más recientes que ha sido visto como un problema ambiental. La primera definición que se encuentra respecto al tema de acuerdo con Chee⁵³ es de mediados de los 70's y simplemente se define como “el brillo total del cielo nocturno

⁵³ Chui Yuk Chee, Jamie Perception of light pollution in Hong Kong an empirical study, University of Hong Kong 2008, China

causado por luz fabricada por el hombre” (trad).

Este fenómeno puede ocurrir por diferentes efectos resultados de manera directa por el uso excesivo e ineficiente de la luz artificial.⁵⁴

Intrusión de luz (light -trespass) Cuando la luz se “derrama” más allá de los límites de la propiedad en las que es emitida y cae hacia donde no es deseada o necesitada.

Sobre iluminación Es el uso excesivo de la luz que viene con el alto precio que incluye el desperdicio de energía y por lo tanto de recursos. La facilidad de conectarse a la red eléctrica y los precios baratos que alguna vez tuvo la energía eléctrica llevó a una filosofía, **de “entre más, mejor”.**

Deslumbramiento. Es la sensación visual causada por el brillo excesivo y no controlado. Puede ser no confortable o impedir la visión. Es subjetivo a diferentes grupos de edad, porque hay diferentes grados de sensibilidad. Se producen dos tipos de molestia diferentes producidas por el brillo, en la primera la visión es deshabilitada o reducida por luces muy intensas. Se recomienda revisar la definición del fenómeno de adaptación en los anexos de este documento. Hay un deslumbramiento que solo disminuye el confort de la persona provocando una sensación de molestia e irritación.

Amontonamiento.- Se refiere a grupos de luces excesivos que pueden acusar confusión distraer y causar accidentes.

Brillo celeste.- Es el abrillantamiento del cielo causado por fuentes lumínicas naturales (aurora boreal, luz de luna) o artificiales, sin embargo, son las fuentes artificiales las que significativamente

⁵⁴ McLogan Michel “Light Pollution”
<http://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightingAnswers/lightpollution/abstract.asp> consultado Noviembre 5, 2011

aumentan el brillo debido a luz emitida por luminarias que apuntan hacia el cielo o por reflejo de las superficies. El clima, afecta directamente el brillo celeste, polvo, gas, contaminación, neblina, nubes, etc, funcionan como difusores del brillo.



Ilustración 3-9 Contaminación lumínica en la Torre Eiffel. Fuente AOA

Ahora bien, la contaminación lumínica no se puede medir igual en las diferentes zonas ya que va íntimamente relacionada con la densidad urbana, y sus efectos no tienen que ser igual de ásperos **en todas las zonas. La Commission Internationale de l'Eclairage CIE**, (Comisión Internacional de Iluminación) ha determinado cuatro zonas para poder establecer regulaciones (CIE 1997). Este sistema de zonificación puede usarse para asegurarse que las metas de iluminación de la zona son apropiadamente definidas alcanzadas.

Por ejemplo, resulta imposible evitar la contaminación lumínica que produce la iluminación de la torre Eiffel, esta se aprecia claramente en la Ilustración 2, las condiciones climáticas de la fotografía una noche con neblina permiten que se aprecie bien el fenómeno. La neblina funciona como un difusor de la luz irradiada por la torre. La importancia que tiene como hito de la ciudad de París y de la República y cultura francesa es tan importante que apagarla por las noches resulta prácticamente un absurdo. Además está en una zona urbana densamente poblada con alta contaminación lumínica. Los faros en los puertos son ejemplos de contaminación lumínica en los ecosistemas acuáticos y terrestres sin embargo, a pesar del impacto ambiental, su existencia es necesaria porque guían las naves hacia puerto y de otra manera, los accidentes podrían tener consecuencias desastrosas.

Trabajando en un proyecto para un Resort en el desierto en Dubai, parte de este proyecto consistía en crear un ecosistema artificial para simular un safari africano. En este caso el proyecto de iluminación debía evitar a toda costa la contaminación lumínica,

los animales salvajes atraídos por la luz podrían atacar a las personas en el hotel.

Pero, regresando a las zonas de contaminación lumínica IESNA, posteriormente hizo su propia clasificación de las zonas de iluminación y de acuerdo a cada una de ellas se pueden generar recomendaciones para la protección de reservas ecológicas y zonas de observación astronómica. Estas recomendaciones, también tienen un horario, mismo que se da de acuerdo a la temporada del año y a la zona geográfica porque se basa en las horas de amanecer y atardecer.

No es objeto de esta tesis ahondar en el tema de contaminación lumínica, pero si resulta un concepto importante, si la luz arquitectónica contamina, quiere decir que esa energía no se iluminando, simplemente es energía que se *arroja* al ambiente.

MÉTODOS DE REPRESENTACIÓN DE ENERGÍA LUMÍNICA

SISTEMA LBR

Los efectos de cómo la luz se muestra en el espacio dependen de la reflectancia de la superficie del material y de la cantidad y calidad de la iluminación con la que interactúa. De acuerdo con Lou Michel, en su libro Luz: la forma del espacio (trad) habla del sistema LBR que obedece a sus siglas en inglés para **Índice de Luminancia Brillo (Luminance Brightness Rating)**.

Está basado en una escala gris de brillo, El ojo humano no ve el mundo en blanco y negro pero esta escala de grises provee de medios para evaluar y controla la apariencia de valores de color en términos de brillo como son vistos por la superficie de los materiales cuando son sujetos de iluminación.

LA ESCALA DE GRISES

Esta es una técnica para medir los niveles de brillo en una composición utilizada en el campo de la fotografía en blanco y negro donde se conoce como el sistema de zonas. En el blanco y negro somos capaces de intuir los colores, aunque no precisarlos. Un azul oscuro aparecerá mucho más gris que un amarillo.

La técnica es similar a la pintura por números, el fotógrafo coloca los valores de la escala de grises en diferentes zonas de la fotografía. La siguiente ilustración muestra una figura típica de un manual de fotografía. La cafetería que se muestra es una composición de niveles de brillo y se utiliza toda la escala desde el blanco hasta el negro. En realidad la iluminación del cuarto es una mezcla de luz fluorescente y luz natural. A cada tonalidad corresponde un valor de acuerdo a la escala de grises que aparece en la misma ilustración.

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Lou Michel propone la escala LBR para el “diseño y fabricación”⁵⁵ del sistema iluminado. Es un instrumento que propone una manera visual para evaluar el brillo de un material de construcción, y como será los cambios si el material es sujeto de diferentes cambios de iluminación.

La escala cumple, de acuerdo con Michel, con dos requerimientos esenciales. 1) un número limitado de zonas para ayudar a la memoria durante el proceso de diseño y 2) la especificación de los valores de gris para las zonas de acuerdo con la percepción visual humana. Esta escala deriva de la escala Munsell de valores neutros, que es una escala estándar de grises neutral, que ha sido usado en la investigación científica para estudios de color, también se utiliza para diseño industrial y producción.

⁵⁵ Michel Lou, Light: The shape of space. Designing with space and light EU Van Nordstrand Reinghold p.72

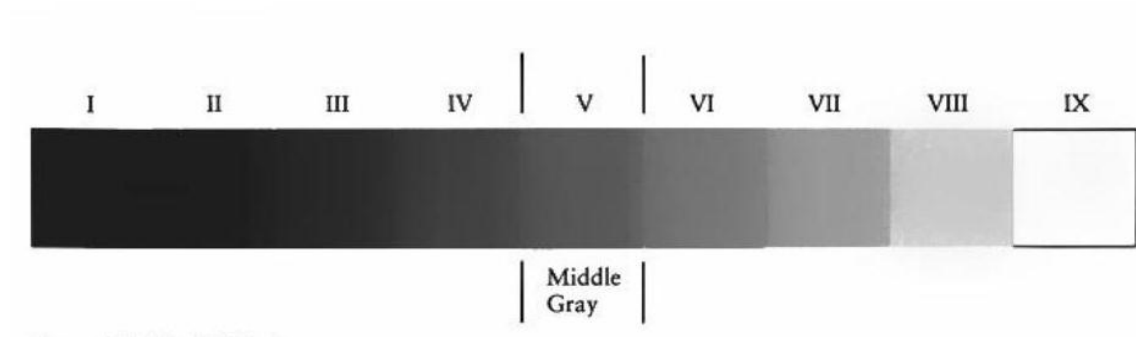


Ilustración 3- 10 Escala de Grises LBR Fuente: Michel Lou p.

La escala LBR tiene nueve zonas que pueden ser recordadas sin dificultad, la escala comercial tiene más pasos pero Lou Michel considera que esto sería perjudicial durante el proceso de diseño de iluminación ya que no es sencillo ni práctico para memorizar. Los extremos de la escala, se encuentran orgánicamente en la arquitectura: total penumbra y total luz. Además, establece un punto medio que corresponde al gris medio de la escala Munsell. Recordando el punto medio de la escala y los extremos que ya conocemos por experiencia (por el simple hecho de ser humanos expuestos a la luz artificial).

I	00.0—1.30 cd/ft²
II	1.30—3.10
III	3.10—5.30
IV	5.30—8.30
V	8.30—11.85
VI	11.85—15.30
VII	15.30—19.85
VIII	19.85—25.75
IX	above 25.75

Ilustración 3- 11 Tabla de equivalencias del método LBR . Fuente Mitchell, Lou

Sin embargo la tabla que nos proporciona Michel, está en unidades del Sistema Inglés, el cual no se utiliza en nuestro país. En el capítulo 4 se realiza esta conversión.

PSEUDO COLOR

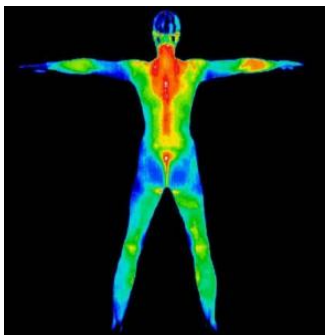
Es un tipo de método de procesamiento de imágenes de **falso color**, que se utiliza para representar en color imágenes que fueron tomadas dentro del espectro electromagnético. Es una imagen en falso color que describe el objeto en colores diferentes a los que una fotografía mostraría. Algunas variantes del procesamiento de imágenes son el color verdadero, el falso color, **density slicing** (rebanado de densidad) y Cloropleth. Las imágenes en falso color se pueden encontrar incluso en el arte como en la famosa obra del pintor estadounidense Andy Warhol en el que una misma fotografía se representa con diferentes colores.



marilyn monroe
by andy warhol

El pseudo-color tiene diferentes aplicaciones sobretodo en termografía y medicina, pero en iluminación se ha encontrado que es una herramienta muy útil para el análisis de la distribución de la luz en los espacios.

Ilustración 3- 12 Falso color en el arte



El pseudo-color se deriva de una imagen en escala de grises mapeando cada valor de intensidad y asignándole un color o una función. Normalmente se utiliza cuando un solo canal de información está disponible (temperatura, elevación, composición del suelo, luz, etc). Su importancia analítica radica en que hace algunos detalles más visibles ya que se aprecia mejor la diferencia en los colores que en una sucesión de niveles de gris.

Ilustración 3- 13 Imagen en falso color de las diferencias de temperatura del cuerpo humano. Fuente <http://deansilvermd.com/breast-thermography/>

AUTODESK 3DS MAX

Autodesk 3ds Max (anteriormente 3D Studio Max) es un programa de creación de gráficos y animación 3D desarrollado por Autodesk, en concreto la división Autodesk Media & Entertainment (anteriormente Discreet). Creado inicialmente por el Grupo Yost para Autodesk, salió a la venta por primera vez en

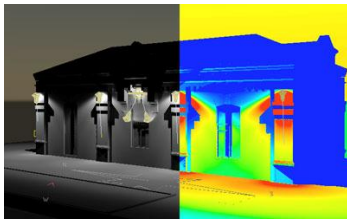


Ilustración 3- 14 Escala de grises
contra falso color. Fuente:
[http://pasha-
sevkav.ru/uroki/mentalray-video-
uroki-3ds-max-design/](http://pasha-sevkav.ru/uroki/mentalray-video-uroki-3ds-max-design/)

1990 para DOS.

3ds Max, permite el uso de *plugins*, es decir, elementos externos al programa que se insertan a él y es hoy en día uno de los programas de animación 3D más utilizado, especialmente para la creación de video juegos, anuncios de televisión, en arquitectura o en películas.

Este programa es usado de manera común entre los arquitectos para generar modelos tridimensionales tanto interiores como exteriores. Los *plugins* permiten introducir materiales de una manera realista, mobiliario, personas a escala y lo más interesante e importante para este documento las curvas fotométricas de distribución de la luz que proveen los fabricantes de lámparas y luminarios, las cuales normalmente se encuentran para descarga en sus páginas web, conocidas como **curvas IES**.

El programa permite trabajar con luz natural, ingresando la hora, día y latitud determinando la posición solar. Comúnmente esta configuración es la más usada por los arquitectos, pero es posible **hacer que se “oculte el sol” y “encender” las luminarias para ver cómo es que la luz artificial se comportará.**

Una vez que las luminarias con sus respectivas curvas se han colocado en el espacio y se ha llevado a cabo la simulación, el programa ofrece la posibilidad de visualizar la distribución de la energía y asigna un color a los distintos niveles, a través de la opción de *Pseudo Color exposure control*: “ **Es una herramienta de análisis que te provee con una manera intuitiva de visualizar y evaluar los niveles de iluminación en tus escenas. Mapea los valores de luminancia a pseudo-colores que muestran el brillo de los valores a los que han sido convertidos. Del más oscuro al más brillante el render muestra azul, cian, verde, amarillo naranja y rojo e incluye una ventana del rendereo etiquetada como iluminancia en el que se muestran los valores de**

iluminancia”(trad)⁵⁶



Ilustración 3- 15 Modelo en 3ds Max renderizado para mostrar los materiales. Fuente: AOA

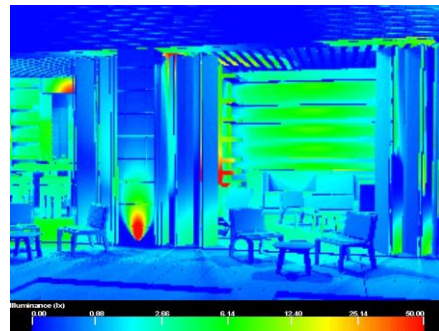


Ilustración 3- 16 Mismo modelo renderizado en pseudo-color exposure control. Fuente: AOA

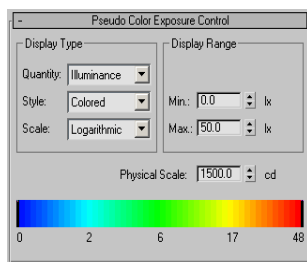


Ilustración 3- 17 Ventana de control opción de pseudo color 3Ds Max- Fuente: 3ds max

La interface (que puede variar de acuerdo a la versión del programa con la que se esté trabajando) permite ajustar los siguientes para cantidad (iluminancia y luminancia), estilo (escala de grises o en color), escala (técnica en la que se van a calcular los valores, logarítmica o lineal. La escala logarítmica para enfatizar superficies en específico)

El programa también permite ajustar la escala del nivel de iluminación que se requiere, esto es particularmente útil porque

⁵⁶ Autodesk 3dsmax 2011 Help, Lighting Analysis, Pseudo Exposure Control

los diseños deben siempre tener en cuenta este factor.

Physical Scale, es decir la escala física “es un paso opcional y se debe usar como la última opción cuando los materiales o mapas no se están rendereando de manera correcta... 3Ds Max multiplica el multiplicador de cada luz estándar por el valor de la escala física para producir un valor de intensidad de luz en candelas”. Sin embargo esta opción no debe afectar los modelos realizados para este documento porque las luces fotométricas (IES) no son afectadas por este valor.

DIALUX

DIALux, es un software de licencia libre que se puede descargar del sitio web de la compañía. En sí no es un programa de rendero o de creación de objetos tridimensionales, sino un programa de cálculo de iluminación similar a Visual, del que se hablaba en los espacios anteriores, pero que ofrece mayor gama de herramientas para poder planear elementos del proyecto como la arquitectura, la atmósfera etc. Ha sido desarrollado por la compañía alemana DIAL. Actualmente, está disponible la versión DIALux evo 3, la cual de acuerdo al fabricante es una versión “fácil”.

