
REPUBLICA DE VENEZUELA
LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PARA GRADUADOS
MAESTRÍA EN ARQUITECTURA
MENCIÓN COMPUTACIÓN

**CÁLCULO LUMINOTÉCNICO
AUTOMATIZADO EN
ESPACIOS INTERIORES**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
MAGISTER SCIENTIARUM

REALIZADO POR:
ARQ. JOSÉ ANTONIO INDRIAGO ALVARADO

TUTOR:
ARQ. PABLO LA ROCHE

MARACAIBO, JUNIO 1998

**BIBLIOTECA
DEL I.F.A.**

14-10-99.

R. 5628

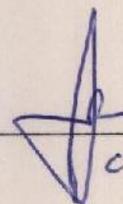
**CÁLCULO LUMINOTÉCNICO
AUTOMATIZADO EN
ESPACIOS INTERIORES**

APROBACIÓN DEL JURADO

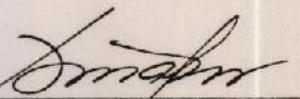
Este jurado aprueba el Trabajo Especial de Grado titulado **Cálculo Luminotécnico Automatizado en espacios Interiores**, que el Arq. José Antonio Indriago Alvarado, presenta ante la División de Estudios para Graduados de la Facultad de Arquitectura, de La Universidad del Zulia, en el cumplimiento de los requisitos de ley, para optar al título de Magister Scientiarum, de la Maestría en Arquitectura, mención Computación.

Maracaibo, junio 1998

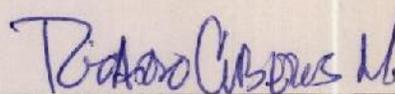
JURADO :



C.I. 7601738



C.I. 5.177.085



C.I. 7608.636

DEDICATORIA

DEDICATORIA

A mi esposa, Mayra

y a mis hijos, José Antonio, José Andrés y Mayra Alejandra
por su amor y paciencia.

A mis padres, José Antonio y Mercedes
por todo el apoyo recibido.

**BIBLIOTECA
DEL I.F.A.**

AGRADECIMIENTO

AGRADECIMIENTO

Un especial agradecimiento al Arq. Pablo La Roche, por el apoyo y la ayuda prestada durante la elaboración de este trabajo, además, por confiar en la posibilidad de realizar el trabajo de investigación.

INDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL

TOMO I	Página N°
Página de Aprobación del Trabajo.....	iii
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice General.....	ix
Índice de Tablas.....	xiv
Índice de Figuras.....	xvi
Resumen.....	xx
Introducción.....	xxii
1. Definición del Problema de la Iluminación Artificial en Espacios Interiores...	1
1.1. El problema.....	2
1.2. Objetivos.....	3
1.3. Justificación de la Investigación.....	4
1.4. Fundamentación y viabilidad.....	6
1.5. Aplicabilidad de los resultados de la Investigación.....	7
2. Acondicionamiento Ambiental en Arquitectura.....	8
2.1. El Problema Energético y la Arquitectura.....	9
2.2. Características Climáticas de la ciudad de Maracaibo.....	11
2.3. Variables que inciden en el Confort Ambiental en las Edificaciones.....	12
2.4. Arquitectura Bioclimática e Innovación Tecnológica.....	17
2.5. Medio Ambiente, Arquitectura y Sistemas de Información.....	19
2.6. Iluminación Artificial, Energía y Medio Ambiente.....	21
2.7. Breve Historia de la Electricidad en Maracaibo.....	27
3. La Iluminación en el Acondicionamiento Ambiental.....	30
3.1. La Luz como Elemento de Diseño.....	33
3.1.1. Diseñar para los sentidos.....	33
3.1.2. Iluminación de edificios.....	34
3.1.3. Variedad.....	34
3.1.4. Luminosidad y Oscuridad.....	35
3.1.5. Selección de materiales.....	36
3.1.6. El color.....	37
3.2. Luz Natural.....	37
3.2.1. Ventajas de la iluminación natural.....	39
3.2.2. Ventajas psicológicas de la luz natural y la visión.....	39
3.2.3. Apariencias bajo condiciones naturales.....	40
3.2.4. Desventajas de la Luz Natural.....	40
3.3. Iluminación Artificial.....	42

3.3.1. Ventajas de la Luz Artificial.....	43
3.3.2. Desventajas de la Luz Artificial.....	44
3.4. Investigaciones Actuales sobre la Iluminación Artificial y su Futuro...	45
4. Visión y Iluminación.....	53
4.1. La Naturaleza de la Luz.....	55
4.1.1. Luz.....	55
4.1.2. Iluminación - Iluminancia.....	56
4.1.3. Flujo Luminoso.....	57
4.1.4. Rendimiento Luminoso.....	58
4.1.5. Intensidad Luminosa.....	58
4.1.6. Luminancia.....	59
4.1.7. Distribución luminosa (Curva Fotométrica).....	61
4.2. El Proceso de la Vista.....	61
4.3. Como se realiza la Visión.....	64
4.4. Relaciones entre Luz y Visión.....	67
4.5. Leyes fundamentales de la Luminotecnia.....	72
4.5.1. Ley de la inversa del cuadrado de la Distancia.....	72
4.5.2. Ley del Coseno.....	74
4.5.3. Ley de Lambert.....	75
4.6. Fuentes de Luz Artificial.....	76
4.6.1. Características generales de la fuente de luz.....	77
4.7. Lámparas Incandescentes.....	77
4.7.1. Partes de una bombilla incandescente.....	79
4.7.2. Clasificación de las lámparas incandescente.....	79
4.7.3. Problemas de servicio de las lámparas incandescentes.....	81
4.7.4. Ventajas y desventajas de la lámparas incandescentes.....	82
4.8. Lámparas Fluorescentes.....	83
4.8.1. Clasificación de las Lámparas fluorescentes.....	84
4.8.2. Aplicación de las lámparas fluorescentes.....	86
4.8.3. Ventajas y desventajas de las lámparas fluorescentes.....	86
4.9. Lámparas de Descarga de Alta Intensidad.....	87
4.9.1. Aplicación de la lámparas de Descarga de alta densidad.....	88
5. Diseño del Alumbrado de Espacios Interiores.....	89
5.1 Instalaciones de Iluminación.....	90
5.2 Clasificación de la Iluminación.....	90
5.3 Control Óptico.....	94
5.4. El Diseño del Alumbrado.....	96
5.4.1. Realizar el inventario de las condiciones dadas.....	96
5.4.2. Establecer las metas de diseño.....	98
5.5. Integración de Luz Natural y Luz Eléctrica (PSALI).....	103
5.6. Iluminación Artificial en Edificaciones en el Trópico.....	106

5.7. El problema Térmico.....	107
5.8. Costo de las Instalaciones de Iluminación.....	108
Conclusiones.....	110
Glosario.....	114
Referencias Bibliográficas.....	134
Otra Bibliografía Consultada.....	139
 TOMO II	
Índice General.....	iii
Índice de Tablas.....	viii
Índice de Figuras.....	x
6. Cálculo de Iluminación Artificial.....	1
6.1. Método de los Lúmenes.....	4
6.2. Cálculo por el Método de la Cavidad Zonal.....	8
6.3. Cálculo de la Relación de la Cavidad del Cuarto en Espacios Irregulares.....	18
6.3.1. Espacios irregulares con paredes rectas.....	18
6.3.2. Espacios Circulares.....	18
6.3.3. Otras forma lineales con diferentes altura de pared.....	18
6.3.4. Techos no Horizontales en forma de Túnel.....	19
6.3.5. Techos Semi - Circulares.....	19
7. Diseño del Sistema de Información para el Cálculo Luminotécnico Automatizado para Espacios Interiores	20
7.1. Necesidad del análisis y diseño del Sistema de Información Luminotécnico.....	22
7.2. Objetivos del Sistema.....	23
7.3. Condiciones para la realización del Sistema.....	24
7.4. Funciones del Sistema.....	24
7.5. Componentes del Sistema de Información.....	27
7.5.1. Componentes físicos del sistema.....	27
7.5.2. Componentes lógicos del sistema.....	29
7.5.3. Componente Data.....	30
7.5.3.1. Datos que están presentes dentro del sistema.....	30
7.6. Modelo Conceptual del Sistema.....	33
7.6.1. Fases de Sistema.....	34
8. Construcción de la herramienta para el Cálculo Luminotécnico Automatizado para Espacios Interiores.	41
8.1. Selección del Método de Cálculo.....	42
8.2. Alcances.....	43

8.3. Objetivos.....	43
8.4. Diseño de la herramienta.....	44
8.4.1. Selección de la herramienta de diseño.....	44
8.4.2. Procedimientos del sistema.....	45
8.5. Funcionamiento del Programa.....	57
8.6. Descripción de la Herramienta.....	62
8.7. Bases de Datos de la Herramienta.....	74
Conclusiones.....	78
Referencias Bibliográficas.....	81
Anexo 1 - Tablas para el Cálculo Luminotecnico.....	86

INDICE DE TABLAS

*BIBLIOTECA
DEL I.N.A.*

ÍNDICE DE TABLAS

	Pagina N°
TOMO I	
TABLA 1 : DATOS CLIMÁTICOS MEDIOS DE MARACAIBO.....	12
TABLA 2 : ASPECTOS A TOMAR EN CONSIDERACIÓN PARA LOGRAR EL ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL.....	15
TABLA 3 : CRITERIOS DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL Y OPTIMIZACIÓN DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS EN LAS EDIFICACIONES.....	16
TABLA 4 : ANTECEDENTES QUE HAN INCIDIDO EN EL AUMENTO DEL CONSUMO ELÉCTRICO EN EL ZULIA.....	22
TABLA 5 : FUENTES LUMINOSAS.....	31
TABLA 6 : DISTINTOS VALORES APROXIMADOS DE ILUMINANCIAS.....	57
TABLA 7 : FLUJO LUMINOSO DE ALGUNAS LÁMPARAS.....	57
TABLA 8 : RENDIMIENTOS LUMINOSOS DE ALGUNAS LÁMPARAS	58
TABLA 9 : VALORES APROXIMADOS DE LUMINANCIAS.....	60
TABLA 10 : CONTRASTE DE COLORES EN ORDEN DECRECIENTE	70
TABLA 11 : ANÁLISIS DE COSTOS DE UNA INSTALACIÓN DE ALUMBRADO.....	109
TOMO II	
TABLA 12 : DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL CÁLCULO Y DISEÑO DE ILUMINACIÓN.....	3

INDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE FIGURAS

TOMO I	Página N°
FIGURA 1: RELACIÓN DE CONSUMO/ELECTRODOMÉSTICOS SUSCRIPTOR RESIDENCIAL.....	23
FIGURA 2: ANÁLISIS DEL CONSUMO RESIDENCIAL.....	24
FIGURA 3: SUSCRIPTORES POR RANGO DE CONSUMO RESIDENCIAL.....	26
FIGURA 4: LA ILUMINACIÓN COMO FACTOR ESENCIAL EN EL DISEÑO DE ESPACIOS.....	33
FIGURA 5: VARIEDAD EN EL USO DE LA ILUMINACIÓN.....	35
FIGURA 6: LA ILUMINACIÓN COMO FACTOR ESENCIAL EN EL DISEÑO DE ESPACIOS.....	36
FIGURA 7: EJEMPLOS DE SOLUCIONES DE SISTEMAS PASIVOS PARA ILUMINACIÓN.....	38
FIGURA 8: CONFIGURACIÓN DE DIFERENTES INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN INDIRECTA DE ALTA EFICIENCIA.....	49
FIGURA 9: IMÁGENES COMPUTARIZADAS DE INVESTIGACIONES CON ILUMINACIÓN ARTIFICIAL REALIZADA POR LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE MÉXICO.....	52
FIGURA 10: DESCOMPOSICIÓN DE LA LUZ.....	55
FIGURA 11: GRÁFICO SIMPLIFICADO DE INTERPRETACIÓN DE LA ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA.....	56
FIGURA 12: ÁNGULO SÓLIDO. RELACIÓN ENTRE FLUJO LUMINOSO, INTENSIDAD LUMINOSA E ILUMINANCIA.....	59
FIGURA 13: SÓLIDO FOTOMÉTRICO DE UNA LÁMPARA INCANDESCENTE.....	61
FIGURA 14: COMPARACIÓN ENTRE EL OJO Y LA CÁMARA.....	62
FIGURA 15: PARTES DEL OJO.....	63
FIGURA 16: SENSIBILIDAD RELATIVA DEL OJO EN DIFERENTES RADIACIONES DE LONGITUD DE ONDA.....	65

FIGURA 17: DESLUMBRAMIENTO DIRECTO.....	71
FIGURA 18: DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO LUMINOSO SOBRE DISTINTAS SUPERFICIES Y APLICACIÓN DE LA LEY DE LA INVERSA DEL CUADRADO DE LA DISTANCIA.....	73
FIGURA 19: INVARIABILIDAD DE LA LUMINANCIA CON EL ÁNGULO DE INCIDENCIA.....	76
FIGURA 20: TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LA PRODUCCIÓN DE LUZ EN UNA LÁMPARA INCANDESCENTE.....	78
FIGURA 21: PARTES DE UN LÁMPARA FLUORESCENTE.....	84
FIGURA 22: LÁMPARA DE MERCURIO DE DESCARGA DE ALTA INTENSIDAD.....	88
FIGURA 23: DISTRIBUCIÓN DE LUZ DIRECTA.....	92
FIGURA 24: DISTRIBUCIÓN DE LUZ SEMIDIRECTA.....	92
FIGURA 25: DISTRIBUCIÓN DE LUZ SEMIDIRECTA.....	93
FIGURA 26: DISTRIBUCIÓN DE LUZ SEMI-INDIRECTA.....	93
FIGURA 27: DISTRIBUCIÓN DE LUZ INDIRECTA.....	94
FIGURA 28: MÉTODOS DE CONTROL DE LUZ Y CONTROL DE LUZ EN UNA INSTALACIÓN FLUORESCENTE.....	95
FIGURA 29: CLARIDAD VISUAL.....	100
FIGURA 30: ESPACIALIDAD.....	101
FIGURA 31: RELAJACIÓN.....	102
FIGURA 32 : PRIVACIDAD.....	103
FIGURA 33: EFECTO DE PSALI EN UNA OFICINA Y ESQUEMA DE UN DISEÑO PSALI.....	105
TOMO II	
FIGURA 34: PLANTA DE OFICINA Y DISTRIBUCIÓN DE LUMINARIAS.....	7
FIGURA 35: CAVIDADES ZONALES DE UN HABITACIÓN.....	8

FIGURA 36: DISTRIBUCIÓN DE LUMINARIAS EN EL ESPACIO PROPUESTO.....	17
FIGURA 37: ACTIVIDAD FUNDAMENTAL DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN.....	22
FIGURA 38: ESQUEMA DEL PROCESO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN.....	25
FIGURA 39: ESQUEMA CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE CÁLCULO LUMINOTÉCNICO AUTOMATIZADO	35
FIGURA 40: FLUJOGRAMA DEL SISTEMA PARA EL CÁLCULO AUTOMATIZADO PARA ESPACIOS INTERIORES PROPUESTO.....	46
FIGURA 41: DIAGRAMA DE FLUJO DE DATOS DEL SISTEMA DE CÁLCULO LUMINOTÉCNICO AUTOMATIZADO PARA ESPACIOS INTERIORES.....	56
FIGURA 42: PANTALLA DEL PROGRAMA VISUAL BASIC.....	57
FIGURA 43: PANTALLA CON FORMA O VENTANA.....	59
FIGURA 44: CAJA DE HERRAMIENTAS VISUAL BASIC 5.0.....	60
FIGURA 45: FORMA CON OBJETOS.....	60
FIGURA 46: CAJA DE PROPIEDADES.....	61
FIGURA 47: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN.....	62
FIGURA 48: MÚLTIPLES DOCUMENTOS Y FICHEROS.....	63
FIGURA 49: FICHAS PARA DATOS E INFORMACIÓN.....	64
FIGURA 50: FICHAS DE DATOS DEL PROYECTO.....	65
FIGURA 51: DATOS DEL LOCAL.....	66
FIGURA 52: DATOS DE LAS CAVIDADES.....	67
FIGURA 53: DATOS DE LA LUMINARIA.....	68
FIGURA: 54: FICHA DE LUXES.....	69
FIGURA 55: DISTRIBUCION DE LUMINARIAS.....	70

FIGURA 56: FICHA DE COSTOS.....	71
FIGURA 57: FORMA DE INICIO DEL PROGRAMA.....	72
FIGURA 58: FORMA ACERCA DE.....	73
FIGURA 59: FORMA DE AYUDA.....	73
FIGURA 60: FORMA DE GLOSARIO.....	74
FIGURA 61: PANTALLA DE MICROSOFT ACCESS.....	75
FIGURA 62: EJEMPLO E BASE DE DATOS: LOCAL.....	77
FIGURA 63: EJEMPLO DE BASE DE DATOS: REFLEXIÓN.....	77

RESUMEN

RESUMEN

INDRIAGO A, José A. Cálculo Luminotécnico Automatizado en Espacios Interiores. Trabajo especial de Grado para optar al título de Magister Scientiarum, Maracaibo: División de Estudios para Graduados de la Facultad de Arquitectura, La Universidad del Zulia, junio de 1998.

En Venezuela existen pocas herramientas o sistemas de computación, desarrollados en el país, adaptados al medio, y de uso generalizado, que asistan al diseñador en el área de Acondicionamiento Ambiental. Por otra parte los arquitectos e ingenieros no están acostumbrados, al uso sistemático de herramientas apropiadas para el cálculo de iluminación artificial en espacios interiores.

Por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo, elaborar un sistema de computación, para asistir al arquitecto en el diseño de espacios adecuadamente iluminados, usando luz artificial incandescente o fluorescente, tomando en cuenta las condiciones de iluminación natural y artificial de la ciudad de Maracaibo.

La aplicación está centrada en mejorar la calidad del diseño de espacios arquitectónicos, elevando la productividad de las actividades para los cuales fueron proyectados. El sistema se desarrolla dentro de la plataforma IBM o compatibles (PC), y bajo el ambiente operativo de ventanas (Windows).

La herramienta funciona evaluando datos del espacio arquitectónico a iluminar, como: ancho, largo y alto, reflexión de las superficies del local, datos de las cavidades zonales, características de las luminarias y luxes necesarios en el espacio según su actividad, que son introducidos por el usuario u obtenidos de la base de datos que tiene el programa. Utilizando estos datos el sistema calcula y genera resultados, los cuales indicaran alternativas para resolver la situación planteada.

Uno de los principales criterios de diseño del sistema, es su facilidad de uso, para que sea de utilidad, en el proceso de diseño arquitectónico y en la enseñanza de la Iluminación Artificial en espacios interiores, permitiendo a los diseñadores tomar decisiones adecuadas, relacionadas con la percepción de espacios y los efectos ambientales, que se pueden lograr con un adecuado diseño de Iluminación y en general con este aspecto del Acondicionamiento Ambiental.

Además, en el trabajo se profundizan los conocimientos en torno al Acondicionamiento Ambiental, y la importancia de la iluminación en la arquitectura, y su repercusión en costos de energía y su impacto en el medio ambiente.

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCION

Existe, en la ciudad de Maracaibo y en Venezuela, carencia de herramientas automatizadas, que asistan al diseñador de espacios arquitectónicos, en procesos de cálculo y diseño de algunas etapas del proyecto, que pueden tornarse complejos y tediosos, por la gran cantidad de información y múltiples variables que en éstas intervienen, creando dificultad para resolver adecuadamente los problemas de diseño planteados.

Muchos de estos procesos son factibles de automatizar, ya que su metodología manual es secuencial y organizada, con uso extensivo de fórmulas y tablas de datos, que permiten su estudio y preparación como sistemas de información, que pueden ser mejorados con el uso del computador en muchas de las etapas del proceso. Y este es el caso del cálculo y predimensionamiento de la iluminación artificial en espacios arquitectónicos interiores.

El objeto de este trabajo es analizar, una de las variables más complejas del diseño arquitectónico, como es la Iluminación artificial, construyendo el prototipo computarizado de una herramienta, en la plataforma de IBM o compatibles y bajo en ambiente de Windows, por medio del lenguaje de programación, Microsoft Visual Basic versión 5.0, que asista al diseñador en el predimensionamiento luminotécnico adecuado de espacios interiores, ayudando ha resolver un problema, que además de ser técnico o de decoración, es un problema biológico y de las personas.

Además, de ampliar los conocimientos respecto a la iluminación y la problemática del aumento del gasto y el despilfarro energético, debido al inadecuado e injustificado uso de la iluminación artificial, que a su vez trae consecuencias negativas al medio ambiente. Sirviendo como base, para profundizar en los principales aspectos de la iluminación artificial en espacios interiores, e indagar sobre el estado del arte en torno a éste tema.

La elaboración de la herramienta ha tenido como punto de partida, el estudio profundo de los aspectos que intervienen en el proceso de la luz y la visión, lo que nos proporciona los insumos necesarios para conocer su impacto en el hombre (biológicamente, fisiológicamente y fisiológicamente) y sus consecuencias en las

características formales, espaciales y ambientales de los espacios arquitectónicos.

Las bases teóricas de este trabajo han sido tomadas de un trabajo previo, o fase anterior de investigación, titulado "Fundamentos teórico-prácticos de la iluminación artificial para el cálculo luminotécnico automatizado en espacios interiores", que fue presentado como informe final de investigación del Programa de Formación Académica, y que recoge los fundamentos teóricos y conceptos básicos de la iluminación, que ahora sirven de marco teórico para la elaboración de la herramienta propuesta.