DIAL es un programa popular en la industria, muchos fabricantes, sobre todo europeos, suben la información fotométrica de sus catálogos en forma de plugins. Sin embargo, si la marca seleccionada no tiene un plugin es posible subir los archivos de manera individual.

El programa también permite hacer cálculos energéticos en base al área que ayudan a obtener el costo anual del proyecto. Al tratarse de un software de cálculo, el programa ofrece diferentes modos de visualización de la distribución energética, como falso color en iluminancia y luminancia, curvas isométricas y una imagen que representa la realidad de cómo se verá la luz en el espacio.

IV. PROPUESTA

“Para mí, la arquitectura requiere continuidad: Debemos continuar lo que otros han hecho pero usando diferentes materiales y métodos de construcción”. Eduardo Soto de Moura

En el capítulo 1 se habló del concepto que en 1927 propuso Joachim Teichmuller: **lichtarchitektur**, que básicamente se resume en que la iluminación arquitectónica se compone de una parte artística y una técnica, que si bien son aparentemente que obliga a un trabajo es interdisciplinario.

Esto, también se relaciona con la visión sistémica que debe tener un proyecto de la que se hablaba en el capítulo 2. Las **partes** (arte y técnica en este caso) que forman el **todo** (la iluminación arquitectónica) y ahora con la incorporación de tecnologías que no existían en la época de Teichmuller, los sistemas lumínico-arquitectónicos se vuelven más complicado.

Hoy en día, no solo contamos con más tipos de fuentes y sistemas de control, herramientas de diseño, que abren de manera significativa el abanico de posibilidades arquitectónicas; sino que estas, como ocurre también en otros ámbitos del quehacer arquitectónico, demandan un grado más alto de especialización para poder ser aprovechadas al 100%.

Por el otro lado, el de la ingeniería los retos incluyen no sólo las preocupaciones energéticas de las que se trató el capítulo 3

sino del futuro de los sistemas de control y las demandas comerciales y tecnológicas que se van haciendo sobre las fuentes. Un ejemplo reciente, sería el desarrollo paquetes combinación lámpara inteligente y router que permiten a través de una app controlar la luz remotamente.

Con esto en mente, se buscó para elaborar la propuesta de esta tesis un modelo incluyera el diseño de iluminación arquitectónica, sino también que incluya la parte de ingeniería (aparatos, sistemas de control, energía) y como lo propone Teichmüller. El modelo de IES que se explicó en el capítulo 2, resulta un buen punto de partida.

REVISIÓN AL MODELO IES

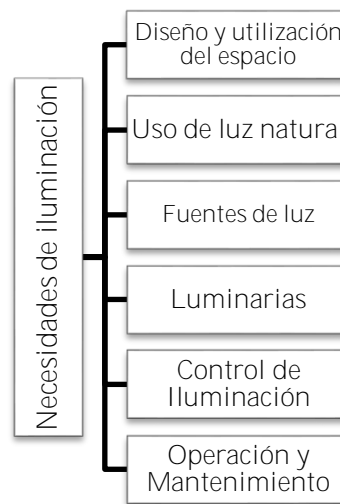


Ilustración 4- 1 Modelo IES de manejo de energía.

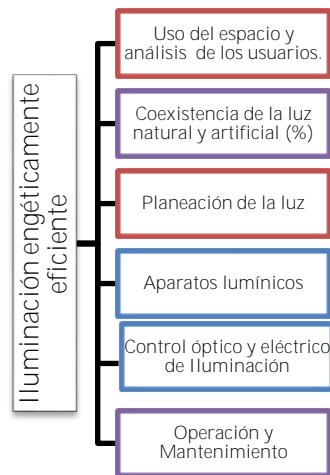


Ilustración 4- 2 Modelo propuesto para buscar la eficiencia energética

Analizando el modelo propuesto se identifican la parte técnica en recuadros azules, la parte arquitectónica en rojo y los conceptos que pueden considerarse como un esfuerzo conjunto en recuadro morado parte de ingeniería está dada por aparatos lumínicos, es decir, lámparas y luminarias así como los sistemas de control eléctrico

USO DEL ESPACIO Y ANÁLISIS DE LOS USUARIOS.

Como se mencionaba en el capítulo 2 de este documento antes que nada es necesario realizar un análisis del espacio y de lo que sucede en él durante el tiempo. La luz en el espacio debe tener un propósito específico y estar un momento específico y para que las personas que estén en el espacio puedan realizar las actividades/tareas.

De los usuarios, también se habló, en el capítulo 2. Preferencias personales, condiciones físicas, condiciones psicológicas juegan un papel importante en que la luz sea vista y cree el ambiente que se desea. Si la luz, molesta de cualquier manera (deslumbre, sensación térmica, etc) a los usuarios o

produce alguna sensación no deseada entonces no estará cumpliendo con su labor.

COEXISTENCIA DE LA LUZ NATURAL Y ARTIFICIAL (%).

Aunque el tema de iluminación natural no se tocará a profundidad en esta tesis por tratarse de un tema en sí complejísimo, es preciso analizar su coexistencia con la luz artificial. En un espacio arquitectónico, *idealmente* la luz artificial y la luz natural no deben de coexistir, con la única excepción de que la luz artificial sirva como apoyo para tareas específicas. Esto, suele no ser pragmático, las zonas perimetrales de los edificios son sencillas de iluminar pero las partes centrales son más complicadas. La certificación estadounidense LEED⁵⁷ para edificios sustentables otorga puntos, cuando el 75% ⁵⁸ mínimo de la superficie del edificio está iluminada naturalmente. Entonces se puede establecer que la relación de coexistencia entre luz artificial y luz natural no debe ser mayor a esta.

Planeación de la luz. En el capítulo 2 se hablaba de las herramientas diseñar los sistemas de iluminación, renders, planos, mapas de luz, maquetas etc. El sistema construido debe funcionar como se diseñó y cumplir con las intenciones⁵⁹ y diseñadores de iluminación cabalmente, de lo contrario no tiene razón de estar en el espacio y se vuelve un gasto de energía lumínica y eléctrica.

Aparatos lumínicos. Se refiere a las lámparas y luminarias.

⁵⁷ LEED es una herramienta de construcción verde que ve todo el ciclo de vida de un edificio reconociendo las mejores estrategias de su clase

⁵⁸ Cotrell Michelle Guide to the LEED AP Building Design and Construction (BD&C) Exam, Wiley, 2011, Estados Unidos. P 216

Corresponden totalmente a la ingeniería, el desarrollo de tecnologías cada vez más eficientes energéticamente depende de los fabricantes y la respuesta que dan a las demandas del mercado. Sin embargo, esto aún no habla de lo que pasa con la energía eléctrica transformada en luminosa en el espacio o si está cumple con su función o en el tiempo que lo hace.

Por ejemplo, se puede colocar una lámpara fluorescente compacta de 13 W en un espacio en lugar de una incandescente de 100W. Comercialmente a la fluorescencia **compacta se le conoce como “focos ahorradores” por su menor potencia y por lo tanto menor demanda de energía.** Pero, la energía eléctrica se mide y factura en kilowatts-hora (kWh). Falta considerar el factor tiempo y en ningún momento se considera qué pasa con el espacio que ilumina. ¿Lo hace como debería o simplemente se está convirtiendo en contaminación lumínica? A continuación se explican cada uno de los conceptos del modelo.

Las lámparas son las fuentes de luz, de ellas depende en gran parte la eficiencia energética del sistema el consumo. Existen básicamente tres tecnologías para generar luz artificialmente: incandescencia, descarga y estado sólido mejor conocidos como LEDs (por las siglas en inglés de diodos emisores de luz). El anexo D está dedicado a explicar a detalle cada una de estas tecnologías. Por el momento, simplemente se presenta un resumen de las propiedades de cada una de ellas.

Las luminarias, son los aparatos que proveen conectividad mecánica y eléctrica a las lámparas. También tienen otra característica importante aunque no siempre necesaria por definición y es proveer de **control óptico**, es decir de la luminaria prácticamente depende cómo se distribuirá la luz en

el espacio.

En ocasiones, sobre todo en temas de interiorismo el diseño de las luminarias puede quedar conceptualmente a cargo de los arquitectos o diseñadores de iluminación, pero normalmente esto depende de los fabricantes y el trabajo del diseñador de iluminación, consiste en un minuciosa selección de equipos en un mar de opciones que ofrecen los fabricantes porque cualquier combinación lámpara-luminaria es única y excepcional.

El control óptico se refiere a la manera en la que se distribuye la luz en el espacio, en el Apéndice D, se explican los elementos de control lumínico que existen y normalmente suele suceder en las luminarias. Se pueden hacer ajustes a las luminarias a los fabricantes o cambiar sus efectos agregando accesorios que ofrecen los mismos.

En el diseño de iluminación arquitectónica, la misma arquitectura puede proveer el control lumínico, para efectos determinados, normalmente, una apertura bien calculada con la lámpara y luminaria correcta y acabados específicos logran muy buenos efectos.

El control eléctrico por otro lado Son todos aquellos dispositivos eléctricos o electrónicos que sirven para, como su nombre lo indica, controlar la iluminación. Se consideran básicamente tres funciones principales: switcheo, dimeo y temporización. En el primero, simplemente se enciende o se apaga la luminaria. En el segundo se regula la corriente que llega a la luminaria para aumentar o disminuir la intensidad luminosa y finalmente en la temporización el encendido y apagado de la luces se programa para funcionar a distinto

tiempo.

Estas tres funciones se pueden realizar por sistemas sencillos como simples interruptores o potenciómetros que aumentan o disminuyen la resistencia, sensores y temporizadores también ayudan. Con estos simples sistemas ya es posible crear estrategias de control, por ejemplo escenarios de acuerdo a las distintas actividades que se van a realizar en un espacio o limitar el tiempo de uso a través del uso de sensores o de temporizadores.

Para hacer el control un poco más preciso y siempre en **búsqueda de un “ahorro de energía” se han desarrollado** sistemas más complejos, automatizados.

Ahí las posibilidades son infinitas y las aplicaciones existentes en el mercado van desde residencial hasta grandes instalaciones gubernamentales o industriales. Esto permite programar fácilmente escenarios de uso, tiempos de operación del sistema de iluminación y coordinarlo junto con otros sistemas como el de HVAC. También puede ser utilizado **para “jugar” con el ciclo circadiano** de los usuarios y mejorar ciertas condiciones manipulando la luz de manera automática.

Por ejemplo, regulando a determinadas horas durante el día, la intensidad luminosa de tubos fluorescentes de diferentes colores de luz es posible simular los cambios de la luz de día y de esta manera ayudar a los empleados de una oficina, a los pacientes en un hospital a adaptarse a la luz de una manera más orgánica y parecida a las condiciones naturales de luz, disminuyendo el estrés y facilitando el descanso. No es objeto de este documento ahondar en el tema del control de iluminación, ya que es extremadamente basto y requeriría en

sí una tesis completa.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

Este concepto se mantiene igual que en el modelo IES.

EVALUACIÓN DEL MODELO.

Para poder trabajar con el modelo propuesto como una herramienta de diseño en búsqueda de un comportamiento eficiente de la luz artificial el siguiente diagrama identifica las variables que deberán evaluarse de cada uno de los elementos del modelo.

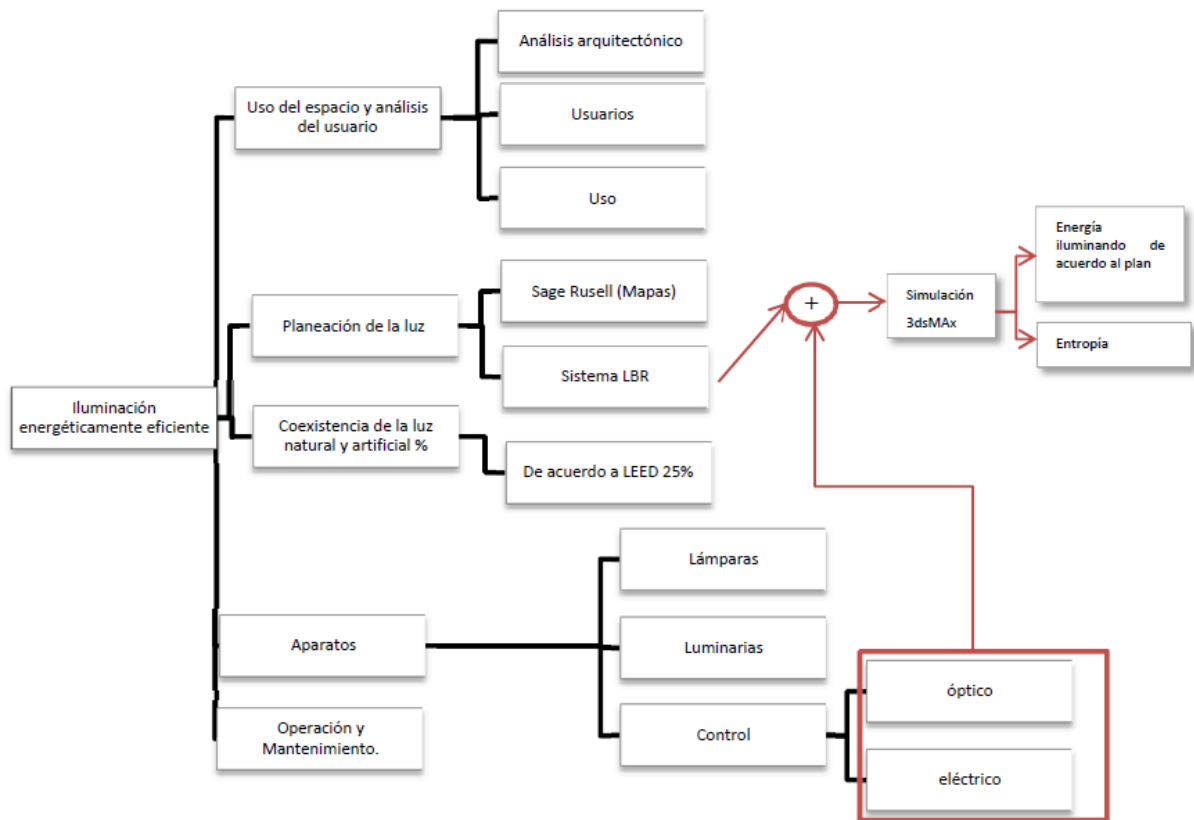


Ilustración 4- 3 Modelo propuesto para un diseño de iluminación arquitectónica considerando la eficiencia energética

Para traducir las **intenciones de diseño** en datos cuantificables, que permitan evaluar la eficiencia del mismo, se busca el apoyo de dos herramientas el método LBR

utilizado en fotografía para medir los niveles de luz en las composiciones y a través de simulaciones con Dialux. Los fundamentos de ambos métodos han sido discutidos en el capítulo 3.

Las intenciones lumínicas del arquitecto son plasmadas en la escala LBR, la distribución de la luz en el modelo Dialux es una simulación de la esperada realidad que permite hacer mediciones y analizar la información. Aunque ambas se consideran elementos de diseño, la primera es un resultado directo del análisis del espacio, los usos y la concepción propia de la luz artificial. El segundo es una herramienta de comunicación de la realidad.

Para poder compararlas, se ha dividido la escala de medición de energía lumínica en los 9 niveles de la escala LBR de Michel.

Estas intenciones se deben aterrizar por parte del diseñador de iluminación o el arquitecto, si cuenta con la experiencia para hacerlo él mismo, en una meticulosa selección de equipo para poder cumplirlas a cabalidad.

En la medida que las intenciones se cumplan de acuerdo al modelo se sabrá cuánta energía en realidad está cumpliendo con las intenciones arquitectónicas planteadas.

Tomando el diagrama del procedimiento propuesto, entonces se dice que **la luz que no está iluminando el espacio como estaba planeado tiene un comportamiento entrópico, similar al de un gas en expansión que tiende a ocupar todo el espacio disponible**. Así pues está energía se transforma en contaminación lumínica y en

pérdidas. Conocemos cuánta energía (eléctrica) entró al sistema porque sabemos exactamente cuánta carga fue aplicada al sistema a través de una simple adición de las cargas eléctricas y podemos estimar cuánta se ha ocupado como luz de acuerdo a las intenciones arquitectónicas.

Por balance de energía, la diferencia entre la entrada y salida será lo que se vuelven pérdidas y contaminación lumínica y es posible establecer un parámetro de eficiencia eléctrica.

V. CASO DE ESTUDIO

“Creo que es importante que la gente participe en el proceso de construcción, para que se interesen en lo que se desarrolla. A través del pensamiento el objeto construido se vuelve parte de una experiencia vinculativa” Diébédo Francis Kéré.

Para ejemplificar el método propuesto se ha seleccionado para proponer como caso de estudio un departamento para el cual se ha solicitado un diseño especial en iluminación. Retomando el modelo de iluminación energéticamente eficiente propuesto en el Capítulo Cuatro en la Ilustración 4-3 se comienza con el primer apartado

ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO.

El departamento se encuentra en la Colonia Condesa en la Ciudad de México y forma parte de un proyecto inmobiliario nuevo. Gracias a un ventanal de doble altura y ventanales de piso a techo en los dos niveles; durante el día el departamento “recibe mucha luz natural”.



Se trata de un departamento de 330 m² separados en dos plantas. La planta superior, de acceso, tiene la sala-comedor, cocina, área de servicio, medio baño de visitas y la recámara *de él*. En la planta inferior está el estudio, sala de TV a doble altura, la recámara *de ella* y un baño de completos. Las recámaras cuentan con baño vestidor, en planta idénticos pero los accesorios y acabados han sido arreglados al gusto de los clientes. Ambas plantas cuentan con terrazas.

Los arquitectos encargados de los interiores, mantienen una paleta de colores neutrales, y algunos detalles

incluyen: cancelería de vidrio, paredes casi blancas, duela de madera clara contrastan con muebles hechos a la medida un poco más oscuros. Como punto focal del departamento aparece un gran librero colocado en la pared que da la doble altura y que además de libros alberga una zona para una pieza de arte y el área de televisión. A continuación los planos en planta del espacio

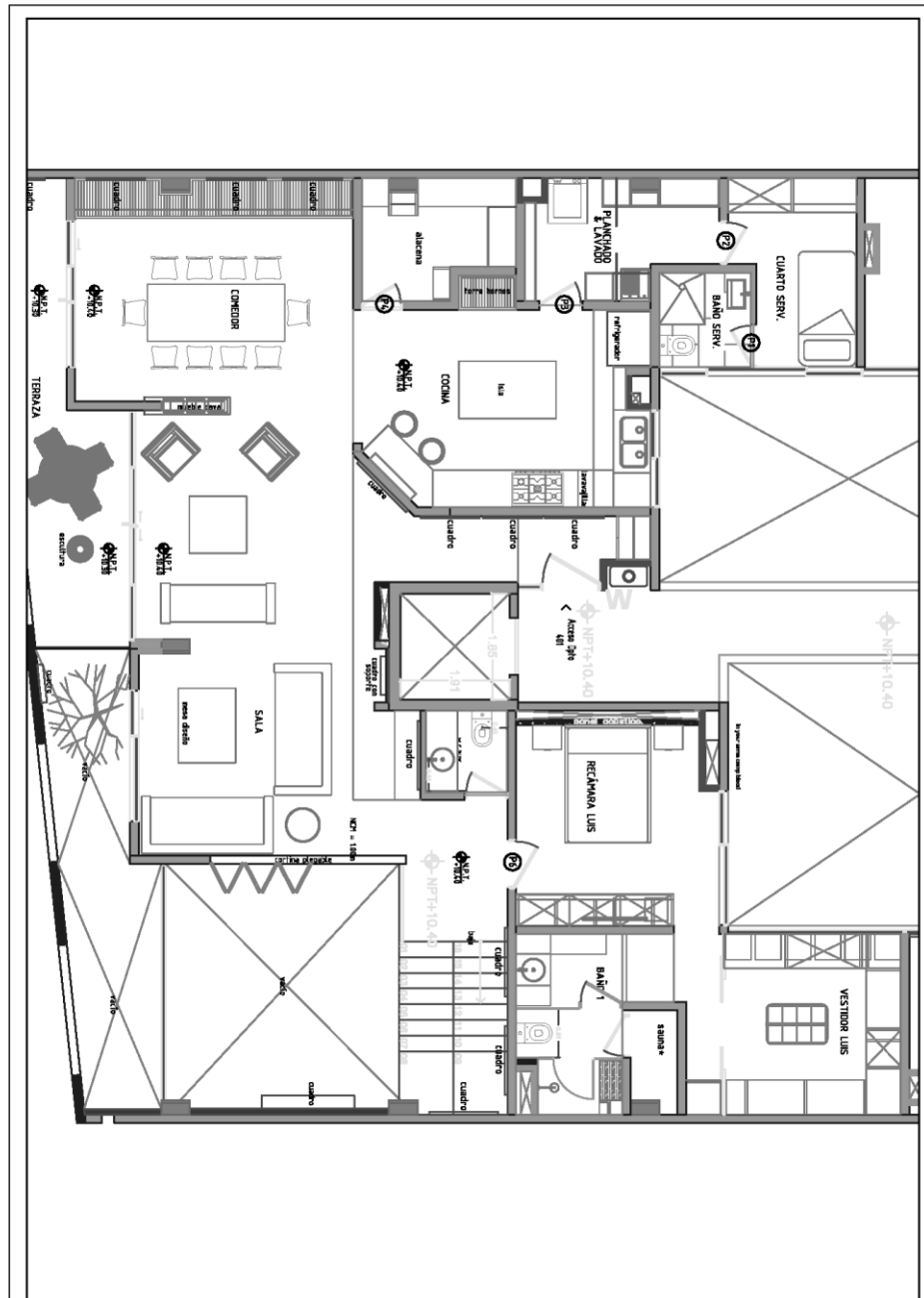
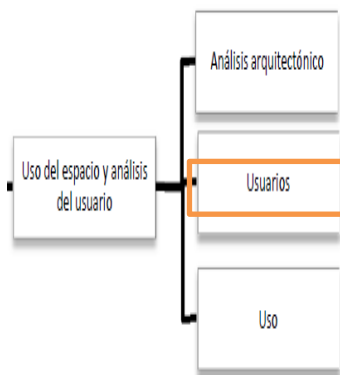


Ilustración 5- 1 Planta arquitectónica Planta baja



ANÁLISIS DE LOS USUARIOS

Los clientes son una pareja de mediana edad con hijos adultos que ya viven fuera de casa. En las entrevistas previas al proyecto se observa que ambos usan anteojos, por lo cual se decide utilizar niveles de iluminación más alto que lo sugerido por IESNA.

Ella, se expresa como amante de la luz y detesta los espacios oscuros o “manchas de luz” sobre las paredes. Sobre todo en su habitación, requiere de “mucho luz”.

En la primera visita con los clientes, el dueño menciona que un punto importante es que el intercambio de lámparas sea lo más simple posible y que le gustaría tener el menor número de modelos de luminarias.

Tienen un nivel socio económico alto y requieren de un espacio que pueda tener diferentes escenarios, *privado y acogedor* para las noches de entresemana, pero *vibrante* para cuando tienen invitados. Tienen una valiosa colección de arte que quieren poner en cada muro disponible de su casa, y desean que esta esté iluminada como si se tratase de un museo.

Se pidió a los clientes fotos o que permitieran ver sus piezas de arte para poder tener una idea de los colores o de las necesidades especiales, ellos indicaron que no estaban seguros qué piezas colocarían y que ese sería un proceso personal y que lo harían con calma una vez que estuvieran viviendo en su departamento. Pero marcaron en un plano los muros y puntos en el espacio sobre los que colocarían piezas de arte.

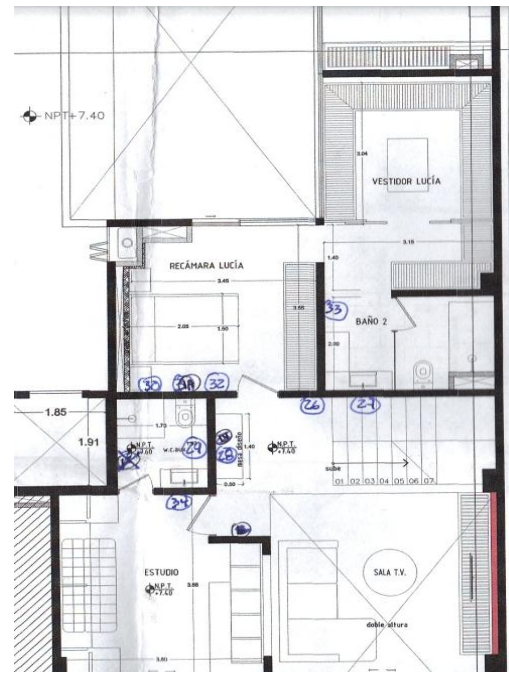
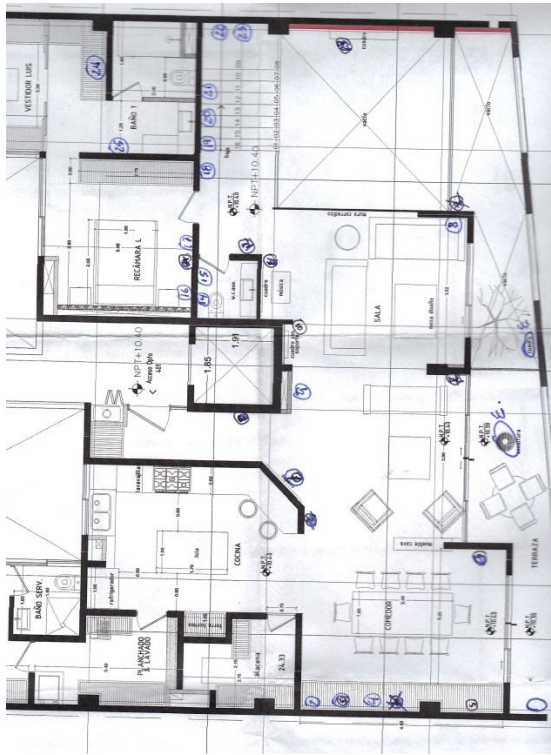
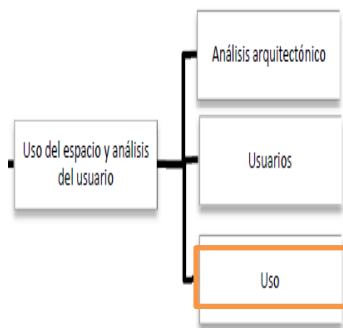


Ilustración 5- 2 Ubicación de piezas de arte por los clientes PA



Uso

En la explicación anterior se subrayaron algunas palabras clave, que se considerarán en la siguiente tabla se analizan para poder establecer pautas de diseño, que nos ayudaran a establecer intenciones lumínicas.

Petición de cliente/observaciones	Retos	Solución planeada	Solución precisa o técnica
Edad mediana/Anteojos.	A partir de los 45 años existe una pérdida de visión normal, presbicia o vista cansada.	Correctos niveles de iluminación, procurar que esté alejado del límite bajo de las recomendaciones IESNA.	Cat B ⁶⁰ de iluminacia de las Guía de diseño de iluminación de IES para “Residencias” 50 luxes mínimo Cat C ⁶¹ 100 luxes mínimo para el “mostrador de la cocina -visión crítica”
“Detesta espacios oscuros”// “Mucha luz”.	Una definición por negación. Esto no quiere decir que el espacio esté iluminado en exceso.	Niveles de iluminación correctos.	
“Detesta manchas de luz en los muros, la luz indirecta y la luz fluorescente y fría”.	Con las dimensiones de los espacios y sin usar luz indirecta o fluorescente, es prácticamente imposible evitar la proyección de la distribución lumínica (manchas).	Se sugiere que la colocación se haga con extrema precisión y planeación para que las proyecciones de distribución lumínica que se hacen sobre los muros se vean ordenadas en el espacio.	Luminarias que permitan utilizar lámparas LED temperatura de color 2700K, de bulbo MR16 al igual que las lámparas halógenas con ángulo de apertura de 24°. Para facilitar el mantenimiento se colocan lámparas intercambiables.
Diferentes escenarios.	Se plantean dos capas de iluminación. Una de iluminación general y otra de acentos en las piezas de arte y zonas de trabajo	Se agrupan las luminarias de acuerdo a la jerarquía y zona dónde se encuentran	Se colocan un dimmer por grupo de luminarias. Los <u>dimmers atenuan la frecuencia</u> de la señal eléctrica por lo que se pueden utilizar para LEDs y para los halógenos

⁶⁰ IESNA Ready Reference p.73

⁶¹ IESNA Ready Reference p.74

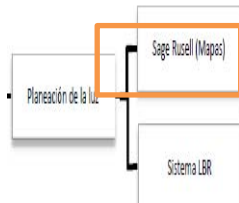
Petición de cliente u observación sobre el mismo	Retos	Solución planeada	Solución precisa o técnica
Valiosa colección de arte.	Iluminar las piezas, evitando reflejos o daños por la radiación a las piezas de arte.	Se utilizan luminarias de empotrar en plafón. Se busca que <u>entre sí sean lo más parecidas posibles</u> y en <u>acabado blanco</u> para evitar desorden visual en el plafón. Las lámparas deberán tener un <u>alto Índice de Reproducción Cromática</u> para que se aprecien todos los colores de la obra sin que la <u>desgaste por Radiación</u> , lo cual se realiza a través de filtros que vienen de fábrica en la lámpara	Utilizar <u>lámparas incandescentes de halógeno de bulbo tipo MR16</u> con un IRC del 100% y filtro de radiación UV. Se seleccionan lámparas profesionales de la línea <u>Mastercolor</u> de Philips grados de apertura disponibles son: 8°, 24°30 y 60° para ajustarse a cada obra. Corresponde la Cat D de iluminación de las
Museo, pero plafones limpios.	Usar soluciones de iluminación museográfica. Después de analizarlo, los retos de aplicar estas técnicas son: 1.- Se requieren plafones limpios y no rieles ajustables típicos de museografía. 2.- Las alturas no son propias. Con tan sólo 2.80m este espacio es mucho más bajo que el que se observa en una galería o un museo.	Se utilizan luminarias de empotrar dirigibles con lámparas de distintas aperturas se calcula su posición previamente.	Guía de diseño de iluminación de IES para “Displays planos en superficies Verticales” ⁶² . Mínimo 300 luxes.

Tabla5- 1 Tabla de análisis de soluciones. Fuente: Elaboración propia

⁶² IESNA Ready Reference p.71

PROYECTO

Una vez que se ha visitado el sitio y se ha hablado con los usuarios se comienza a planear la iluminación del espacio. En realidad, el proyecto se considera, un proyecto de interiorismo.



Los arquitectos piden que para explicar a los clientes cómo se verá la luz en el espacio **se genere una “diapositiva” donde se presenten** imágenes de las lámparas, luminarias y efectos lumínicos con fotografías, porque así estaban presentando los conceptos. En el capítulo 2, se habló sobre los paneles de humor, una técnica principalmente del interiorismo.

Aunque esta técnica es útil en esta rama de la arquitectura, en iluminación puede ser que cause confusión, los sistemas de iluminación son independientes unos de otros y lo que sucede en un espacio, aún utilizando la misma solución, es muy diferente de lo que sucede en otro, porque factores como la altura, la luz de día, el tono exacto de los colores puede afectar.

Fotografías de los efectos de luz, son aún más complicadas, porque el lente se abre a la luz, la cámara y el ojo son diferentes, si en materiales, normalmente no se escoge desde fotografías, las muestras son necesarias para identificar texturas colores reales, etc. en iluminación el problema se vuelve más importante, sobre todo si se aplican LEDs o fluorescencia en las que el color, calidad y textura de luz emitida cambia de marca a marca o incluso de lote a lote.

Al tratarse de una petición especial de los clientes y del departamento de arquitectura, concienzudamente se realizan los paneles de inspiración para el proyecto de iluminación arquitectónica.