El objetivo principal, de este trabajo de grado, como ya ha sido expresado, es materializar esta teoría y los métodos manuales de cálculo, aportando un análisis de sistemas de información, que permita elaborar un instrumento, que además de aporta soluciones técnicas, permita que el diseñador aprenda conceptos e ideas en torno a la luminotecnia.

Aunque, es difícil expresar en algoritmos, la subjetividad humana, los sentimientos y la creatividad, el prototipo tiene como premisa, tener un sistema de ayudas y sugerencias que ilustren al diseñador, y le aporten conocimientos que le ayuden a realizar mejores propuestas arquitectónicas, adecuadamente acondicionadas, en este aspecto ambiental vital para el ser humano.

Además se elabora un sistema que permite su actualización y anexión de nuevos módulos, con otras variables ambientales, para conformar un paquete integral de asistencia al profesional de la arquitectura y la ingeniería.

Es importante, expresar, que aunque existen programas de cálculo de iluminación en otras partes del mundo, la herramienta propuesta, trata de adaptar las necesidades de nuestro entorno y proporcionar un instrumento de fácil uso y educativo, que provea al usuario, además de las alternativas del diseño de iluminación, información interesante con respecto al tema.

Este trabajo servirá de apoyo para la realización de otras investigaciones en el área, y podrá ser usado por docentes y estudiantes, como guía en el proceso de enseñanza - aprendizaje, de éste importante aspecto del diseño arquitectónico y del acondicionamiento ambiental.

Además, será de utilidad en la Sección de Acondicionamiento Ambiental de Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura de la Universidad del Zulia, ya que maneja conceptos teóricos y prácticos básicos sobre bioclimática y luminica, factores primordiales para el confort ambiental, y se uniría a otros programas de diseño bioclimático, como, BICLIMA Y ASICLIMA, que sirven de herramientas de apoyo al docente y al investigador.

El estudio se dividió en dos tomos con ocho capítulos que analizan los principales conceptos y métodos de luminotecnia, para lograr comprender la importancia de la adecuada iluminación para el hombre, y que explican la elaboración de la herramienta computarizada.

En el primer capítulo se realiza una introducción al problema de la iluminación, presentándose las razones por lo cual se elabora el presente estudio.

El segundo capítulo servirá para comprender la importancia y las variables que inciden en el acondicionamiento ambiental en espacios interiores, además de estudiar el problema del uso indiscriminado de la energía, las características climáticas de la ciudad de Maracaibo y conocer algunas experiencias en el ahorro en iluminación, en otros países.

En el tercer capítulo se estudia la importancia de la luz como elemento de diseño, sus ventajas y desventajas, se analizan investigaciones actuales y futuras en el área de luminotecnia.

En el cuarto capítulo se analizan los principales aspectos de la iluminación y la visión, la naturaleza de la luz, el proceso de la vista, las leyes fundamentales de la luminotecnia y las principales características de las fuentes de luz artificial.

En el quinto capítulo, se estudian los aspectos teóricos de diseño del alumbrado eléctrico en espacios interiores, el problema térmico de la iluminación, algunos sistemas de integración de luz natural y artificial, para minimizar costos y ganancias de calor, además de la estimación de costos de instalaciones de alumbrado.

El sexto capítulo analiza los métodos manuales y prácticos, tablas y ecuaciones para el predimensionamiento y cálculo de iluminación.

El séptimo capítulo trata sobre el diseño del sistema de información para el cálculo luminotécnico automatizado para espacios interiores, las condiciones para la realización

del programa, sus funciones, los principales procesos y componentes del sistema.

El octavo capítulo explica como se construyó la herramienta, analizando los procedimientos que permitieron la elaboración del programa de cálculo luminotécnico computarizado.

Es importante concluir que el estudio realizado, permitió ampliar conceptos desconocidos para muchos diseñadores, actualizar conocimientos, e indagar sobre el estado del arte en torno a la iluminación artificial. Se analizaron métodos de cálculo luminotécnico, que permitieron su estructuración como sistemas de información efectivos para su fin.

Además, se pudo organizar el método escogido para utilizar sistemas de computación, que permitieran estructurar una herramienta adecuada para el cálculo y predimensionamiento de iluminación artificial.

Primer Capitulo

DEFINICION DEL PROBLEMA DE LA
ILUMINACION ARTIFICIAL EN
ESPACIOS INTERIORES

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE LA ILUMINACIÓN ARTIFICIAL EN ESPACIOS INTERIORES

1.1 EL PROBLEMA

Son múltiples las variables que influyen en el Acondicionamiento Ambiental de los edificios. Una de estas variables es la Iluminación Artificial, la cual tiene una importante repercusión en el confort de los espacios arquitectónicos e influye en otros aspectos que intervienen en el diseño de los ambientes que habita el ser humano.

La iluminación, sea natural o artificial, tiene la función de dotar del medio necesario, la luz, para que el aparato perceptivo de imágenes, el ojo, funcione permitiéndonos tener contacto con el entorno que nos rodea y así poder realizar nuestras actividades.

Pero, así como la iluminación nos ayuda a efectuar la visión, su inadecuado uso y diseño, puede traer consecuencias negativas para el confort ambiental de las edificaciones. Entre los problemas más importantes del mal uso de la iluminación artificial están:

- El aumento de la temperatura interior dentro de los ambientes.
 - Despilfarro de energía eléctrica, con un mayor costo para los usuarios.
 - Mayor consumo de combustibles fósiles (recursos naturales no renovables).
 - Problemas de deslumbramiento en ambientes arquitectónicos.
 - Baja productividad, falta de autoestima, baja de la moral y desinterés, por una disposición inadecuada de la iluminación, o por niveles muy bajos o excesivos de luz.
 - Problemas de interacción con otros servicios de dotación y acondicionamiento de la edificación como: ventilación, aire acondicionado, control acústico, prevención de incendios y distribución espacial.
 - Gran cantidad de información manejada, múltiples pasos y ecuaciones, y uso de tablas en el cómputo y diseño luminotécnico, por lo cual la mayoría de las veces el cálculo de la iluminación de los espacios no es realizada, sino estimada de
-

manera aproximada y empírica.

Estas dificultades permitieron decidir realizar un trabajo de investigación, que permitiera profundizar sobre el adecuado uso de la Luminotecnia en espacios interiores, además de elaborar una herramienta computacional que aligere los cálculos y asista al diseñador.

1.2. OBJETIVO GENERAL

Elaborar una herramienta automatizada, para el diseño y evaluación lumínica artificial en espacios arquitectónicos interiores.

1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- A. Estudiar los métodos de cálculo luminotécnico, para el posterior desarrollo y aplicación de Sistemas de Información con uso del computador, para la generación de un programa para el Cálculo Luminotécnico Automatizado para espacios interiores.
 - B. Actualizar los conocimientos en torno al diseño y cálculo de iluminación artificial en espacios interiores.
 - C. Diseñar un prototipo de carácter experimental, capaz de asistir al arquitecto, ingeniero, profesionales afines y estudiantes, en el cálculo y evaluación luminotécnica de espacios interiores, utilizando luminarias incandescentes y fluorescentes, acelerando una actividad que consume tiempo de diseño y análisis, que maneja una considerable cantidad de variables y formulas, para lograr el ahorro de esfuerzo, dinero y tiempo.
 - D. Desarrollar una herramienta automatizada, que pueda ser utilizada en la actividad de enseñanza (función didáctica), donde el usuario se entrene en los conceptos básicos del diseño luminotécnico en espacios arquitectónicos interiores.
-

-
- E. Estudiar la incidencia en la ganancia térmica (confort ambiental), de los espacios arquitectónicos interiores, de la iluminación artificial, en la ciudad de Maracaibo.

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El Acondicionamiento Ambiental es una de las actividades más importantes en el diseño de edificaciones, esto permite una adecuada realización de las actividades dentro de los ambientes de los edificios

Entre las variables fundamentales para lograr el adecuado Acondicionamiento Ambiental, está la iluminación, ya sea natural o artificial, de los espacios arquitectónicos interiores.

El trabajo se realiza, en el marco de la Sección de Acondicionamiento Ambiental, del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura, de la Universidad del Zulia. Esta sección se ha dedicado al estudio de los problemas de Acondicionamiento Ambiental relacionados con la térmica, y con este proyecto se abre una nueva línea de investigación dentro del área, en el aspecto lumínico.

Por otra parte, la investigación permitirá aplicar los conocimientos adquiridos en la docencia, mejorando la calidad de la información transmitida, ya que uno de los objetivos del trabajo, es conocer el estado del arte del tema estudiado.

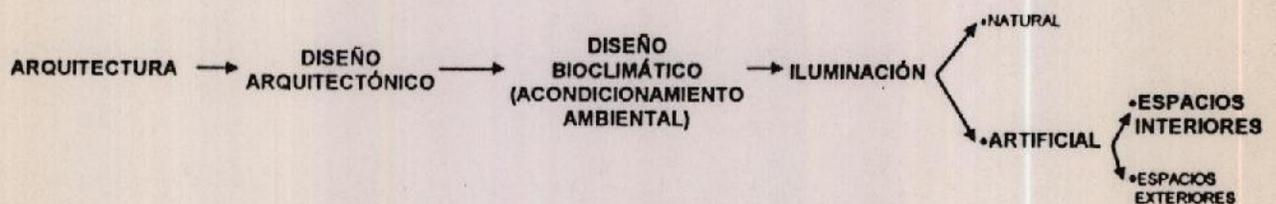
Esto influyó en la decisión de buscar información respecto al tema y profundizar en los conocimientos sobre el cálculo, diseño y la enseñanza de la Iluminación en espacios arquitectónicos.

Otra de las causas por la cual es necesaria esta investigación, es el desconocimiento casi total sobre Iluminación, por parte de los profesionales de la Arquitectura, de la ciudad de Maracaibo.

Al mismo tiempo, se ha observado que no existe en Venezuela, y concretamente en Maracaibo, herramientas que asistan al arquitecto en el diseño adecuado de iluminación. Que lo ayuden a resolver las implicaciones de costo y gasto energético, problemas que acarrea su diseño deficiente, así como la importancia de la iluminación, como parte del

ambiente, para la visualización, definición y percepción del espacio y para el manejo de efectos de sombras, contrastes, texturas y la correcta definición de los colores.

El estudio a realizado está centrado, en ésta etapa, en diseñar una herramienta automatizada para el cálculo luminotécnico en espacios interiores. Si bien es cierto que el diseño de la iluminación en ambientes interiores se debe plantear como una interacción de la iluminación natural y artificial, para efectos de acortar esta investigación, el tema se subdividió, estudiando solo lo relacionado con la iluminación en espacios interiores:



En etapas posteriores se podrán incluir otros módulos para el cálculo automatizado de iluminación natural e iluminación artificial en espacios exteriores.

La herramienta tiene como objetivo automatizar el proceso de predimensionamiento y los métodos de cálculo de iluminación, para que el proyectista obtenga el control luminotécnico de los espacios arquitectónicos interiores.

El estudio pretende analizar los diversos métodos de cálculo y diseño de iluminación, para determinar cual es el apropiado para ser automatizado.

El sistema debe generar alternativas de diseño, determinar el número de luminarias y su disposición modular, verificar valores de iluminación sobre el plano de trabajo, elaborar los cálculos métricos con la oferta económica, generar gráficos y tablas con la información de los cálculos obtenidos y las especificaciones técnicas de la luminaria y la red eléctrica.

1.4. FUNDAMENTACIÓN Y VIABILIDAD

Como fue comentado en el punto anterior, la investigación se basa en la importancia del adecuado acondicionamiento ambiental de los espacios diseñados para el ser humano. En este estudio se hará énfasis en el uso apropiado de la luminotecnica para el confort visual y la cómoda realización de las actividades dentro de las edificaciones.

Además el sistema de computación servirá para la evaluación de edificaciones construidas y ayudará al arquitecto, ingeniero, diseñador de interiores, al estudiante, a elaborar una propuesta apropiada.

El programa estará adecuado a los equipos, los costos y condiciones de diseño en Venezuela, ya que, aunque existen programas similares en Europa (por ejemplo, Reggiani Spa Illuminazione, Italia), y en Estados Unidos, las condiciones ambientales, de diseño y los aparatos son diferentes a los usados en nuestro país.

También, es importante, conocer que, a partir de un correcto diseño, se puede ahorrar energía, lo que incide en la economía, reduciendo el costo de la electricidad y de las instalaciones, además, se evitan los problemas que surgen de las deficiencias o excesos de iluminación, que incidirán en la productividad de los usuarios de los espacios, afectando el desarrollo social y económico del país.

- Viabilidad de las fuentes de información: existe suficiente información escrita en las bibliotecas de la Universidad del Zulia e información especializada en el World Wide Web (INTERNET), donde se consiguen textos, gráficos y algunos programas (demostraciones) de computación. Con esta información se pudo realizar la revisión bibliográfica para al investigación.
 - Viabilidad de personal: la recopilación de información y diseño de la herramienta, se realizó con estudiantes de la licenciatura en computación, quienes ayudaron en al construcción de la herramienta, guiados por el arquitecto responsable del trabajo, con el conocimiento teórico y practico sobre iluminación y arquitectura.
 - Viabilidad de materiales: se cuenta con la infraestructura física y técnica del
-

Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura, de la Universidad del Zulia, además de tener los equipos de computación y el software de programación y diseño con lo cual se realizo el trabajo.

1.5. APLICABILIDAD DE LOS RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN.

Los resultados de este trabajo podrán ser incorporados directamente al sector productivo, por los arquitectos, dentro del proceso de diseño. El sistema será una herramienta utilizada por diseñadores para el adecuado cálculo y diseño de Iluminación en edificaciones, permitiéndoles mejorar la calidad del proyecto y mejorar la calidad de vida de los usuarios. Además de tener aplicación inmediata en el área de la enseñanza en el ámbito técnico y universitario.

Segundo Capitulo

ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL
EN ARQUITECTURA

**BIBLIOTECA
DEL I.F.A.**

2. ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL EN ARQUITECTURA.

2.1. EL PROBLEMA ENERGÉTICO Y LA ARQUITECTURA

Es evidente que el despilfarro de energía y la contaminación producida por el inadecuado diseño de edificios, son problemas que traen consecuencias ambientales a corto, mediano y largo plazo.

Cuando hablamos de un diseño inadecuado, nos referimos a edificios que no están adaptados al medio o contexto donde están emplazadas, y que necesitan mecanismos anexos o sistemas complementarios (ventilación mecánica, iluminación artificial, entre otros), para lograr los niveles de confort básico, para que el hombre pueda realizar sus actividades.

En las últimas décadas los arquitectos se han olvidado del aprovechamiento de energía, en la construcción de edificios, debido principalmente, a la existencia de gran cantidad de energía barata.

Además, existen ciertos aspectos ideológicos del movimiento moderno y del movimiento postmoderno en arquitectura, que también contribuyeron a este olvido.

En los años 20 y 30, el Funcionalismo establecía que la forma del edificio, debía reflejar las actividades que en él se realizaban, todo esto sin tomar en cuenta las condicionantes ambientales y el contexto, de esta manera, se diseñaba desde el interior, mostrando al espectador exterior, sus espacios y funciones internas, a través sus de formas externas, estructura y detalles de construcción.

También prevalecía la tendencia del diseño dominado por la ortogonalidad, que no tomaba en cuenta al clima, salvo la iluminación natural, para lograr efectos estéticos, o por salubridad, pero negando otros aspectos climáticos o geográficos de importancia. (Steadman, 1978: 15 - 17)

Otra corriente, en arquitectura, que niega la relación del edificio con el medio ambiente, es el Futurismo, que está basado:

“... en la creencia de la capacidad ilimitada de la tecnología moderna para producir electricidad barata y otras maravillas ilimitadas,.... Muchos de los

arquitectos ..., han estado deslumbrados por la tecnología, y por ello toda ética de conservación de energía y de control del medio ambiente ha sido ajena a la teoría y polémica arquitectónica hasta los últimos años.” (Steadman, 1978: 17)

En el movimiento postmoderno y el deconstructivismo, la tendencia hacia el formalismo y la mezcla de diferentes estilos arquitectónicos, o el High Tech, corriente que utiliza los nuevos avances tecnológicos en materiales y construcción, en muchas ocasiones niegan o imposibilitan la relación adecuada del edificio con el contexto y la utilización de medios naturales para el acondicionamiento ambiental.

El uso de mecanismos activos para acondicionar los edificios, implica un gasto extra de energía, que conlleva a un mayor consumo de combustibles fósiles como el petróleo, el carbón y el gas natural, recursos naturales no renovables, que, además, producen contaminación ambiental por los gases tóxicos y otros productos, que son emitidos al medio ambiente durante su utilización.

La posibilidad de agotamiento de las fuentes energéticas no renovables y las constantes crisis energéticas por los diversos conflictos que se han presentado en el Medio Oriente, aunado al aumento de las tarifas de los servicios de dotación de energía, han llevado a la reflexión, y “... al empleo más racional de la energía,... la búsqueda de nuevos recursos energéticos y al desarrollo de tecnologías alternativas ...” (Hinz, González, Quirós y De Oteiza, 1986: 13), para poder aprovechar fuentes inagotables de energía y, por consiguiente, lograr un mayor equilibrio con el ambiente y ahorro energético.

Otro grave problema es la carencia, en muchas oportunidades, de normativas en materia de construcción y urbanismo, que contribuyan a regular la calidad térmica y la eficiencia energética en los edificios.

Esto trae como consecuencia, la falta de control por parte de las instituciones encargadas de velar por la construcción urbana y edilicia, de la realización de “soluciones” arquitectónicas que no cumplan con un diseño apropiado, para minimizar la ganancia térmica y la utilización de los mecanismos pasivos necesarios para lograr el confort ambiental.

Y aunque esto se ha reiterado en muchos trabajos de diversos tipos, es conveniente

recordarlo por lo relevante del tema, pues parece que a los arquitectos y a otros profesionales, se les olvida al momento de diseñar y materializar los proyectos.

Sin embargo, a pesar de estos aspectos negativos para el ambiente y el hombre, existen muchos esfuerzos para usar fuentes de energía alternas y renovables, como la energía solar y la eólica.

Por otra parte, muchas escuelas de arquitectura en el mundo, están realizando esfuerzos y énfasis en la enseñanza y aprendizaje de una arquitectura adaptada al sitio y sus condicionantes naturales, que permita al hombre vivir en armonía con el entorno y con un mínimo gasto de energía.

2.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA CIUDAD DE MARACAIBO

La ciudad de Maracaibo, esta ubicada en el estado Zulia, en el extremo Nororiental de Venezuela, en América del Sur, en el hemisferio norte, cerca del ecuador (Latitud: 10° 39' latitud norte. Longitud : 71° 36' oeste), y se encuentra en una zona tropical, de altas temperaturas, consecuencia de la alta incidencia de los rayos solares (Bravo, 1995: s.p.). Además, se caracteriza por:

- Una altitud de 40 mts. sobre el nivel del mar.
- Escasas precipitaciones anuales.
- Vientos alisios predominantes del Nornordeste (NNE).
- Alta humedad relativa.
- Baja velocidad del aire.

Según la clasificación climática de J. F. Van Straaten, basado en la de W. Koppen, el clima de Maracaibo se puede catalogar como caliente: cálido húmedo, que concuerda con clasificaciones de otros autores como B. Givoni y Patrick Wakely. (Hinz, González, Quirós y De Oteiza, 1986: 13)

Maracaibo, como muchas otras localidades intertropicales, se caracteriza por una excesiva incidencia de los rayos solares, lo que trae como consecuencia altas temperaturas en espacios interiores y exteriores de los edificios, reduciendo las condiciones de confort

ambiental durante casi todo el año. (Quirós, 1995: s.p.)

Los datos climatológicos promedios de la ciudad de Maracaibo son:

TABLA 1 : DATOS CLIMÁTICOS MEDIOS DE MARACAIBO

VARIABLE CLIMATICA		VALOR MEDIO ANUAL
Temperatura		27,9 °C
Humedad Relativa		76 %
Presión de Vapor		21,4 mm/Hg
Vientos	Velocidad Promedio Dirección	3,2 m/s Nordeste - Nornordeste
Insolación	Horas (media)	7.4
Radiación		487 cal/cm. ² día
Precipitación Total		480 mm
Evaporación Total		1661 mm

Fuente : HINZ, Elke ; GONZÁLEZ, Eduardo ; QUIRÓS, Carlos ; DE OTEIZA, Pilar. *Proyecto Clima y Arquitectura*. México : Ediciones G. Gili, Vol. 1, Universidad del Zulia, Facultad de Arquitectura, Instituto de Investigaciones de Arquitectura y Sistemas Ambientales, 1986, p. 97.

La alta incidencia de los rayos solares obliga al arquitecto a diseñar considerando, con mucha importancia, el aspecto de la reducción de la ganancia térmica, y a utilizar mecanismos activos para mejorar las condiciones ambientales en los edificios. Y en esto se debe ser cuidadoso, ya que debe predominar el buen diseño sobre el uso de mecanismos que consuman energía, para lograr el equilibrio con el medio ambiente y evitar el excesivo gasto de energía.

2.3. VARIABLES QUE INCIDEN EN EL BIENESTAR AMBIENTAL DE LOS EDIFICIOS.

El ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL de los edificios, es uno de los aspectos importantes en el diseño arquitectónico, tanto en espacios interiores como exteriores.