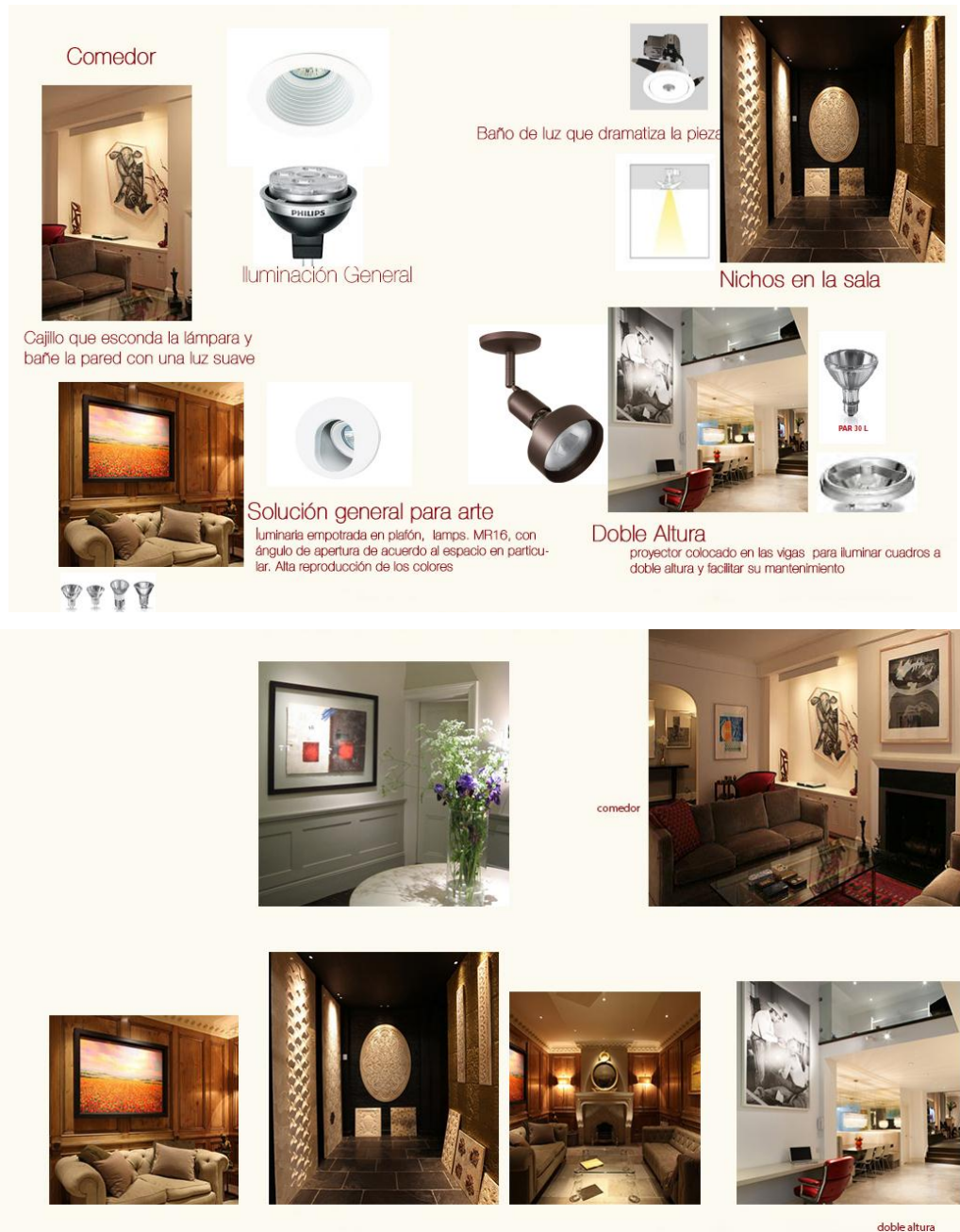


Ilustración 5- 3 Páneos de humor

Se elaboran mapas de luz siguiendo el modo de representación que propone Sage Rusell explicado en el capítulo 3. Utilizando como base una planta arquitectónica del espacio se plasman las ideas de luz, producto del análisis del espacio.

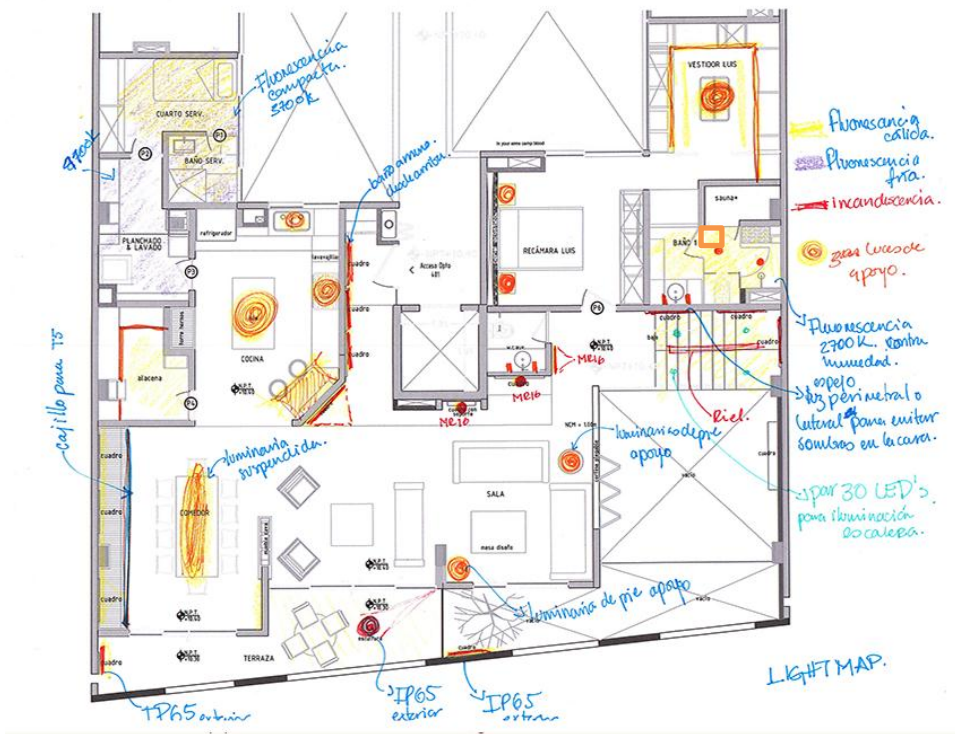


Ilustración 5- 4 Mapas de luz. Planta Alta

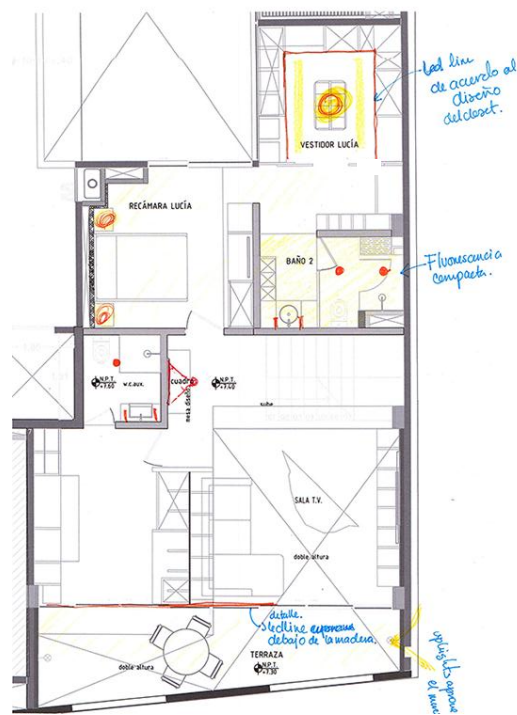


Ilustración 5- 5 Mapas de luz. Planta Baja.

PROPUESTA LBR

Se observa que la tabla de equivalencias del método LBR mostrada en la Ilustración 3.8 se encuentra en candelas por pie cuadrado (cd/ft^2), es decir unidades del sistema inglés que en México no se utilizan por disposición de la NOM-SCFI-2002⁶³, además, es mucho más común utilizar como unidad luxes o lúmenes en el medio de iluminación que otra unidad. Es preciso entonces convertir a luxes. De manera simple se sabe que una $1\text{cd}/\text{ft}^2$ equivale a 10.76391 luxes⁶⁴. La Tabla 5-2 toma los datos de la Ilustración 3.8 en el lado izquierdo y realiza la conversión en lado derecho.

I	0	1.3	cd/ft^2	I	0.00	13.99	lx
II	1.3	3.1		II	13.99	33.37	
III	3.1	5.3		III	33.37	57.05	
IV	5.3	8.3		IV	57.05	89.34	
V	8.3	11.85		V	89.34	127.55	
VI	11.85	15.3		VI	127.55	164.69	
VII	15.3	19.85		VII	164.69	213.66	
VIII	19.85	25.75		VIII	213.66	277.17	
IX	25.75	0		IX	277.17	0.00	

Tabla5- 2 Conversión de la tabla LBR de cd/ft^2 a luxes. Fuente: Elaboración propia.

⁶³ <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/008scfi.pdf>. Consultado Enero 15, 2015

⁶⁴ <http://www.rapidtables.com/calc/light/candela-to-lux-calculator.htm> Consultado Enero 2, 2015

La técnica LBR viene de fotografía, lo cual implica que el objeto exista previamente. Como se vió en el capítulo II, en arquitectura existen herramientas de representación esquemática que nos ayudan a predecir cómo será el espacio. En este caso para hacer la representación LBR hizo lo siguiente:

1.- Se construye un modelo tridimensional del espacio interior arquitectónico en Dialux.

2.- Se toma una imagen, desde un ángulo que muestre la mayoría del espacio a iluminar. Como si se tratara de el encuadre de una cámara fotográfica.

3.- En un software de edición de imágenes (Adobe Photoshop) se convierte la imagen a color en una en blanco y negro.

4.- Sobre esta imagen se marcan a mano los acentos lumínicos y marcando los niveles del I al IX de acuerdo con los niveles de iluminación sugeridos por IESNA. Con este método se asume la capa de menor jerarquía, es decir, la de iluminación general.



Ilustración 5- 6 Imagen tridimensional. Fuente: Elaboración propia

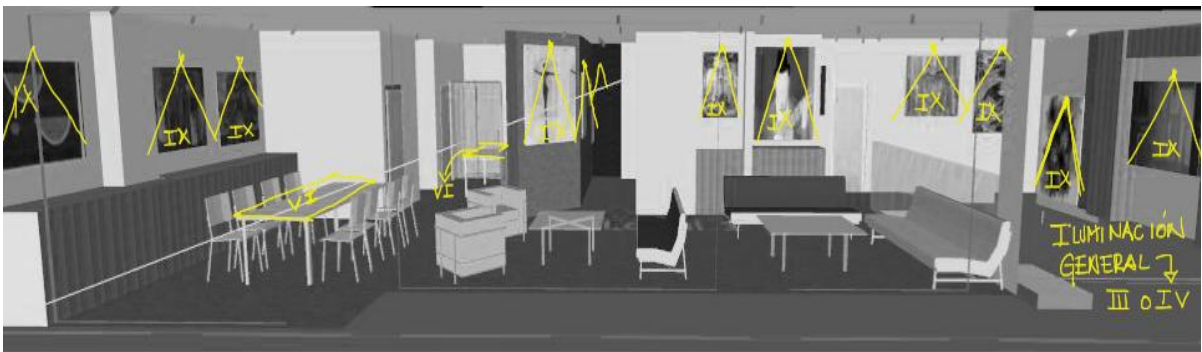


Ilustración 5- 7 Niveles de Diseño, en el método LBR. Fuente Elaboración Propia

APARATOS LUMÍNICOS

Para facilitar la presentación y síntesis de la información en las dos últimas columnas de la tabla 5-1 se plantean las soluciones . En las columnas solución planeada y solución técnica se establecen los criterios para selección de equipo. En este apartado se especifican a detalle los equipos.

LÁMPARAS Y LUMINARIAS

El siguiente es un cuadro resumen de las luminarias y sus correspondientes lámparas seleccionadas. Este formato de información proviene del reporte de cálculo del software Visual de Accuity Brands en el que se hizo una primera simulación del proyecto que sirvió para generar los planos que darían el acomodo de las luminarias. En el Apéndice E se anexan las fichas técnicas de cada equipo.








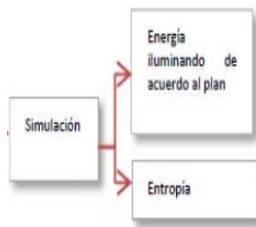
CÉDULA DE LUMINARIAS							
Símbología	Etiqueta	Qty	Modelo	Descripción	Lámpara	Lumens	Watts
	Art	3	CO1061B Construlita	WALL WASHER MR16 EXN	50W MR16 MASTERCOLOR ÁNGULO DE APERTURA ESP. EN PLANO.PHILIPS	1000	55
	Pinho	6	RE1006 Construlita	Unique MR16 50	50W MR16 MASTERCOLOR PHILIPS	600	50
	Gral	48	CO1060B Construlita	PIN HOLE MR16	MR16 RETROFIT LED PHILIPS	470	55
	Reg	8		CEILING100 LED 2700K	LED 2700K. INCLUIDO	Absolute	5,5
	Construlita	2	SM 1 28T5 MOVLT GEB10PS Construlita	4' SIDE MOUNT 28WATT STRIP LIGHT	PAR30 35 W MASTERCOLOR PHILIPS	1200	30,5
	Art2	5	CO1066B Construlita	WALL WASHER MR16 EXN	50W MR16 MASTERCOLOR ÁNGULO DE APERTURA ESP. EN PLANO. PHILIPS	1000	55
	A	3	8VF 1/26DTT MVOLT 802AZ	8" DOWNLIGHT ABIERTO CON REFLECTOR ESPECULAR.	PAR30 RETROFIT LED PHILIPS	1000	55

Ilustración 5- 8 Cédula de luminarias utilizada



DE LA PROPUESTA A LA SIMULACIÓN

Para realizar los cálculos y simulaciones se ha decidido utilizar el software especializado de iluminación arquitectónica Dialux.

Se opta por usar este programa debido a su precisión en cálculos lumínicos de sistemas artificiales. El procedimiento general fue el siguiente:



Ilustración 5- 9 DWG y locales en Dialux



Ilustración 5- 10 Construcción tridimensional con materiales y objetos



Ilustración 5- 11 Luminarias de la simulación. La forma de estas es solo para representación

1.-Se importan desde Autocad los archivos *.dwg que contienen la información de las plantas.

2.-En Dialux selecciona cada local a iluminar dentro del departamento y se introduce la altura del local (2.8 metros). Esto generará los muros automáticamente. Para el caso de estudio se selecciona solamente el Local 1, es decir el que incluye escalera, sala-comedor y pasillo de acceso. Estos dos primeros pasos se aprecian en la Ilustración 5-10.

3.-De la librería de materiales del programa se agregan los acabados que ha indicado arquitectura. Ilustración 5-11

4.-Se agregan los objetos, como muebles, cuadros etc.

5.-Se colocan las luminarias previamente seleccionadas y se carga la información fotométrica de la mismas (archivos *.ies). Se ajustan las luminarias que lo necesiten.

6.-Se establecen zonas de cálculo en las superficies de acento. Esto ayudará a interpretar los resultados. Se corren los cálculos pertinentes y se generan las vistas en falso color que ayudarán al análisis de resultados.



Ilustración 5- 12 Aparecen en amarillo las zonas de cálculo del programa

7.- Se hacen renders utilizando la herramienta **Raytrace** de Dialux, la herramienta dará textura y mostrará la distribución de la luz en el espacio.



Ilustración 5- 13 Distribución de la luz en el espacio con Raytrace. Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Del software de cálculo se obtienen las siguientes imágenes en falso color. Estas imágenes muestran la distribución de la energía lumínica de una manera que facilita el análisis.