Cuando hablamos de acondicionamiento ambiental, nos referimos a la acción de adecuar el ambiente para lograr el bienestar del hombre, dentro y fuera del edificio, en armonía con el entorno natural y urbano, en condiciones estables y agradables para realizar mejor sus actividades.

Para comprender un poco más lo que significa las palabras *acondicionamiento y ambiental*, estudiaremos algunas definiciones:

La Enciclopedia Interactiva Santillana (1995) define:

ACONDICIONAMIENTO : s. m.

1. Acción y efecto de acondicionar.
2. Sinónimos : Adecuación, adaptación, acomodación.

ACONDICIONAR : v. tr.

1. Arreglar, poner una cosa en las condiciones adecuadas.
2. Climatizar.
3. Sinónimos : Preparar, disponer, acomodar, adecuar, adaptar

AMBIENTAL : adj.

1. Referente al ambiente físico o las circunstancias que rodean a las personas, animales o cosas.

AMBIENTE : (del lat. *ambiens*, -entis, que rodea) adj.

1. Entorno propicio, agradable.
 2. Clima, medio, atmósfera.
 3. Ecología : *medio ambiente*: Conjunto de condiciones fisicoquímicas y biológicas que necesitan los organismos, incluido el ser humano, para vivir. Entre estas condiciones hay que tener en cuenta la temperatura, la cantidad de oxígeno de la atmósfera, la existencia o ausencia de agua, la disponibilidad de alimentos, la presencia de especies competidoras, etc. La conservación del medio ambiente es el conjunto de normas que tienden a evitar su contaminación, a alargar al máximo la existencia de los recursos naturales y a mantener el equilibrio de los ecosistemas, evitando la extinción de las especies animales y vegetales que los forman.
 4. Educación, Psicología, Sociología: *medio ambiente*: Cuando en las ciencias
-

humanas se habla de medio ambiente, éste incluye no sólo los factores fisicoquímicos y biológicos que afectan a la vida y su desarrollo, sino también otros aspectos característicos de la especie humana: históricos, culturales, políticos, científicos, tecnológicos, etc.

Respecto a estos conceptos, Curiel (1989: 94) expresa que “el término ambiente normalmente se asocia a los sistemas naturales y a los problemas de preservación cuando en realidad tiene una connotación más amplia y compleja.”, por lo cual es un término difícil de definir.

Además, agrega que “la expresión “acondicionamiento ambiental” tiene una connotación más operativa, se refiere a la facultad de adecuar cualquier acción humana a las particularidades de cada entorno”. (Curiel, 1989: 94)

El acondicionamiento ambiental, debe entenderse, no solo como “un problema ... de implicaciones climática - energéticas, sino, que debe verse como un problema de calidad ambiental global”. (González, 1995: 11)

Aunque el criterio principal para determinar el bienestar o confort bioclimático, esta expresado en “...el análisis del balance térmico de la edificación con su contexto climático...” (González, 1995: 6), el acondicionamiento ambiental puede definirse como la combinación de aspectos o criterios de diseño arquitectónico que permiten mejorar la calidad ambiental y utilizar racionalmente los recursos energéticos en las edificaciones. (González, 1995: 7)

Otro término de importancia, es el de *bioclimática*, concepto difundido por los hermanos Olgay, quienes desarrollaron la Carta Bioclimática, tratando de establecer “...un índice de bienestar térmico que integrara gráficamente las variables que lo afectan y los mecanismos correctivos necesarios para restablecer las condiciones de bienestar térmico”. (Hinz, González, Quirós y De Oteiza, 1986: 73)

La arquitectura bioclimática busca:

“...la realización consciente de edificaciones adaptadas a las condiciones climáticas para proporcionar a los usuarios ambientes térmicamente agradables, utilizando para ello la propia edificación y sus elementos constructivos, con un

consumo mínimo de energía". (Hinz, González, Quirós y De Oteiza, 1986: 71)

El Arq. Eduardo González, plantea que un adecuado acondicionamiento ambiental se logra integrando los siguientes aspectos que la caracterizan:

TABLA 2 : ASPECTOS A TOMAR EN CONSIDERACIÓN PARA LOGRAR EL ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL

Aspecto	Características
La calidad térmica	temperatura, temperatura radiante, radiación solar, humedad, velocidad del aire ...
La calidad acústica	niveles de ruido, reverberación ...
La calidad luminica	niveles de iluminación, reflejos, contrastes ...
La calidad visual	valores estéticos, elementos de importancia, uso de espacios, patrimonio cultural ...
La calidad funcional	equipamiento del espacio público, servicios ...
La calidad sanitaria	pureza del aire, contaminantes en el aire, olor, disposición de las aguas servidas, disposición de las aguas de lluvia ...

Fuente : GONZÁLEZ, Eduardo. Recomendaciones para el ahorro energético de edificaciones en Maracaibo e influencia del clima en las ordenanzas de diseño urbano. Taller - Seminario Arquitectura y Urbanismo en el Trópico. Maracaibo (Venezuela): Universidad del Zulia, Facultad de Arquitectura, noviembre 1995, p. 11.

Otro punto importante, es el apoyo que recibe la arquitectura bioclimática de otras ramas de la ciencia para lograr la información necesaria y asistir al diseñador; entre estas fuentes encontramos la termodinámica, la biomedicina, la meteorología, la fisiología, entre otras.

Estas refuerzan los conocimientos sobre los requerimientos internos y externos de la edificación, como las necesidades de las personas en aspectos sociales, psíquicos, antropométricas, térmicas, lumínicas, así como a las exigencias del contexto: económicas, culturales, climáticas, biosistémicas, geológicas energéticas, técnicas, entre otras. (Curiel, 1989: 94)

A continuación enumeramos algunas recomendaciones de diseño arquitectónico, para

lograr un mayor control sobre el problema de la ganancia térmica y ahorrar energía en los edificios, enfriadas o no mecánicamente:

TABLA 3 : CRITERIOS DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL Y OPTIMIZACIÓN DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS EN LAS EDIFICACIONES'

<p>Control de la radiación solar.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Protección de las aberturas <ul style="list-style-type: none"> - Utilización de protecciones móviles interiores o exteriores - Utilización de protecciones permanentes - Localización apropiada de vegetación • Utilización de vidrios especiales <ul style="list-style-type: none"> - Vidrios reflexivos - Vidrios absorbentes - Vidrios fotosensibles • Protección del edificio <ul style="list-style-type: none"> - Orientación - Enterramiento del edificio y aprovechamiento de la topografía - Utilización de la vegetación existente - Protecciones integrales • Protección del ambiente inmediato <ul style="list-style-type: none"> - Creación de condiciones microclimáticas favorables mediante el uso vegetación, sombra o una estructura urbana apropiada
<p>Control de las ganancias internas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir las ganancias debidas al sistema de iluminación <ul style="list-style-type: none"> - Utilización de iluminación natural vs. iluminación artificial - Utilización de iluminación artificial más eficiente • Reducir las ganancias debidas a la ocupación del espacio <ul style="list-style-type: none"> - Minimizar los aportes generados por las personas - Minimizar los aportes generados por equipos (eficiencia energética)

<p>Control del calor a través de la envolvente</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir las ganancias de calor por transmisión <ul style="list-style-type: none"> - Utilización de superficies reflectivas y emisivas (a,e) - Aislamiento térmico (R) - Inercia térmica - Relación superficie/volumen. Minimizar superficie de transmisión • Reducir las ganancias de calor por infiltración <ul style="list-style-type: none"> - Minimizar intercambios de aire exterior - interior cuando $T_e > T_i$ - Evitar la acumulación importante de humedad • Distribución apropiada de los espacios <ul style="list-style-type: none"> - Establecimiento de jerarquía de niveles de temperatura - Distribución por tiempos de ocupación (efecto de orientación y materiales)
<p>Utilización de medios naturales de enfriamiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Enfriamiento fisiológico <ul style="list-style-type: none"> - Movimiento del aire • Disipación del calor <ul style="list-style-type: none"> - Ventilación natural (gradientes de temperatura) - Enfriamiento del aire (evaporativo, conductos subterráneos) - Enfriamiento de la envolvente de la edificación <ul style="list-style-type: none"> ◦ Radiación nocturna ◦ Convección ◦ Conducción
<p>Utilización de fuentes alternas de energía</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas solares activos/pasivos de climatización, de calentamiento de agua... • Sistemas fotovoltaicos de generación de electricidad • Aprovechamiento del potencial eólico

Fuente : GONZÁLEZ, Eduardo. Recomendaciones para el ahorro energético de edificaciones en Maracaibo e influencia del clima en las ordenanzas de diseño urbano. Taller - Seminario Arquitectura y Urbanismo en el Trópico. Maracaibo (Venezuela): Universidad del Zulia, Facultad de Arquitectura, noviembre 1995, p. 11.

2.4. ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

Es sorprendente, que desde miles de años atrás, el hombre ha construido sus edificaciones publicas y viviendas en armonía con su entorno, aprovechando las condiciones ambientales del emplazamiento, especialmente el clima, acondicionando los espacios de manera que cumplieran "... ciertos requisitos para satisfacer diferentes tipos de

necesidades ..." (Hinz, González, Quirós y De Oteiza, 1986: 35), y entre ellas la de bienestar térmico.

Pero, actualmente, el uso inadecuado de los avances tecnológicos, y el desconocimiento de los aspectos climáticos del sitio y su efecto sobre los edificios, han llevado al hombre a diseñar y construir soluciones arquitectónicas inapropiadas y despilfarradoras de energía.

Entorno a este problema Curiel (1989: 94), expresa que:

"Cuando esta acción consiste en diseñar y construir edificaciones, el enfoque ambiental, holístico, global, resulta particularmente importante debido al número y a la diversidad de variables que intervienen en el proceso. La ausencia de tal perspectiva da lugar a respuestas limitadas en unos aspectos, hipertrofiadas en otros, pues responden precisamente a enfoques parciales. Son respuestas que se alienan al aspecto económico, o al formal, al productivo o al puramente técnico".

Steadman (1978: 19), también comenta lo siguiente:

"Un aspecto del actual sistema de funcionamiento de la arquitectura que ha hecho derrochar energía ampliamente - independiente de cualquier consideración estética o formal - consiste en la creciente complejidad tecnológica de la construcción y de la ingeniería de los servicios mecánicos de los grandes edificios modernos".

Esta situación a llevado a muchos investigadores en el área a redefinir sus trabajos, para utilizar las nuevas tecnologías en lograr el bienestar ambiental confortable, con un ahorro máximo de energía y en muchos casos retomando características arquitectónicas adecuadas al clima, de los edificios ancestrales, aprendiendo de las experiencias del pasado, para lograr un diseño en armonía con el entorno y el hombre.

Desafortunadamente el desarrollo tecnológico, en muchas ocasiones ha servido para solventar los errores, producto del diseño inadecuado o de las modas arquitectónicas establecidas en un momento dado.

En ocasiones, solo se consulta a un especialista sobre acondicionamiento ambiental, cuando el proyecto está en etapas avanzadas, por lo que el alcance de su asesoría es limitado, obligando al diseñador a utilizar tecnología y mecanismos adicionales para lograr

el bienestar térmico en la edificación, con el consiguiente gasto energético.

La idea es utilizar las nuevas tecnologías, en el área de la construcción, para apoyar el diseño adecuado de edificios, según las necesidades del usuario y las características del contexto.

Este enfoque conduce, según Curiel (1978: 96) a:

“... la innovación de “tecnologías apropiadas”, que de acuerdo a la definición establecida por el Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) son “aquel conjunto de técnicas organizadas en sistemas de producción y distribución en los cuales la naturaleza, calidad y cantidad de bienes son los más adecuados para cada contexto social, cultural y ecológico... las opciones tecnológicas deben definirse y seleccionarse dentro de criterios inspirados en el contexto específico de cada realidad particular...Las tecnologías apropiadas pueden ser al mismo tiempo modernas, tradicionales, empíricas, endógenas, exógenas, intermedias, suaves, duras, etc.”

Otro aspecto que ha surgido a raíz del avance científico tecnológico y su aplicación en la construcción, es la especialización, ya que la complejidad ha producido la división de las responsabilidades. Por esta razón, el arquitecto ha perdido la visión y el control total del proyecto, delegando trabajo a otros profesionales, que en muchas ocasiones no están compenetrados con el diseño, perjudicando en muchas ocasiones el concepto de unidad de un edificio. (Steadman, 1978: 19)

2.5. MEDIO AMBIENTE, ARQUITECTURA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN

Es evidente, entonces, que en el diseño y la construcción de edificaciones, se maneja gran cantidad de información, que de alguna manera debe ser canalizada, para poder ser utilizada con resultados adecuados.

Todo este flujo de información trae consigo un problema, como es el manejo de las múltiples variables que inciden de manera directa o indirecta sobre el edificio.

Esto se refiere a la recopilación, ordenamiento y análisis de la información, por lo cual se plantea la necesidad de crear sistemas de información que asistan al diseñador, y que le permitan simular con cierta precisión, la situación del entorno y sus características para que el diseño o producto responda adecuadamente al contexto donde estará

emplazado.

González de Kauffman (1995: 1), explica algunas razones por las cuales los arquitectos, en muchas ocasiones no toman en cuenta los factores ambientales y climáticos, para lograr el confort ambiental dentro de las edificaciones, razones que justifican el uso adecuado de herramientas automatizadas, como asistentes al diseñador:

- Cantidad y variedad de la información.
- Desconocimiento de la información.
- Dificultad para ubicar la información completa y necesaria.
- Falta de confianza, del arquitecto diseñador, en la información obtenida.
- Falta de experticia técnica del profesional para comprender y emplear cierta información con éxito (necesita la ayuda de un especialista en la materia).
- Temor de emplear en la indagación el tiempo disponible para el proyecto.
- Suposición de que el producto arquitectónico pueda encarecerse, si se diseña en función de las condicionantes climáticas.

Es posible, utilizando los avances tecnológicos actuales, sobre todo en computación, almacenar datos, cálculos y gráficos, de la mayoría de los aspectos físicos y ambientales externos (clima, topografía, geología) y necesidades internas del usuario (térmicas, lumínicas, antropométricas, acústicas), que inciden en el diseño de edificios y espacios exteriores.

Estos datos con un adecuado procesamiento, pueden ser de gran ayuda, en todo tipo de proyectos, sobre todo en los pequeños o medianos, que se tornen costosos con la intervención de profesionales especializados, sirviendo de asistentes, a los diseñadores.

Por supuesto, existen variables que en muchas oportunidades son difíciles de cuantificar y convertir en ecuaciones, como los aspectos sociales, culturales, económicos y psíquicos, pero, es aquí donde el empeño e ingenio del diseñador se pone de manifiesto, para dar una respuesta acorde a las necesidades planteadas.

Son muchas las ventajas que el uso de la computadora en los sistemas de información pueden ofrecer al arquitecto: reducir el tiempo para el cálculo de ecuaciones complejas,

elaboración de gráficas representativas de procesos, simulaciones bidimensionales o tridimensionales en tiempo de maquina o real, gran capacidad de almacenamiento, facilidad en la recuperación y transporte de la información, rápida edición de los planos y documentos.

Todo esto permite que el diseñador tenga mayor cantidad de tiempo, para dedicarse a la solución de los problemas y realizar un mejor producto.

2.6. ILUMINACIÓN ARTIFICIAL, ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE.

El principal aspecto para el adecuado acondicionamiento ambiental, como ya se ha comentado, es el confort térmico de los espacios del edificio, por lo que la mayoría de las investigaciones en el área se han centrado en resolver el problema de la ganancia térmica en los edificios.

Todos los cálculos de costo en refrigeración, de un edificio a construirse en ciudades con el clima de Maracaibo, comienzan definiendo la temperatura que deben mantener en el mismo para que resulte confortable.

La ASHRAE, la American Society of Heating, Refrigerating and Air - Conditioning Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado), estima que una temperatura entre 23 °C y 25 °C, proporciona condiciones térmicas confortables, y generalmente los arquitectos y diseñadores utilizan la media entre estos dos valores, 24 °C, para sus cálculos (Steadman, 1978: 52).

Mantener los espacios internos de un edificio en la zona de bienestar térmico, en Maracaibo, tiene importantes implicaciones en el diseño de edificios, ya que las altas temperaturas y humedad relativa, conllevan a respuestas arquitectónicas que incluyan soluciones de ventilación natural o mecánica, según se expresa en la Carta Psicrométrica o Carta Bioclimática para edificios, de B Givoni, aplicada al clima de Maracaibo.

Además, el exceso de rayos solares durante el día, implica el uso de protecciones solares y la posibilidad de cubrir de alguna manera los planos verticales, ya que la incidencia de estos sobre fachadas representa el mayor aporte de calor en los edificios.

Pero, "otra fuente "gratuita" de calor, aparte de la que proviene directamente de los

rayos solares, es la producida por la iluminación eléctrica. También como “sucede con el calor solar,... este calor es ... una carga adicional que tiene que combatir el aire acondicionado... “. (Steadman, 1978: 45).

El calor generado por la iluminación artificial, ha aumentado considerablemente en los últimos años, debido al aumento de los niveles o estándares de iluminación, sobre todo en oficinas, comercio, colegios y edificios públicos, y en consecuencia este calor debe ser combatido con ventilación, ya sea natural o mecánica, y esto incrementa el gasto de electricidad.

Además, existen en Venezuela, algunos antecedentes que han estimulado el aumento del consumo eléctrico, como:

TABLA 4 : ANTECEDENTES QUE HAN INCIDIDO EN EL AUMENTO DEL CONSUMO ELÉCTRICO EN EL ZULIA

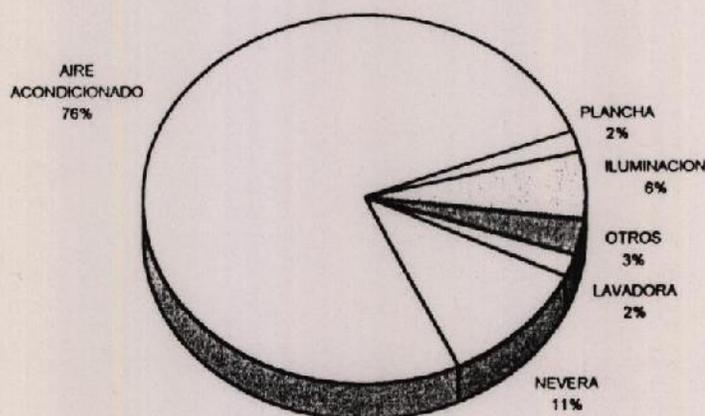
<ul style="list-style-type: none"> • Promoción del Consumo 	Existía un alto poder adquisitivo que aumentó la demanda de artefactos electrodomésticos y aumentó el consumo de electricidad.
<ul style="list-style-type: none"> • Tarifas Subsidiadas 	Históricamente las tarifas de electricidad han sido inferiores al costo real del servicio.
<ul style="list-style-type: none"> • Carencia de Normas 	No existen normas para regular: <ul style="list-style-type: none"> ° La eficiencia de los equipos eléctricos ° La calidad térmica de las construcciones
<ul style="list-style-type: none"> • Hábitos de Consumo 	La bonanza económica incidió en la instauración de hábitos de consumo basados en el derroche, contrarios a los principios de conservación.

Fuente : ENELVEN. El consumo de energía en el Zulia: Uso de la Electricidad para Iluminación. Conferencia sobre Optimización Energética en Iluminación. Maracaibo (Venezuela) : C. A. Energía Eléctrica de Venezuela, febrero 1997

La cantidad de energía usada para la iluminación artificial, en Maracaibo, es pequeña comparada con la que se utiliza con otros fines, sobre todo en el aire acondicionado, y esto puede ser observado en el consumo de los suscriptores del sector residencial de la C.A. Energía Eléctrica de Venezuela, ENELVEN. (Ver figura 1)

Pero, a pesar de que los estudios de ENELVEN indican que el consumo mensual promedio por iluminación es menor al 10 % (170 Kw/h) y estos mismos estudios demuestran que la cantidad de electricidad utilizada por el sector residencial, en Maracaibo, puede ser reducida, con el consecuente ahorro energético y ahorro en la facturación del usuario.

FIGURA 1: RELACIÓN DE CONSUMO/ELECTRODOMÉSTICOS SUSCRIPCIÓN RESIDENCIAL:



Fuente: ENELVEN - Consumo Total: 1.700 Kw/h

El consumo promedio del sector residencial es de 9765 kw/h/Susc/Año, el doble del consumo promedio en Venezuela y mucho mayor que algunos países suramericanos, lo que causa gran preocupación, por que mucha de esta energía es despilfarrada, debido al inapropiado uso de la misma. (Ver figura 2)

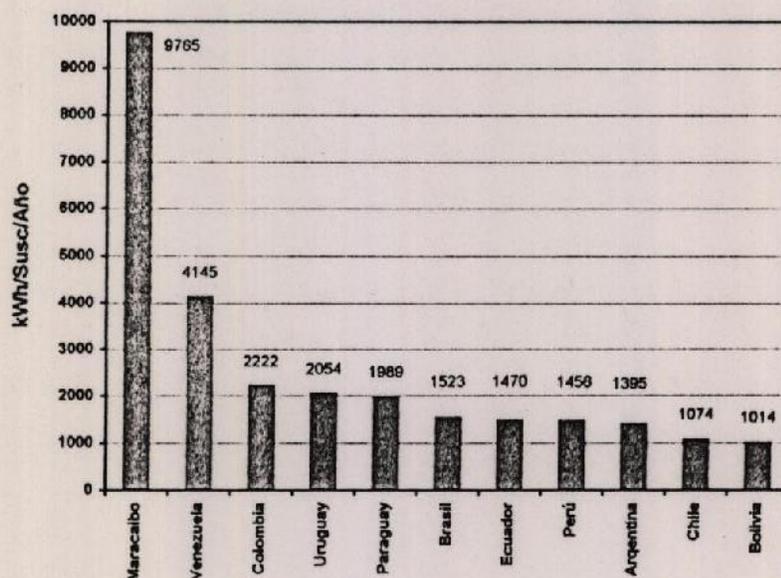
El porcentaje de reducción de consumo podría estar entre un 5 a un 25 %, dependiendo del renglón o tipo de electrodoméstico, y de su uso de manera racional y justificada. Ya que en muchas ocasiones locales comerciales dejan luces encendidas, por cuestiones de seguridad o para exhibición, incrementando el consumo, en muchas

ocasiones, sin un uso o actividad que lo justifique.