Hay que tener en mente que, a menos de que la intención sea cortar la luz, es decir tener un nivel altísimo seguido inmediatamente de uno bajísimo como si la luz se recortase, por ejemplo, un proyector de cine en que la luz proyectada no sale de la pantalla, normalmente la transición entre niveles de iluminación suele ser sutil y gradual. Sin embargo la herramienta de falso color hace un **recorte** entre niveles de energía lumínica.

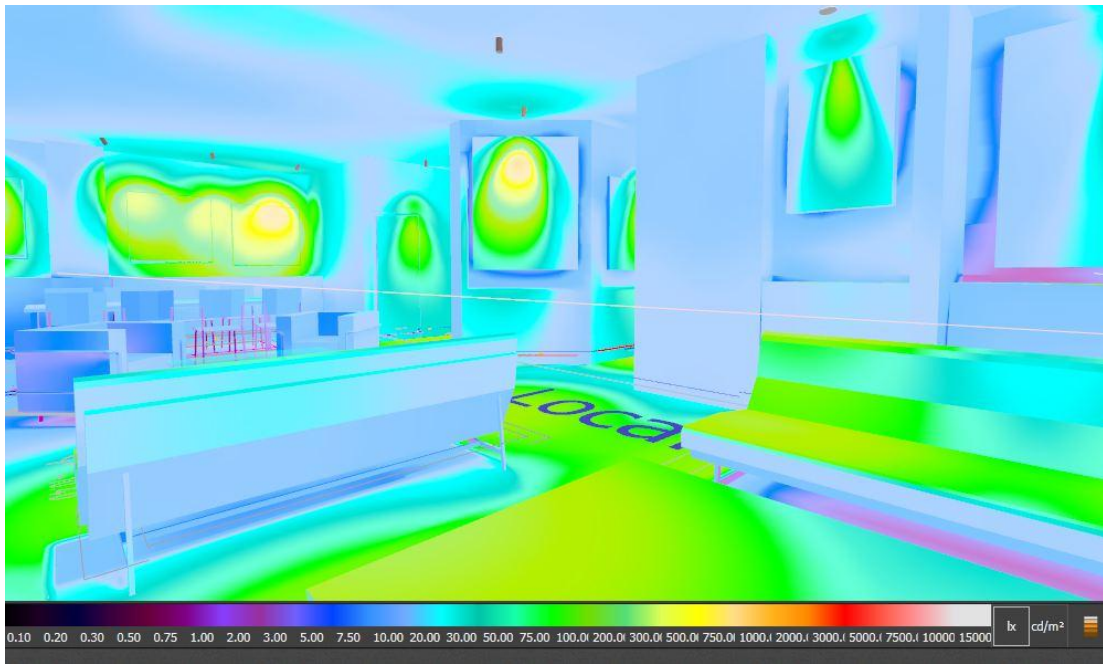


Ilustración 5- 14 Falso color. Sala de estar. Fuente Elaboración propia

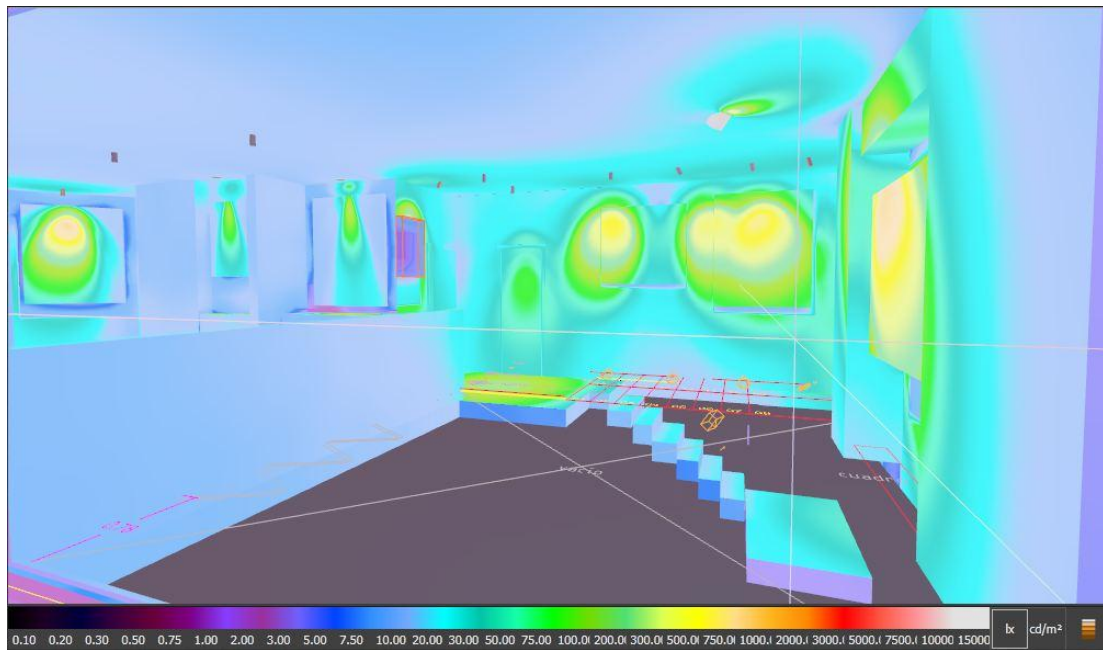


Ilustración 5- 15 Falso color. Muro Escaleras. Fuente Elaboración propia

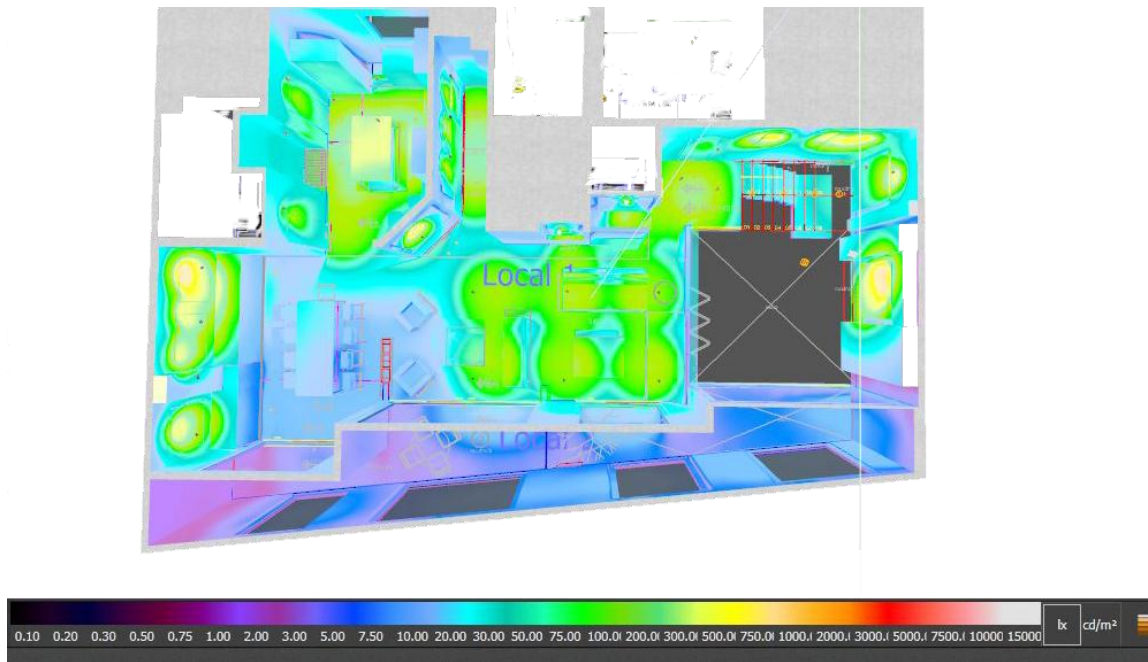


Ilustración 5-16 Falso Color. Planta. Fuente Elaboración propia

De estas imágenes se puede interpretar:

Los colores azul y cian muestran la capa con menor jerarquía en el diseño lumínico: la de iluminación general. De acuerdo con las grafica interpretativa en la parte inferior de las ilustraciones se ve que corresponde a los niveles entre los 10 y 70 luxes. La recomendación de IES para las zonas de circulación y habitación (clase A de la clasificación IES) 50 luxes mínimo.

En color verde corresponden los niveles entre 75 y 100 luxes (clase B de la clasificación IES). En la Ilustración 5-17 se observa que este nivel aparece alrededor de los cuadros como transición entre la pieza de arte y la zona de iluminación general, sobre la sala de estar donde hay que considerar que este es el nivel máximo ya que el sistema de control seleccionado es dimeable y por lo tanto los niveles de iluminación son ajustables.

También aparece el color verde en las áreas generales de la cocina, donde se realizan tareas que requieren mayor precisión.

Sobre las piezas de arte aparecen el amarillo y blanco es decir niveles entre los 300 y 700 luxes. Si consideramos la distribución lumínica de las lámparas halógenas (que son las que se han seleccionado para iluminar las piezas de arte) como una parábola, el punto con mayor luminosidad sería justo el foco de esa parábola, es decir los 700 luxes. La distribución de la luz sobre las piezas de arte dependerá de las texturas, materiales, colores, dimensión etc de las mismas. El software simplemente está calculando luz sobre un rectángulo blanco.

Las “piezas de arte” que se han agregado son simplemente imágenes puestas solo con el propósito de mejorar la presentación.

Estas lámparas también se han conectado a dimmers y son direccionables. Esto permitirá que la luz se ajuste a cada pieza de arte de acuerdo a las preferencias del usuario, tamaño y colores de la pieza de arte.

COMPARACIÓN CON LA ESCALA LBR.

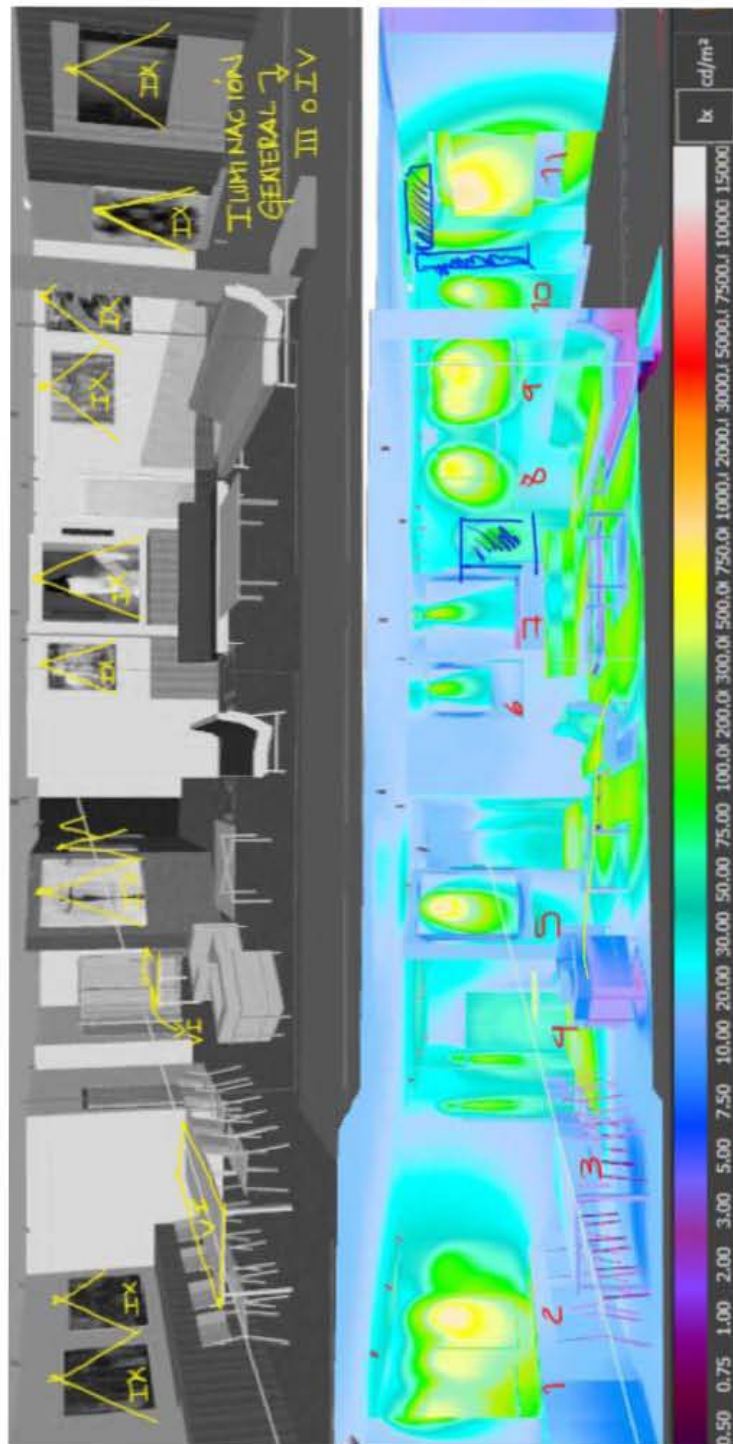


Ilustración 5- 17 Comparación de escalas. Fuente :Elaboración propia.

En la Ilustración 5.17 se comparan las intenciones de iluminación plasmadas en el modelo tridimensional del local, y la información calculada con Dialux. En ashurado azul se marcan las zonas donde la energía no esta cumpliendo con lo planeado.

La siguiente Tabla compara los niveles planeados con lo que de con los resultados obtenidos y los niveles de iluminación de IES. Cabe hacer notar que en esta tabla solo se observa la iluminación de acento.

Zona	Categoría	Rango LBR	Nivel observado en falso color	Categoría IES	Comentarios
1	IX	277 lx -	350-100	D -300 lx min	Cumple con las condiciones planeadas
2	IX	277 lx-	350-100	D -300 lx min	Cumple con las condiciones planeadas
3	VI	127-165lx	20	C -100 lx min	En esta zona va una luminaria decorativa
4	VI	127-165lx	300-400	D -300 lx min	Hay más luz de la requerida, sin embargo es una zona de trabajo, los niveles se pueden ajustar con el dimmer instalado
5	IX	277 lx-	300-400	D -300 lx min	Cumple con las condiciones planeadas
6	IX	277 lx-	300-50	D -300 lx min	Cumple con las condiciones planeadas
7	IX	277 lx-	300-50	D -300 lx min	Cumple con las condiciones planeadas
8	IX	277 lx-	750-50	D -300 lx min	Los niveles superiores e inferiores están muy separados. Se debe dimear de acuerdo a la pieza de arte que se coloque. Cumple con las condiciones planeadas
9	IX	277 lx-	750-50	D -300 lx min	Los niveles superiores e inferiores están muy separados. Se debe dimear de acuerdo a la pieza de arte que se coloque. Cumple con las condiciones planeadas
10	IX	277 lx-	750-50	D -300 lx min	Los niveles superiores e inferiores están muy separados. Se debe dimear de acuerdo a la pieza de arte que se coloque. Cumple con las condiciones planeadas
11	IX	277 lx-	750-50	D -300 lx min	muy separados. Se debe dimear de acuerdo a la pieza de arte que se coloque. Cumple con las condiciones planeadas

Tabla 5- 1 Comparación de niveles escala LBR y representación en Falso Color

COEXISTENCIA DE LA LUZ ARTIFICIAL Y NATURAL.

Los grandes ventanales permiten que durante el día no sea necesario utilizar luz artificial excepto en las zonas de trabajo de la cocina y en el pasillo de entrada. No es necesario encender la luz para iluminar las obras de arte ya que la luz natural baña muy bien el espacio. Para establecer esto se hace una relación entre el área total del local 1 y el área de las zonas de trabajo para obtener un porcentaje de coexistencia.

Área del local=105 m²

Área de la barra de cocina= 3.86m²

Área de la isla de cocina=1.7m²

Área del pasillo de entrada=3.79 m²

$$\% \text{de coexistencia} = \frac{3.86 + 1.7 + 3.70}{105} \times 100 = \frac{9.26}{105} \times 100 = 8.82\%$$

Existe un porcentaje de coexistencia del 8.82%, lo que es menor que el 25% que sugiere LEED como criterio.

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE DIALUX.

El software de simulación y cálculo arroja un reporte niveles de iluminación. Analiza cada objeto y/o superficie donde la luz refleja por lo tanto, son cientos de datos a procesar y muchos de ellos se generan automáticamente. Desde el programa se identifican varios objetos que se toman como referencia para identificar las zonas que se están calculando.

En este apartado se presenta la información pertinente para el análisis pero el reporte final, incluyendo la información de luminarias que toma el software de los archivos virtuales de distribución lumínica *.ies se adjunta en los apéndices.

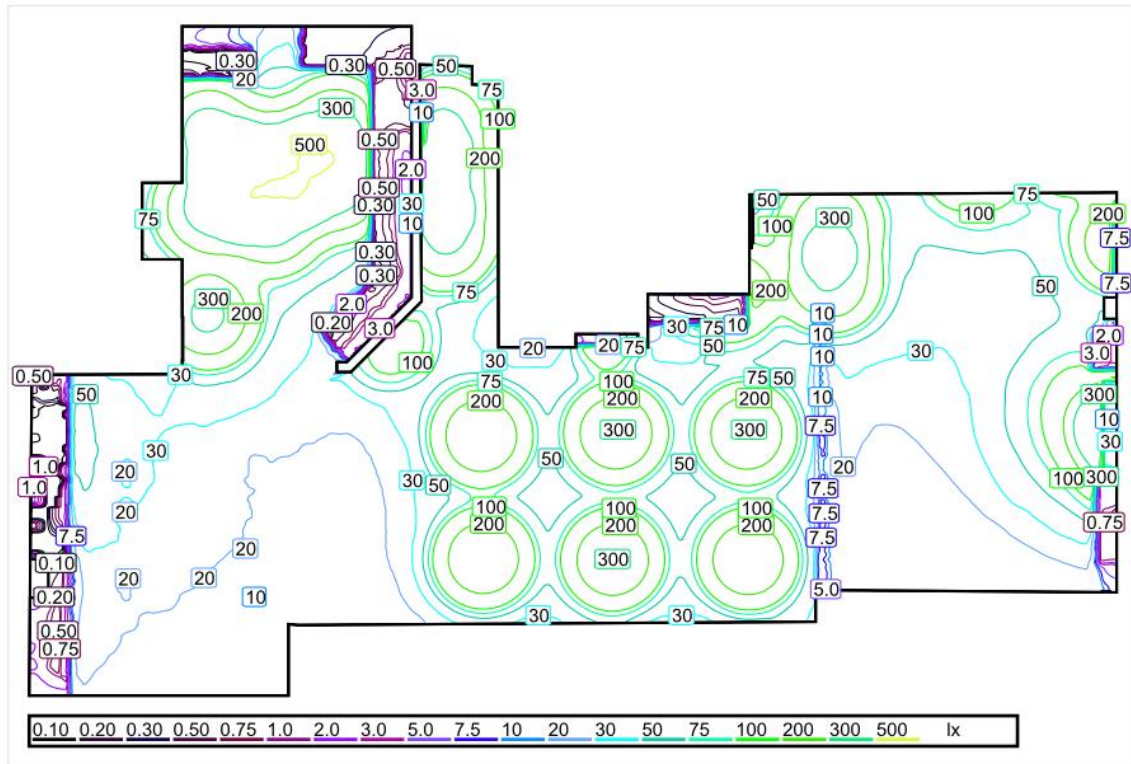


Ilustración 5- 18 Distribución lumínica en curvas isocandela en planta

En la ilustración 5-19 se observa que la zona del comedor se nota mucho más oscura con 20 luxes, esto es porque no ahí irá una luminaria decorativa de la cual no se tienen datos lumínicos. Se observan niveles más altos justo en el centro de las luminarias (300lx) y sobre la zona de la mesa de la cocina.

En las zonas de circulación hay entre 75 y 50 luxes que corresponde con los valores mínimos establecidos en las categorías Ay B de IES para circulaciones y áreas públicas.



Ilustración 5- 19 Objetos identificados en el software. Fuente: Elaboración Propia.

En la Ilustración 5-19 sobre el modelo tridimensional del espacio aparecen las superficies de cálculo aproximadas que interesa analizar. En amarillo y con puntos de cálculo están las superficies verticales y de acento donde se encuentran las obras de arte. Sobre el techo aparece otra superficie de cálculo amarilla pero esa se desprecia.

Finalmente, el plano de trabajo a que se estableció 0.80m del nivel de piso terminado. Los datos de luminancia que arroja Dialux se muestran e interpretan a continuación.

Intensidad lumínica perpendicular

Nombre	Media [lx]	Min [lx]	Max [lx]	Mín./medio	Mín./máx.	Puntos (de ellos relevante)
XMUROCOMEDOR	259	59	532	0.227	0.111	5 x 5 (Todos)
MURO COMEDOR	82	0.00	652	0.000	0.000	7 x 4 (Todos)
Objeto de cálculo de pared 2	19	13	25	0.694	0.547	6 x 6 (Todos)
Objeto de cálculo de pared 3	18	12	22	0.651	0.539	3 x 45 (Todos)
Objeto de cálculo de pared 4	39	0.00	112	0.000	0.000	21 x 6 (Todos)
Objeto de cálculo de pared 5	22	15	31	0.684	0.493	7 x 4 (Todos)
LIBRERO	218	23	1899	0.105	0.012	13 x 6 (Todos)
RoomMainSurfaceCalculationGrid	56	19	361	0.338	0.053	7 x 4 (Todos)
Objeto de cálculo de pared 8	50	27	71	0.536	0.379	4 x 14 (Todos)
Objeto de cálculo de pared 9	14	13	16	0.920	0.851	4 x 14 (Todos)
MURO SALA	19	13	33	0.690	0.408	4 x 6 (Todos)

Intensidad lumínica horizontal

Nombre	Media [lx]	Min [lx]	Max [lx]	Min./medio	Min./máx.	Puntos (de ellos relevante)
Mesa cocina Compensación de altura: 0.010 m	431	305	516	0.709	0.592	5 x 5 (Todos)
mESA COMEDOR	25	21	28	0.835	0.726	5 x 5 (Todos)
XMESACOCINA	426	293	517	0.687	0.566	3 x 5 (Todos)
XCONSOLA3	417	17	2533	0.041	0.007	3 x 5 (Todos)
Resumen	/	17	2533	/	/	

Intensidad lumínica vertical

Nombre	Media [lx]	Min [lx]	Max [lx]	Min./medio	Min./máx.	Puntos (de ellos relevante)
MURO DIAGONAL2 Rotación: 0.0°	98	27	247	0.271	0.107	5 x 5 (20)
XMUROCOMEDOR Rotación: 45.0°	206	39	455	0.190	0.086	5 x 5 (Todos)
CONSOLA 1 Rotación: 0.0°	0.91	0.18	3.85	0.194	0.046	3 x 5 (Todos)
XMUROESCALERA2 Rotación: 0.0°	43	0.72	327	0.017	0.002	7 x 3 (Todos)
XCONSOLA2 Rotación: 0.0°	6.18	0.21	17	0.034	0.012	3 x 5 (Todos)
Resumen	/	0.18	455	/	/	

Intensidad lumínica en base a la cámara

Nombre	Media [lx]	Min [lx]	Max [lx]	Min./medio	Min./máx.	Puntos (de ellos relevante)
MURO DIAGONAL2	38	18	114	0.476	0.157	5 x 5 (20)

Altura del local: 2.800 m, Altura del plano útil: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m, Grado de reflexión: Techo 86.0%, Paredes 66.3%, Suelo 16.1%, Factor de depreciación según EN12464

Ilustración 5- 20 Intensidades lumínicas del reporte de DIALUX.

El software genera automáticamente muchas superficies de cálculo y objetos (cada elemento en el render el software lo considera un objeto) pero se identifican los acentos, se nombran y en el reporte se han resaltado en amarillo

CONCLUSIONES

Se estableció la diferencia entre luz e iluminación, son palabras que en el hablar común e incluso en el hablar arquitectónico se utilizan de manera indistinta. La experiencia de luz es subjetiva, cada arquitecto puede tener su propia definición de cómo es que la luz interactúa con la **arquitectura**, “**inherente, material, juego de volúmenes**, etc.” son algunas de las definiciones personales. Por esto, es que de las definiciones básicas de los vocablos es que se establece: *que luz es energía; iluminación el acto en sí de proveer luz y controlarla.*

La iluminación es parte del quehacer arquitectónico, el arquitecto imagina y concibe el objeto bajo luz

La luz natural está **ahí**, antes y después del objeto arquitectónico, es el objeto el que se ajusta ella. La iluminación artificial es un complemento a la luz natural del lugar que impacta al espacio. El diseño arquitectónico debe permitir la luz natural y la artificial. Si bien, es necesaria para el estilo de vida actual, la luz artificial es un complemento

El concepto *lichtarkitektur*, luz-arquitectura como se ha traducido desde el alemán para este texto, es un análisis que **se hizo en los años 20's, más o menos al comienzo de la relación entre arquitectura y luz eléctrica**. Identifica dos grandes vertientes en el tema: **la técnica encargada de las fuentes y la artística o arquitectónica que tiene que ver con la manera en la que las fuentes complementan espacio**. Hoy no pierde vigencia, al contrario con el surgimiento de nuevas tecnologías, la incorporación del control (automatización) que hacen más complejo el desarrollo de las fuentes. Esto abre un abanico

cada vez más grande de herramientas de diseño y obliga a una mayor especialización por parte de los diseñadores.

En la etapa de planeación del objeto arquitectónico, el proyecto, la iluminación artificial debería considerarse desde el principio y ser parte del proceso en todo momento. En la práctica no suele ser así; el proyecto de iluminación arquitectónica en México se presenta como parte de las instalaciones eléctricas, incluso se incorpora al final del proyecto.

Bajo este estilo de trabajo lo que sucede o no con la luz, se ve hasta las etapas finales de la obra. Además el proyecto de iluminación se vuelve susceptible a los problemas que sufren las instalaciones, como poco mantenimiento o una configuración planeada en una planta y no pensando en lo que sucede realmente en el espacio.

El arquitecto estadounidense y pionero en la iluminación artificial Richard Kelly, encontraba en el diseñador de iluminación *un editor de arquitectura* una figura similar al editor literario que tiene una visión global y distinta a la del autor. Es decir otro profesional de la arquitectura, con un profundo conocimiento de la luz y sus efectos, que puede dar una nueva interpretación al objeto ya al espacio arquitectónico.

No es posible hablar de iluminación eléctrica sin considerar el aspecto del consumo de energía, La iluminación eléctrica solo representa el 15% del consumo mundial de energía eléctrica; aparece como estandarte del movimiento que motiva al consumidor final a mejores prácticas en cuanto al consumo, eficiencia, ahorro energético, un movimiento verde. Pareciera que, como por arte de magia cuando un "foco" incandescente se sustituye por el fluorescente

compacto, en automático se gasta menos energía y se ayuda al medio ambiente.

En cuanto al aspecto verde. Lo *limpio* de la energía depende directamente de la *generación* de la misma (el primer paso en un sistema de transmisión de energía eléctrica) y no de la *distribución*, etapa en la que se conectan las lámparas

Las nuevas tecnologías simplemente convierten un mayor porcentaje de energía eléctrica en lumínica; energía sin fijarnos en aspectos cualitativos de la luz. Falta considerar el **tiempo de uso**, para obtener una buena idea del ahorro.

En cuanto a la eficiencia falta considerar **el uso** que se pretende darle a la lámpara o a lo que va a ocurrir bajo su luz y por supuesto, **el espacio** dónde está utilizando.

La eficiencia, entonces deberá ser del sistema eléctrico lumínico completo y no sólo de la potencia y consumo de las lámparas. La definición de eficiencia energética habla de hacer las mismas *tareas* utilizando menos energía.

En general la palabra *tarea* se utiliza en el argot de la iluminación arquitectónica, como una traducción del inglés *task*, y se refiere a las actividades que se van a realizar en el espacio; caminar, leer, comer, etc. Más no de lo que ocurre porque el espacio no es estático sino dinámico. La energía lumínica debe cumplir entonces con las actividades y las intenciones de diseño.

El modelo propuesto sigue la filosofía de Teichmuller luz-arquitectura y da el mismo peso a la ingeniería (energía, aparatos, control) y a la parte de arquitectura. Se deriva del modelo de manejo de energía que propone IES.

El modelo propone un alto aprovechamiento de la energía

esto se logra considerando el uso correcto y preciso de las fuentes:

-El conjunto lámpara y luminario en el lugar justo del espacio. La lámpara proporciona el tipo de luz. Ángulos de apertura de las lámparas además de accesorios como louvers, sistemas de rotación, hacen la combinación lámpara-luminario única

-La consideración de un sistema de control para que la luz ilumine cuando es necesaria.

-El balance de energía, la que entra eléctricamente, se convierte en luz que cumple con una función o se desperdicia.

Arquitectónicamente el modelo contempla efectivas herramientas de diseño. Los mapas de luz de Sage Rusell, funcionan como un primer acercamiento de análisis, invita a pensar local por local lo que sucede en él, a incorporar puntualmente la luz al diseño del espacio. El uso de la escala LBR, permite hacer este mismo análisis de manera tridimensional, de afinar aún más el detalle de diseño. De estas dos herramientas se puede derivar una selección de equipos y finalmente el uso de software de modelado tridimensional que permite simular el sistema de iluminación: diseño + equipo.

El caso de estudio es complejo y contempla diversas variables, que no necesariamente son cuantitativas: la edad de los ocupantes, la diversidad de tareas bajo el espacio, el ambiente que se debería colocar y la iluminación de objetos de arte en un lugar que no estaba precisamente planeado para

la exposición de los mismos.

Se realizaron mapas de luz que sirvieron para establecer los principios generales de diseño.

El sistema LBR, que viene de la fotografía, realmente resultó ser útil para diseñar los acentos y en este caso eran muy importantes pero no realmente para la capa de niveles generales.

Las simulaciones anticipan cómo se iluminará el espacio pero ofrecen una valiosa herramienta energéticamente hablando, el falso color, esto nos permite ver la distribución de la energía, se observa que de manera general la iluminación se comporta como fue diseñada, sin embargo hay pequeñas áreas dónde la luz sale del área planada, por ejemplo sobre el librero. En otras ocasiones los niveles de luz son altísimos. Esto es debido al método de cálculo que se realiza por puntos.

REFERENCIAS

Libros

- **Atkins Peter**, “*The laws of thermodynamics, a very short introduction*” 2010 Oxford University Press. E.U.
- Bratu. Campero Instalaciones Eléctricas. Conceptos Básicos y Diseño. Alfaomega. 2ª ed. México.1992.
- Boast, WB, Illumination engineering, Mc GrawHill, EU 1942
- **Casals Balagué “El arte, la vida y el oficio del arquitecto” Alizna 295pp 2002**
- Christensen. IESNA Curso Básico de Iluminación. IESNA.EU 1999.
- Chui Yuk Chee, Jamie Perception of light pollution in Hong Kong an empirical study, University of Hong Kong 2008, China
- Cayles M, Marsend A, Lamps and Lighting 3a ed, Edward Arnold, Gran Bretaña, 1983
- Cotrell Michelle Guide to the LEED AP Building Design and Construction (BD&C) Exam,Wiley, 2011, Estados Unidos. P 216
- Cuttle. Lighting by Design. Architectural press EU 2005
- DeHaro Iluminación lighting. AM editores/Númen Japón 2006.
- Di Louie. Advanced Lighting Control. The Fairmont Press. EU. 2005.
- Entwistle. Diseño con luz en espacios públicos. Rotovision. Suiza. 2000
- Erhardt. The right light. IESNA EU.1995.
- Flores C. Les Ilicons de Gaudi. Biblioteca Universal Empuries España, 2002.
- **Feynman Richard**, “**The Feynman lectures physics**” 1964 Ed. **John Wiley & Sons, Inc**
- García Germán J. De lo mecánico a lo termodinámico editorial Gustavo Gili , España 150
- Gordon Gary, Interior Lighting for Designers, 2003
- **Gorman Jean “Detailing light, Integrated lighting solutions for residential and contract design”. Watson Guphill Publications, 1995, EU p. 12**
- Harrold. Ready Reference. IESNA.9ª ed EU. 2000.
- Innes Malcom, Iluminación en interiorismo. Ed. Blume, España, 192 pp 20410
- Moon. Scientific Basis of illuminating engineering. Mc.GrawHill. EU. 1936.
- Michel Lou, Light: The shape of space. Designing with space and light EU Van Nordstrand Reinghold 276pp 1996
- Mitton Maureen, Interior design visual presentation 4ª ed Wiley EU 2012, pos 3049,
- Muñoz Cosme A. “**El proyecto de arquitectura**” Ed, **Reverte, 275pp 2008**
- Neuman. Architecture of the night. Prestel. Alemania 2002
- Neuman Dietrich, The structure of light, Yale University, 2010
- Karlen Lighting Design Basics. Wiley&Sons EU 2004.
- Patteta Luciano. Historia de la arquitectura. Antología critica. Celete ediciones España1997.
- Project managment institute, Guía de los Fundamentos de la dirección de proyectos 3era edición, Guía del PMbok,2004 Project managment institute
- Racha. Instalaciones Eléctricas.Universidad Mayor Sn Simón. Bolivia 2008.
- Roaf S, Hancock M. Efficcient building a design guide. Halsted Press 1992,261pp
- Rusell Sage, architecture of light Conceptnine, 2008

- Olmedo Canchola, H Formulación y desarrollo de proyectos inmobiliarios. Tesis. UNAM p.14
- SENER Balance Nacional de Energía 2011, SENER 2011, México p.91
- Simons. Bean. Lighting Engineering Applied Calculations. Architectural Press. EU 2001.
- Steffy. Architectural Lighting Design. VNH. 1990 EU
- Storey. Lighting. Simple Solutions for Home. Chronicle Books Hong Kong 2000.
- Valero. Reflexiones sobre la luz en el proyecto de Arquitectura. La materia intangible. Memorias Culturales España. 2004.