Además, la optimización energética en iluminación, reducirá considerablemente la cantidad de calor que generan las luminarias. Más adelante se explicaran algunos métodos y recomendaciones para el ahorro de energía en iluminación.

FIGURA 2: ANÁLISIS DEL CONSUMO RESIDENCIAL :

Comparación de consumo anual por
Suscriptor Residencial



FUENTE :ENELVEN. El consumo de energía en el Zulia: Uso de la Electricidad para Iluminación. Conferencia sobre Optimización Energética en Iluminación. Maracaibo (Venezuela): C. A. Energía Eléctrica de Venezuela, febrero 1997

En estudios realizados por ENELVEN, se determinan algunas características que justifican el ahorro energético en el renglón iluminación, y que nos llevan a pensar en la necesidad de estudiar los métodos de cálculo y de ahorro de energía, además de crear herramientas que ayuden al arquitecto a realizar un buen diseño luminotécnico en los espacios interiores de los edificios:

Características del uso de la iluminación eléctrica en el Zulia

- Aproximadamente el 85 % de la iluminación de ambientes en la región es de tipo incandescente.
- Existe un elevado sobredimensionamiento en los sistemas de iluminación residenciales y comerciales.
- En la región Zuliana se utilizan indiscriminadamente bombillos incandescentes de gran potencia (75 W y 100 W), sin tomar en cuenta criterios de confort, estética o ahorro de energía.
- Los sistemas de iluminación tienen un alto impacto en la carga térmica de los ambientes, lo que influye significativamente en el consumo de electricidad para el funcionamiento de aires acondicionados.
- La población no está informada acerca de las diversas alternativas existentes para la iluminación de ambientes.
- No se consideran criterios de eficiencia energética para la selección de los sistemas de iluminación.

FUENTE: ENELVEN El consumo de energía en el Zulia: Uso de la Electricidad para Iluminación. Conferencia sobre Optimización Energética en Iluminación. Maracaibo (Venezuela): C. A. Energía Eléctrica de Venezuela, febrero 1997

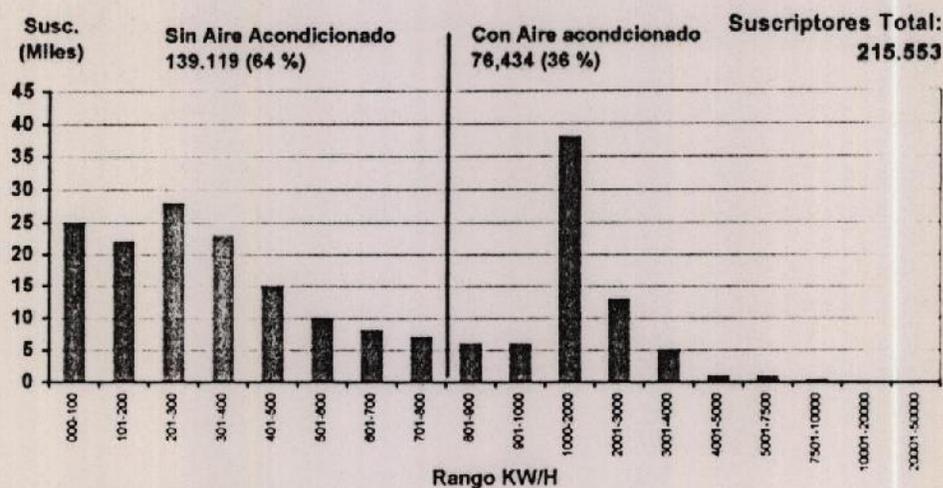
ENELVEN estima que la cantidad de energía eléctrica consumida en el ámbito nacional, por los sectores residencial y comercial es de un 40 % (casi la mitad de lo que se consume en el país), lo que representa un alto porcentaje, el sector industrial un 40 % y el resto a otros sectores y a pérdidas técnicas o no técnicas.

Otro dato interesante es que del 100 % de los suscriptores residenciales de Maracaibo, el 64 % no utiliza aire acondicionado y el 36 % si lo usa, pero este último porcentaje consume el 75 % de toda la energía que consume el sector. (Ver figura 3)

Para el sector que no posee aire acondicionado, se estima que el gasto por iluminación este alrededor del 20 o 25 %, igualmente, técnicos de ENELVEN calculan que el sector comercial consume mensualmente un 20 % en iluminación, observándose el

mayor consumo en locales de oficina y en locales comerciales que prestan servicios día y noche, pero no hay estudios oficiales sobre estos porcentajes.

FIGURA 3: SUSCRIPTORES POR RANGO DE CONSUMO RESIDENCIAL.



Fuente : DOE/ENELVEN. 1995

Aunque, con la iluminación no se realiza el mayor gasto energético, se están realizando actualmente campañas para la optimización energética en iluminación, ya que el ahorro que se pueda efectuar en cualquiera de los renglones de consumo y en cualquiera de los sectores o suscriptores que consumen energía eléctrica, contribuirá a la conservación de los recursos, al medio ambiente y al hombre.

Entre los esfuerzos realizados por ENELVEN están una serie de conferencias, sobre el adecuado uso de la energía eléctrica, recomendaciones para disminuir el consumo de energía eléctrica, mejorar la calidad térmica de las viviendas y optimización energética en iluminación dirigidas a profesionales y público en general.

El objetivo de estas charlas, es que los usuarios y sobre todo los diseñadores tomen conciencia sobre la problemática del aumento del gasto en energía, por el inadecuado uso de la electricidad.

Otra acción tomada por ENELVEN, es la de visita por parte de un experto en ahorro energético de la empresa, a los suscriptores residenciales cuyo consumo eléctrico esté en el

rango de 1000 y 3000 kw/h, para analizar su gasto y proponer recomendaciones para mejorar el uso de electrodomésticos y ahorro de energía.

El problema energético en Maracaibo, se ha agravado en los últimos dos años, produciéndose una serie de apagones, en ocasiones por sobrecarga de los sistemas de dotación de electricidad, y ENELVEN ha sido auxiliada por Colombia, conectándose al sistema de este país, cuando han surgido problemas de dotación eléctrica en la ciudad.

También es importante conocer, que, existen experiencias en el Caribe y América del Sur de programas ahorro en el consumo de energía, sobre todo en el área de iluminación, como el Programa de Sustitución de Lámparas Incandescentes por Lámpara Fluorescentes Compactas en la Isla de Guadalupe (Electricité de France), en 1992 y el Programa Peruano de Sustitución de Lámparas Incandescentes por Lámparas Fluorescentes Compactas, en 1995.

En el caso peruano, el aumento del consumo eléctrico y dificultades con el sistema de dotación de electricidad, impulsaron al gobierno a implementar de manera urgente una Campaña Nacional de Ahorro de Energía.

Con esto lograron en 1995, reducir el consumo en casi un 25 %, y dotar de energía eléctrica a 300.000 familias, además, evitaron el consumo de 560.000 barriles de petróleo y la potencial contaminación del medio ambiente, de componentes químicos derivados del uso de combustibles fósiles como el bióxido de carbono (CO₂), el bióxido de azufre (SO₂), NO₂ y partículas. (Romani, 1996: 37 - 39)

2.7. BREVE HISTORIA DE LA ELECTRICIDAD EN MARACAIBO

Antes de profundizar sobre los principales conceptos y métodos de cálculo de iluminación artificial, conoceremos un poco de la historia de la electricidad, en la ciudad de Maracaibo, esbozada como un resumen de un artículo del Lic. José Rubén Zorrilla (1989: 12-13).

Para celebrar el primer centenario del nacimiento del prócer zuliano Rafael Urdaneta, el gobierno regional organizó una serie de acciones para esta importante fecha. La prueba del Alumbrado Público, antes de su puesta en servicio oficial, se realizó el 23 de octubre de

1888, nueve años después de la invención de la bombilla eléctrica (1879), y luego de seis años de realizada la primera red de Alumbrado Público en Nueva York (1882), ambas efectuadas por Thomas Alva Edison.

La iniciativa fue de Jaime Felipe Carrillo, promotor de la industria eléctrica en Venezuela, que convirtió a Maracaibo en la ciudad pionera de esta actividad. Así fundó la Empresa de Alumbrado Eléctrico de Maracaibo, ubicada en un terreno provisional de 2235 metros cuadrados, en la Calle La Marina, hoy Avenida Libertador.

Posteriormente, en 1889, y con el respaldo de emprendedores ciudadanos marabinos y otros empresarios capitalistas holandeses y norteamericanos, funda la compañía, el 4 de julio de 1889, en la ciudad de Nueva York, con la razón social de The Maracaibo Electric Light Co.

A su llegada de Nueva York, Carrillo construye una edificación de dos pisos, donde se ubican las oficinas administrativas y algunos servicios como baños, carpintería, herrería, depósitos, entre otros. Así el 24 de octubre de 1889, se inaugura el edificio y el alumbrado incandescente, por resolución del presidente del Zulia Dr. Alejandro Andrade.

La compañía empezó con una primera planta de arco y cinco calderas. En 1912, Carrillo deja la superintendencia y la cede a José Antonio Parra Chacín, quien continuó agrandando la compañía. En 1916, la Maracaibo Electric Light Co, funcionaba solo de noche y a partir de ese año y gracias a la instalación de modernas turbinas, comenzó a trabajar de día, permitiendo el uso y desarrollo de actividades industriales y de utensilios domésticos.

En 1924, la Maracaibo Electric Light Co, es comprada por la Venezuela Power Company LTD, compañía canadiense, con experiencia y respaldo técnico, ya que tenía en funcionamiento otras plantas en América. En 1926, la Venezuela Power Company LTD, es transferida a la International Power Company y se había iniciado la construcción de la planta de La Arreaga.

En el año de 1928, llegan los primeros medidores y un año después, un grupo de zulianos funda la C.A. de Alumbrado y Fuerza Eléctrica, pero ésta empresa no tuvo iniciativa y fue comprada por la Venezuela Power Company. Como empresa pionera crece

y el 16 de mayo de 1940 que cambia la razón social a C.A. Energía Eléctrica de Venezuela (ENELVEN), como se le conoce hoy.