Tesis y Manuales

- IESNA Lighting Handbook. IESNA 9a ed EU 2000.
- Harrington. Design of an energy efficient outdoor nighttime urban lighting system. Tesis. New York Institute of Technology. EU1995.
- Osram Catálogo 2008. México
- Martínez V. Balastro Electrónico Mono-etapa. Tesis. UDLA México. 2005
- Viakon, Conductores Monterrey. Manual del electricista. México

Artículos y Notas

- Álvarez. Siqueiros. ¿Qué es la luz?: Historia de las teorías sobre la naturaleza de la luz Revista Universitaria- UABC No. 50. abril-junio 2005. México
- Lazlo. Las Tareas Visuales y las funciones estéticas. Luxes. Año 2 No.6 Mayo 2007. México.
- Sistematización del diseño arquitectónico, Universidad Autónoma de Aguascalientes. P4
- **Apuntes de la autora del diplomado “Espacio e Iluminación” por la UIA.**
- Autodesk 3dsmax 2011 Help, Lighting Analysis, Pseudo Exposure Control

Websites

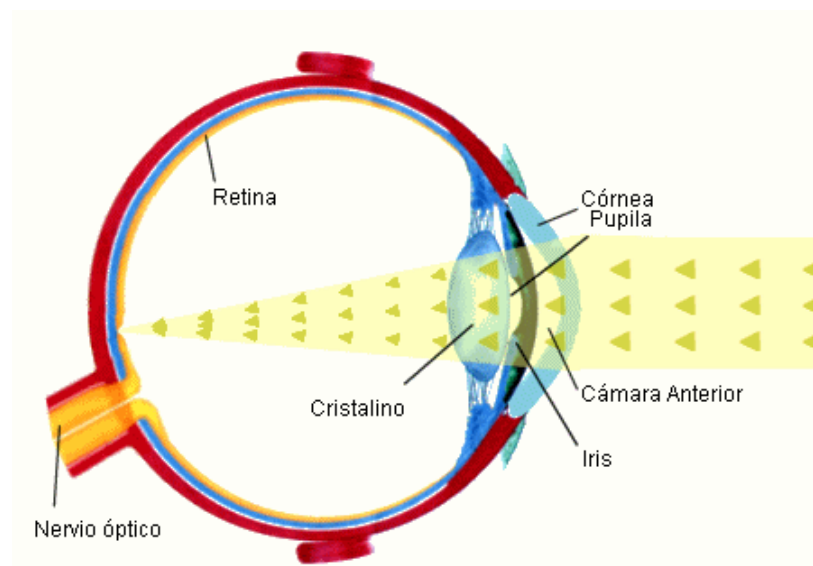
- <http://community.lighting.philips.com/thread/1612#sthash.KY4TDA2g.dpuf>
Consultado Noviembre 4,2013
- <http://www.youtube.com/watch?v=kg198m5GNmU&feature=youtu.be>.
Consultado Octubre 31, 2013
- Catholicsun.org consultado febrero 1, 2015
- <http://www.architecture.com/Files/RIBAProfessionalServices/Practice/RIBAPlanofWork2013Template.pdf> Consultado Enero 23,2014.
- <http://recuerdosdepandora.com/ciencia/fisica/historia-de-la-energia-desde-el-calorico-hasta-joule/> Consultado Noviembre 2013

- <http://demonstrations.wolfram.com/JoulesExperiment/> consultado Octubre 09, 2013.
- http://www.worldenergy.org/publications/energy_efficiency_policies_around_the_world_review_and_evaluation/1_introduction/1175.asp. 5 de mayo de 2011
- <https://energycenter.org/index.php/technical-assistance/energy-efficiency/energy-efficiency-definition>. 5 de mayo de 2011
- http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/alumbrado_publico; 15 de mayo de 2011
- <http://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightingAnswers/lightpollution/abstract.asp> consultado Noviembre 5, 2011
- ¹ <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/008scfi.pdf>. Consultado Enero 15, 2015
- <http://www.rapidtables.com/calc/light/candela-to-lux-calculator.htm> Consultado Enero 2, 2015

APÉNDICE A: VISIÓN

La sensación visual requiere de un estímulo que es la fuente luminosa, un modificador de la fuente que es el objeto, un receptor es decir el ojo y un decodificador, que es el cerebro que analiza al modificador afectando nuestra conducta. La comprensión de cómo funciona este receptor nos ayuda a controlar el estímulo. A continuación se explica de manera muy breve el funcionamiento y partes del ojo humano:

Los elementos ópticos del ojo pueden dividirse en tres partes los elementos ocular-motores (los músculos del ojo), los elementos ópticos (córnea, cristalinos, pupilas y el humor intraocular) y los elementos neurológicos (retina y nervio óptico)



La córnea es una membrana transparente que refracta los

rayos de luz cuando entran en el ojo. Los rayos de luz atraviesan la pupila que es una abertura del iris. El movimiento del iris hace que la pupila cambie de tamaño controlando la cantidad de luz que llega a la parte posterior del ojo. La luz pasa después, a través del cristalino. El músculo ciliar modifica el espesor del cristalino para enfocar la imagen sobre la retina. Esta última es la capa más interna del ojo contiene dos clases de receptores sensibles a la luz: conos y bastones, que se diferencian en su morfología y por su sensibilidad espectral de los foto-pigmentos que contienen.

Los conos se dividen en tres clases cada una caracterizada por el foto pigmento que contiene cada uno (tipo L, M o S). Se encuentran concentrados en la fovea aunque existen conos en algunas partes de la retina. Todos los conos actuando al mismo tiempo tienen un pico de sensibilidad espectral de 555 nm, que corresponde al amarillo, por eso para los humanos el color más sencillo de identificar es este y se utiliza para señalizaciones.

Los bastones, se encuentran en toda la retina excepto en la fovea y reciben información incolora, son los responsables de la visión acromática (escala de grises). Están adaptados para poca luz, ya que con mucha colapsan y se bloquean. Los bastones, al poseer una mayor sensibilidad a la luz, son los causantes de la visión nocturna o visión escotópica. A la visión de día en la que intervienen tanto conos como bastones se le denomina visión fotópica. Esto es importante dando que el nivel de luz general determina el mecanismo de visión que se utiliza; a menor cantidad de luz, mayor la sensación de gris, por el efecto que producen los bastones.

La transición de modo fotópico a modo escotópico es gradual

de acuerdo a cómo la retina se acostumbra a más o menos luz. Este proceso se conoce como adaptación

La córnea es una membrana transparente que refracta los rayos de luz cuando entran en el ojo. Los rayos de luz atraviesan la pupila que es una abertura del iris. El movimiento del iris hace que la pupila cambie de tamaño controlado la cantidad de luz que llega a la parte posterior del ojo. La luz pasa después, a través del cristalino. El músculo ciliar modifica el espesor del cristalino para enfocar la imagen sobre la retina. Esta última es la capa más interna del ojo contiene dos clases de receptores sensibles a la luz: conos y bastones, que se diferencian en su morfología y por su sensibilidad espectral de los fotopigmentos que contienen.

Los conos se dividen en tres clases cada una caracterizada por el foto pigmento que contiene cada uno (tipo L, M o S). Se encuentran concentrados en la fovea aunque existen conos en algunas partes de la retina. Todos los conos actuando al mismo tiempo tienen un pico de sensibilidad espectral de 555 nm, que corresponde al amarillo, por eso para los humanos el color más sencillo de identificar es este y se utiliza para señalizaciones.

Los bastones, se encuentran en toda la retina excepto en la fovea y reciben información incolora, son los responsables de la visión acromática (escala de grises). Están adaptados para poca luz, ya que con mucha colapsan y se bloquean. Los bastones, al poseer una mayor sensibilidad a la luz, son los causantes de la visión nocturna o visión escotópica. A la visión de día en la que intervienen tanto conos como bastones se le denomina visión fotópica. Esto es importante dando que el nivel de luz general determina el mecanismo de visión que

se utiliza; a menor cantidad de luz, mayor la sensación de gris, por el efecto que producen los bastones.

La transición de modo fotópico a modo escotópico es gradual de acuerdo a cómo la retina se acostumbra a más o menos luz. Este proceso se conoce como adaptación

APÉNDICE B: LUMINOTECNÍA

ILUMINANCIA

Simplemente es la cantidad de luz emitida por la fuente de luz que "cae" sobre una superficie determinada. Se mide en el Sistema Internacional en luxes y en el Sistema inglés en pies-candelas.

En el espacio construido es la cualidad que da forma y calidad a la composición espacial. Es capaz de controlar la intensidad de los extremos visuales en crescendos de luz y sombra que puede revelar y esconder capaz de un espacio complejo. Este principio es de gran practicidad e importancia fenomenológica en el diseño de iluminación arquitectónica, mientras que permite navegar y realizar actividades en el espacio.

Finalmente no hay que olvidar que el término iluminancia se refiere a la cantidad de luz o energía que cuando se administra en los niveles apropiados asegura la calidad de vida pero cuando lleva a los extremos puede causar daño al recipiente. Por estas razones el cuidadoso control de la iluminación es esencial para proveer visibilidad, seguridad, y satisfacción emocional.

VISIBILIDAD

La luz es el medio principal a través de cual nos enganchamos con nuestro alrededor.

El aspecto cuantitativo del diseño de iluminación llama a

acomodar una variedad de actividades en diferentes espacios. La ausencia de luz es una herramienta poderosa. En una luz disminuida la respuesta fisiológicas de los ojos cambia en orden de procesar niveles bajos de luz y entonces lo que percibimos pasa por una transformación visual. La retina, la capa neural del ojo aloja dos tipos de células foto-receptores, conos y bastones, que procesan diferentes intensidades y ondas de luz en señales neuronales y después en imágenes en el cerebro.

Los bastones son sensibles a los cambios de intensidad de luz, mientras que los bastones, que trabajan mejor en luz brillante, son sensibles al color. Como cambian los niveles de luz, la actividad de los conos y bastones, es entonces lógico pensar que las imágenes que vemos en luz baja difieren de las que se podrían ver en una luz brillante. Entonces, en la oscuridad los ojos se acostumbran a los bajos niveles de luz y en las sombras se descubre una nueva relación que redefine las maneras en las que percibimos nuestro alrededor.

En los ambientes arquitectónicos, la luz puede proveer una visibilidad bienvenida pero también puede sobrestimular la visión o cegar. El cuidadoso control de los niveles de iluminancia a través de las trayectorias espaciales es crucial en asegurar la continuidad visual y espacial y el confort y la habilidad de las personas de ver.

LUMINANCIA

Es la propiedad que cuantifica la intensidad de luz emitida por una determinada superficie. En palabras más sencillas, la cantidad de luz que se desprende de los objetos se mide en footlambert o candelas por metro cuadrado. Las razones de luminancia entre las distintas superficies describen la

diferencia en brillo entre dos objetos o áreas en un ambiente dada. Yuxtaposiciones de niveles de luminancia el uso de variaciones de contrastes se puede usar para dar un sentido de jerarquía y de dirección del espacio.

El brillo y la luminancia son dos conceptos que van de la mano y muchas veces se confunden. Mientras que la luminancia es una medición objetiva de la luz por unidad de área el brillo es una sensación subjetiva que las personas tienen al ver un objeto o superficie. Una superficie con altos niveles de luminancia parecerá brillante mientras que una superficie de baja luminosidad aparecerá más oscuro .

Por ejemplo, una lámpara que brilla sobre una pared blanca producirá una luz de más alta luminancia, que la misma lámpara brillando sobre una pared negra aunque el contraste percibido será menor en una pared blanca que en una pared negra como se muestra en las imágenes.

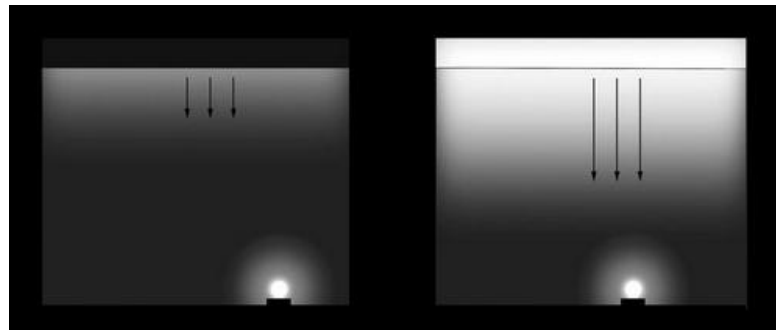


Ilustración B- 1 Comparación de luminancia entre una pared negra y blanca Fuente: Architectural lighting design

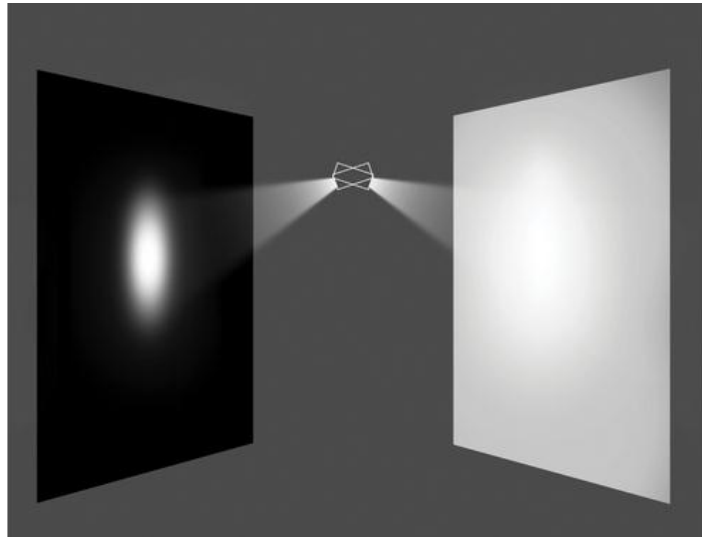


Ilustración B- 2 Contraste de luminancia entre una pared negra y una pared blanca

Similarmente una lámpara que brilla sobre una pared blanca con acabado mate produce una luz de mayor luminancia que una, igualmente blanca brillando sobre un acabado pared de blanca de acabado brillante, porque la superficie dispereja de la pared mate dispersa la luz en diferentes.

Tal vez uno de las ideas mas poderosas en el diseño de iluminación, es que las superficies o **los objetos en sí mismos pueden convertirse en una fuente secundaria de luz**

APÉNDICE C APARATOS LUMÍNICOS

LÁMPARAS



Ilustración C- 1 Temperaturas de color en el espectro de luz visible

Una lámpara eléctrica *es un componente reemplazable diseñado para producir luz utilizando energía eléctrica*. Estos componentes, se conecta eléctricamente a la luminaria por una base fabricada de un material conductor. No solo por la necesidad de reemplazar una lámpara, ya que su vida útil es limitada, sino para facilitar la comercialización las lámparas y el diseño de luminarias se han estandarizado en cuanto a tamaños y formas físicas así como de las bases conectoras

Aparte de la forma y tipo de base, existen estándares que ayudan a comparar lámparas unas con otras y facilitar la selección. Estos son:

- Temperatura de color (TC).- El color de la luz expresado en Kelvins.

Antes de comenzar propiamente con la explicación del color de la luz, es necesario explicar la radiación de un cuerpo negro; este es el que absorbe toda la radiación electromagnética que pasa por él, como no existe un cuerpo negro perfecto todos los objetos emiten radiación (luz) entonces, se dice que la intensidad y propiedades espectrales de un radiador de cuerpo negro dependen *únicamente* de su temperatura. La temperatura de color de una fuente luminosa es la temperatura de a la cual un cuerpo negro tendría que estar para producir el mismo color que el de la fuente. Por ejemplo el carbón es normalmente negro pero al estar muy caliente se vuelve rojo. De esta manera la temperatura de color de la luz se determina por una

comparación entre el color de un cuerpo negro a determinada temperatura y el color de la luz. El cuerpo negro conforme se va calentado va de rojo a blanco y finalmente a azul.

Al color de luz que una fuente emite se le asigna el número de la temperatura en grados Kelvin que el cuerpo negro tiene al irradiar luz de ese color, seguido de la letra K. por ejemplo la luz de una lámpara incandescente es normalmente de 2700 K, es decir a los 2700 grados Kelvin. A continuación una gráfica para ilustrar este concepto

La temperatura de color de la luz, es importante en el diseño de iluminación arquitectónica ya que diferentes colores, producen diferentes sensaciones y efectos psicológicos sobre las personas. Esto se desarrollará más adelante en el capítulo de iluminación arquitectónica.

- Índice de reproducción cromática (IRC).- De acuerdo a IESNA \square es el valor del desplazamiento del color resultante en los objetos cuando se les aplica una fuente de luz. Es decir es la calidad con la que los colores se ven bajo una fuente determinada. Se expresa en por ciento. Una lámpara con el 100% de IRC reproduce el 100% del infinito de colores.
- Eficiencia de la lámpara.- De nuevo, de acuerdo a IESNA \square , es el flujo luminoso total dividido por la potencia consumida por la lámpara expresado en lúmenes por Watt [l/W] e indica cuánta energía se transforma en luz y cuánta en otro tipo de radiación (por ejemplo calor).
- Vida nominal.- IES la define como la vida asignada a un tipo determinado de lámpara, es normalmente un estimador estadístico de la media de la vida operativa. Normalmente se publica en catálogos de las lámparas, es importante recalcar que no es la vida útil total de la lámpara sino el punto en el que 50% de las lámparas muestra en un estudio fallaron. Este

dato es un indicador de la frecuencia en la que las lámparas deben sustituirse por nuevas. Sirve como apoyo para programar operaciones de mantenimiento.

Hasta no hace mucho, los documentos especializados en iluminación manejaban la existencia de dos grandes familias de lámparas. La incandescencia y la descarga. Sin embargo, es conveniente ampliar **este criterio y señalar una nueva familia: el estado sólido o LED's**. Estos se han usado como componentes electrónicos por décadas, pero no es sino hasta hace relativamente poco tiempo, durante la década de **los 2000's, que comenzaron a aplicarse en iluminación arquitectónica** porque que los niveles de iluminancia que producían anteriormente eran muy bajos, para poder utilizarse en iluminación arquitectónica.

INCANDESCENCIA

Básicamente es la misma tecnología que la inventada por Edison a la que, como vimos en la tabla de evolución de la lámpara, solamente se le hicieron pequeñas modificaciones a través de los años. Se trata de un filamento encapsulado en un bulbo de vidrio, por el cual se hace circular una corriente. Al calentarse el filamento comenzara a irradiar energía luminosa. Su bajo costo, luz brillante y la familiaridad que representa para las personas, han hecho de estas lámparas quizás las más populares ante el público en general, sin embargo su eficiencia y tiempo de vida es bajo en comparación con otras tecnologías y es por esta razón que los consumidores están cambiándolas.

Sin embargo, gracias a que en general su índice de reproducción cromática es alto son ideales para aplicaciones donde la fiel presentación de los colores sea importante, por lo cual su aplicación y uso son aún extensos.

LÁMPARAS DE DESCARGA

Las lámparas de descarga son una alternativa forma de producir luz de manera mucho más eficiente que las lámparas incandescentes. La luz se consigue por excitación de un gas sometido a descargas eléctricas entre dos electrodos. Dependiendo del gas que exista en la lámpara y la presión a la que se encuentre, las características que tenga la luz que se emite, será diferente.

Existen cinco grandes sub-familias de lámparas de descarga y estas son:

Lámparas de descarga de vapor de Mercurio
Lámparas de descarga de vapor de Sodio
Lámparas de descarga de halogenuros metálicos
Lámparas de descarga de Xenón
Lámparas de luz mixta

Funcionamiento general

En el interior del tubo se producen descargas eléctricas como consecuencia de la diferencia de potencial entre los electrodos. Estas descargas provocan un flujo de electrones que atraviesa el gas. Cuando uno de ellos choca con los electrones de las capas externas de los átomos les transmite energía y pueden suceder dos cosas:

- Que la energía transmitida sea lo suficientemente alta para sacar al electrón de su orbital. Este a su vez puede chocar con los electrones de otros átomos, repitiendo el proceso. Sí este proceso no se limita, se puede provocar la destrucción de la lámpara por un exceso de corriente.
- Que el electrón no reciba suficiente energía para ser arrancado y solo pase a ocupar un orbital de mayor energía. El electrón al ser

inestable vuelve a su situación inicial liberando energía en forma de radiación electromagnética principalmente ultravioleta o visible. Como un electrón no puede ocupar un estado energético; cualquier la longitud de onda emitida será proporcional a la diferencia de energía entre los estados iniciales y final del electrón, no a un infinito de estados, por esto es que el espectro es discontinuo y su capacidad de reproducir colores no es tan buena como el de las lámparas incandescentes.

En general, para que una lámpara de descarga opere correctamente, es necesario la presencia de elementos externos: cebadores y balastos. De estos se hablará más adelante en este capítulo, pero en términos generales, son dispositivos que proporcionan el pico de voltaje en los electrodos para que comience la descarga y limitan la corriente durante la operación de la lámpara. Cabe aclarar, que a diferencia de las lámparas incandescentes no tienen un IRC del 100%, o sea, no reproducen todos los colores debido a que solo emiten energía en algunas frecuencias.

ESTADO SÓLIDO

Los leds simple y llanamente son diodos, es decir, dispositivos semiconductores, pero que pueden convertir la energía eléctrica en luz.

El desarrollo del LED se puede dividir en tres etapas: El led rojo, el led azul y el led blanco. Los LEDs rojos y verdes se desarrollaron por décadas para aplicaciones en la electrónica, sin embargo su falta de brillantez y características monocromáticas no los hicieron populares en el campo de la iluminación. En 1993 el japonés Shuji Nakamura desarrolló un LED que es capaz de producir luz azul desde Nitrato de Galio, lo que representó un parte aguas en la evolución de los LEDs, ya que poco después fue posible fabricar LEDs blancos en 1997 y por lo tanto contar con todo el espectro de colores. Esto ha hecho a

Nakamura junto con [Isamu Akasaki](#), [Hiroshi Amano](#) recibieron el Premio Nobel de física en 2014

Familia	Tipo	Material	Eficacia de la lámpara [Lm/W]	Eficacia del circuito	Potencia [W]	Vida promedio [hr]	Temperatura de Color [K]	Grupo CIE	IRC
Incandescencia	Incandescente	Filamento de tungsteno	7-14	7-14	15-500	1,000	2,700	1A	99
		HV Tung Halogeno	16-22	16-22	25-200	20,000	2800-3100	1A	99
		LV Tung Halogeno	12-27	10-25	5-150	2000-5000	2800-3100	1A	99
Descarga	Alta intensidad de descarga	Sodio de baja presión SOX	100-200	85-166	18-180	16,000	N/A	N/A	N/A
	Tubo fluorescente	Cátodo frío	70-00	60-00	25-40	35-50000	2800-5000	1A - 2	85-90
		Halofosfato (T8 & T12)	32-86	13-77	15-125	10,000	3000-6500	2-3	50
		Trifósforo (T5 & T8)	75-104	71-104	4-80	20,000	2700-6500	1A y 1b	85-98
	Fluorescente compacto	Trifósforo	40-87	33-74	5-80	10,000	2700-5400	1B	85-98
	Fluorescente compacto con balastro	Trifósforo	30-65		3-23	15,000	2,700	1B	85
	Fluorescente de inducción	Trifósforo	65-86	60-80	55-150	60,000	2700-4000	1B	85
	Alta intensidad de descarga	Sodio de alta presión	75-150	60-140	50-1000	28,000	1900-2300	2 y 4	23-60
	Alta intensidad de descarga	Mercurio de alta presión	32-60	25-56	50-1000	24,000	3300-4200	2 y 3	31-57
	Alta intensidad de descarga	Aditivos metálicos (cuarzo)	60-120	44-115	35-2000	3,000-15,000	3000-6000	1A 2	60-93
	Aditivos metálicos (cerámica)	87-35	71-82	20-50	9,000-12,000	3000-4200	1A 2	80-92	
Estado solido	LEDS	Materiales semiconductores	4-5-150	N/A	1-100	50,000			

Eficacia de la lámpara indica como la lámpara convierte la corriente eléctrica en luz, se expresa en lúmenes por Watt (Lm/W)

Eficacia del circuito toma en cuenta las pérdidas de energía por cualquier aparato de control usado para operar las lámparas, también se expresa en Lm/W

Vida promedio de las lámparas es el tiempo en el cual 50% de las lámparas de una instalación muestra fallaron.

Temperatura de color es una medida de que tan frío o caliente se presenta la fuente de luz. Siempre se expresa en Kelvin (K)

Grupos CIE (Comisión Internacional de Iluminación) de reproducción cromática A Excelente 1B muy bueno 2 bueno 3 satisfactorio 4 pobre

CRI Índice de reproducción cromática que va de 0-100 donde el valor máximo lo da la luz de día, es el porcentaje del total del espectro electromagnético que emite esa lámpara y por lo tanto los colores que se pueden ver

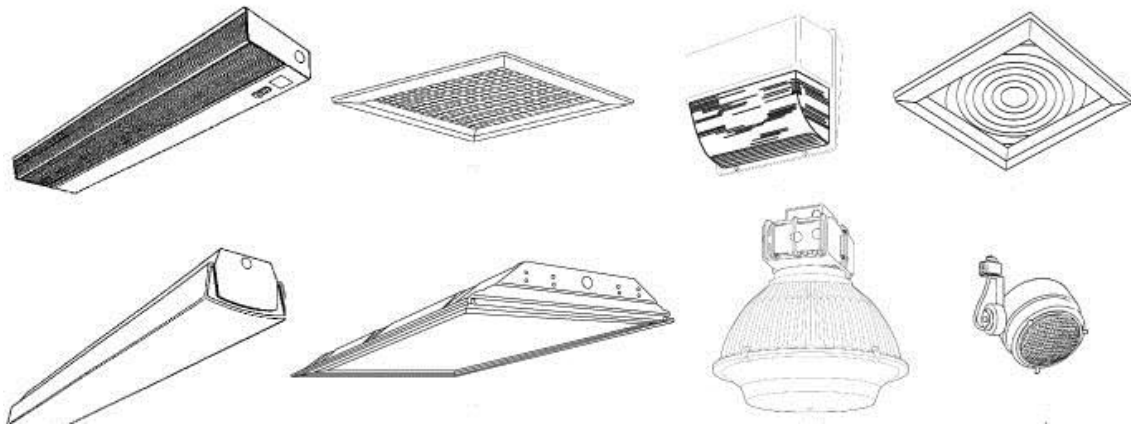
LUMINARIAS.

La IESNA define una luminaria como: *una unidad completa de iluminación consistente en una lámpara o lámparas con las partes diseñadas para distribuir la luz, para sostener y proteger la(s) lámpara(s) y para conectar las lámparas a la red eléctrica*□.

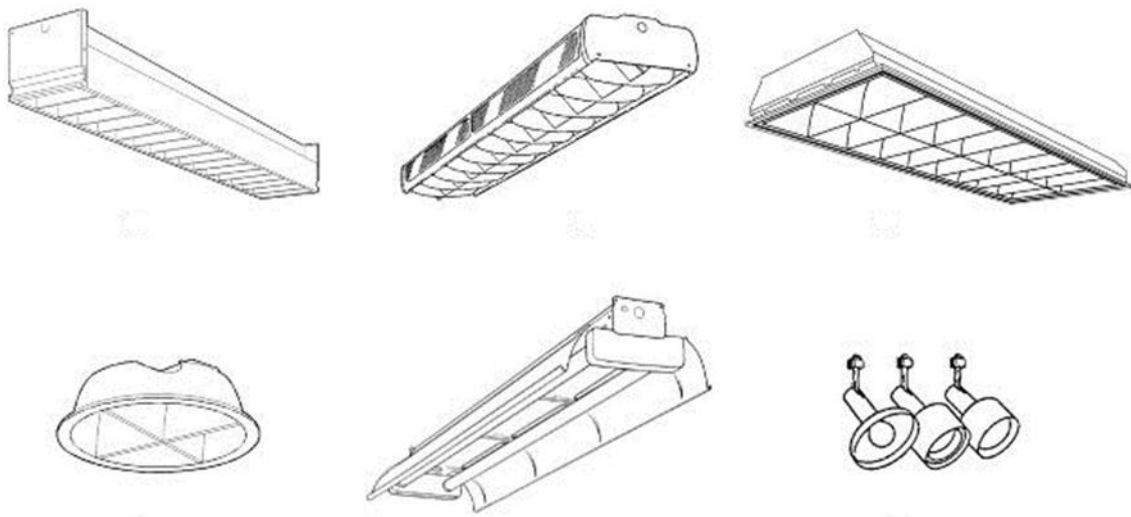
Durante este capítulo hemos estudiado a las lámparas y como estas son “responsables” de características importantes en el diseño de cualquier sistema iluminación como son eficiencia, color de la luz e intensidad luminosa.

Por otro lado, las luminarias son responsables de cómo la luz se distribuye y de controlar la iluminancia así como de proporcionar la conectividad eléctrica y mecánica para que la lámpara funcione correctamente, también tienen que ver con la eficiencia lumínica y energética resultante.

Para controlar o corregir la distribución de la luz, se utilizan distintos elementos como son reflectores, máscaras, filtros, difusores, lentes, etc. La Figura 2.14 muestra distintos reflectores en aplicaciones arquitectónicas, las figuras 2.15 y 2.16 hacen lo mismo para difusores y louvers respectivamente



Ejemplos de difusores



Ejemplos de louvers

Las luminarias pueden ser tan discretas o notorias como se requiera en el diseño del espacio arquitectónico. Entender cómo funciona una determinada luminaria es crítico para el correcto diseño de iluminación.

El diseño de una luminaria se debe hacer alrededor de una lámpara en específico, difícilmente una luminaria diseñada para una lámpara se ajuste a otra diferente sin alguna modificación y aun así es importante considerar que la distribución de la luz será diferente de lámpara a lámpara. Se puede decir que cada combinación lámpara/luminaria es

única e irrepetible.

Es posible clasificar las luminarias bajo diferentes criterios. El primero sería la lámpara que esta ocupa (halógeno, incandescente, fluorescente etc.). También se pueden clasificar de acuerdo a su montaje: suspender, empotrar, sobreponer en riel, postes y pedestales. Finalmente por la manera en la que distribuyen la luz, directa, indirecta o una combinación de estas dos