Actualmente, ENELVEN, además del desarrollo en el nivel de servicio, implementa campañas para el ahorro de energía, de modo que este servicio no repercuta en el gasto de los suscriptores y la electricidad sea utilizada racionalmente. ENELVEN, también contribuye con el financiamiento y apoyo a la investigación, y trabajos de maestría en el campo del uso eficiente de la energía, información sobre consumo por los usuarios, entre otros.

Tercer Capitulo

LA ILUMINACIÓN EN EL
ACONCIONAMIENTO AMBIENTAL

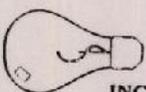
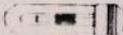
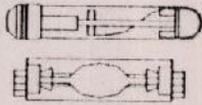
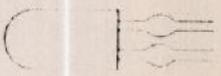
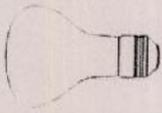
3. LA ILUMINACIÓN EN EL ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL

Desde los primeros tiempos, el hombre ha necesitado de la iluminación para realizar sus actividades. En su afán de poder ejecutar algunas labores en la noche o en sitios muy oscuros, el hombre ha utilizado y desarrollado diversas maneras de iluminar, desde los primeros usos de la luz solar, la evolución de las velas, las lámparas de aceite y gas, hasta la invención de la lámpara de incandescente.

Pero, ¿qué es la luz?, la luz es: "energía visible o si lo preferimos mejor, es una radiación luminosa emitida por la excitación de un cuerpo. Esta radiación al producirse en la zona de espectro visible nos permite ver objetos y colores". (OSRAM, 1992-1993: 4)

Existen dos tipos de iluminación: la natural y la artificial, y éstas a su vez se subdividen en dos grandes familias de fuentes luminosas, la incandescente y la luminiscencia. (Ver Tabla 5)

TABLA 5: FUENTES LUMINOSAS

	EMISION TERMICA	EMISION LUMINISCENTE	FOTOLUMINISCENCIA
FUENTES NATURALES	 <p>SOL</p>	 <p>RAYO</p>	 <p>LUCIERNAGA</p>
FUENTES ELECTRICAS	 <p>LÁMPARAS INCANDESCENTE</p>  <p>HALÓGENA</p>	 <p>LÁMPARAS DE DESCARGA</p>	 <p>DIODOS</p>
	 <p>LÁMPARAS DE LUZ MEZCLA</p>	<p>LÁMPARAS FLUORESCENTES</p> 	

FUENTE : OSRAM. Catálogo General de Luz. '92/93. Munich (Alemania), p. 4.

La iluminación artificial es de origen eléctrico. Las lámparas de filamento convencional o las halógenas producen la luz por incandescencia, como el Sol. Las de

descarga, aprovechan la luminiscencia, mientras que el diodo, utiliza la fotoluminiscencia al igual que la luciérnaga. (OSRAM, 1992-1993: 4)

Las lámparas fluorescentes y las lámparas de luz de mezcla (incandescentes + luminiscencia) aprovechan tanto la fotoluminiscencia como la luminiscencia. Estos conceptos serán explicados con detalles más adelante, en el desarrollo de trabajo.

Otros conceptos importantes que son convenientes conocer son *iluminación* y *luminotecnia*, los cuales la Enciclopedia Interactiva Santillana (1995) define:

Iluminación : (del lat. *illuminatio*, -onis) s. f.

1. Acción y efecto de iluminar.
2. Conjunto de luces que alumbran un lugar o que se ponen como decoración.
3. Cantidad de luz que hay o entra en un lugar.
4. Sin. : Alumbrado.

Alumbrado :

1. p.p. de alumbrar. También adj. || adj.
2. Conjunto de luces que alumbran un lugar. || s. m. y f.

Alumbrar : (del lat. *illuminare*) v. tr.

1. Dar luz, iluminar

Luminotecnia : (del lat. *lumen*, -inis, luz, y el gr. *tejne*, arte) s. f.

Técnica de la iluminación con luz artificial y de la aplicación de sus efectos con fines industriales y artísticos.

El Diccionario Práctico EASA (1976: 388) define:

Iluminar : tr. Alumbrar, dar luz.

Es conveniente comprender bien los datos fundamentales de la luminotecnia, revisando sus elementos esenciales: la luz y la visión, que es nuestra única manera de percibir las manifestaciones y los efectos. (Leblanc, Dourgnon, y Deriberé, 1963: 258)

3.1. LA LUZ COMO ELEMENTO DE DISEÑO

Como un material más para la construcción de una edificación, como el concreto, el ladrillo o el acero, la luz debe ser considerada como un elemento o factor de gran importancia en el diseño.

Así como es imposible armar las paredes sin una base estructural, esta misma pared no tendrá una existencia real a menos que corresponda una impresión sensual, percibida con los ojos y sentidos, y comprobada por nuestras mentes. (Phillips, 1964: 3)

FIGURA 4: LA ILUMINACIÓN COMO FACTOR ESENCIAL EN EL DISEÑO DE ESPACIOS.



FUENTE :ITURRA, Oscar, Final Year Interior Architecture, 1996

La importancia de la iluminación en los edificios ha sido fundamental desde el principio de la historia de la arquitectura. La luz natural determinaba en muchas ocasiones la apariencia externa de los edificios, y por medio de las ventanas o fenestraciones, se modelaban de maneras específicas los espacios interiores, según éstas lo permitieran.

Estas características son heredadas por la luz eléctrica, hoy día. Esto permite al arquitecto contar con dos útiles factores de diseño, la luz natural y luz artificial, según lo requiera.

Para un buen diseño de la iluminación de un edificio, el arquitecto podrá disponer de la luz natural en el día, para iluminar los espacios internos y en muchas oportunidades complementarla con luz eléctrica, y en la noche iluminar con luz artificial, suplementando a la luz natural.

Combinando apropiadamente estos dos factores es posible lograr el adecuado equilibrio, para obtener el confort lumínico, térmico y el ahorro energético, según las necesidades de los usuarios y buscando la mayor armonía con el medio ambiente.

Es importante, entonces, la enseñanza apropiada del manejo y diseño de la iluminación natural y artificial, a los futuros arquitectos, para que aprendan a utilizarla correctamente, integrándola con los demás materiales de construcción, como un factor intrínseco y esencial de los espacios y las formas de un edificio.

Hay que corregir el error que cometen algunas escuelas de arquitectura, al realizar un mayor énfasis, en cátedras de iluminación natural, dejando la iluminación artificial a las escuelas de ingeniería.

Esta situación puede ser negativa, pues la iluminación artificial puede proveer casi las mismas ventajas que la natural, para el espacio y la forma, sobre todo en habitaciones interiores donde es difícil iluminar naturalmente, o donde por razones climáticas se deba prescindir de la iluminación natural.

A continuación se presentan varios aspectos generales sobre la iluminación y el diseño de edificios, mencionados por Hopkinson y Kay (1972: 24), de gran interés para los diseñadores:

3.1.1. Diseñar para los sentidos

Todo espacio y edificio debe ser diseñado para los sentidos, y el arquitecto o la persona encargada de la iluminación, debe conocer las principales características de los complejos procesos fisiológicos, por los cuales podemos percibir visualmente nuestro entorno.

El arquitecto también debe considerar en que maneras puede relacionar el aspecto visual con otros aspectos del ambiente físico, percibidos con los sentidos. Por ejemplo la

sensación de apariencia de la textura, surge de la experiencia táctil. El color está asociado muchas veces con la sensación de frío o calor. El movimiento de nubes esta asociado a la sensación de frescura de la ventilación natural.

De igual manera nuestros sentidos de audición, gusto e incluso el olfato pueden tener asociaciones, que el diseñador de iluminación puede necesitar tomar en cuenta al momento de realizar el proyecto. (Hopkinson y Kay, 1972: 24)

3.1.2. Iluminación de edificios.

Hay que tomar en cuenta a la luz como un elemento primario en el diseño arquitectónico. Las formas de los volúmenes sólidos y los espacios cerrados, la textura y el color solo pueden ser apreciados completamente, cuando están adecuada e imaginativamente iluminados.

En ocasiones, los mejores edificios son aquellos en los cuales, la iluminación exterior del edificio, en conjunto con la iluminación de los espacios que contiene, conforman un concepto unificado de diseño, sea de día o de noche. Para este caso la iluminación depende en gran parte del control de los contrastes de brillos: la interacción de la luz con la oscuridad, textura y color.

Normalmente el arquitecto usa la iluminación y el color para destacar la forma del edificio, su estructura, o para ayudar al usuario a conseguir el acceso, para llamar la atención de alguna característica de interés o para señalar cualquier punto. La iluminación puede ser usada, también, para modificar los espacios de diferentes maneras, esta puede ocultar o mostrar superficies, así como, aumentar o disminuir psicológicamente un espacio.

3.1.3. Variedad.

Para evitar la monotonía en la iluminación y destacar las principales formas del interior de un edificio, se pueden crear diversos patrones de claridad, y para esto el diseñador dispone de las siguientes estrategias de diseño:

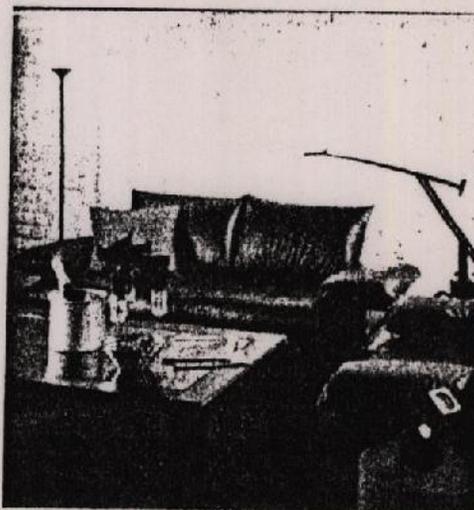
- Variar la intensidad de la iluminación de un lugar a otro.
 - Seleccionar materiales con diferentes capacidades de reflexión o transmitir la luz
-

(estos pueden ser oscuros o luminosos, mates o brillantes, traslúcidos u opacos).

- La posición de las luminarias (fuentes de luz) y la distribución (dirección del flujo) de estas en relación con su principal actividad, área y los objetos en la habitación.
 - El color de las superficies de la habitación y de la luz emitida por las luminarias.
- (Hopkinson y Kay, 1972: 25)

También, el diseño y los rangos de iluminación creados para un espacio interior, son importantes y de esto depende, en muchas ocasiones la vitalidad y el interés del espacio. Al mismo tiempo, contrastes excesivos en el campo de visión pueden causar molestias visuales o reducir la capacidad para ver, por lo cual el diseño de la iluminación variada debe ser cuidadoso, para estimular el disfrute y evitar las desventajas del contraste excesivo.

FIGURA 5: VARIEDAD EN EL USO DE LA ILUMINACIÓN



FUENTE :ITURRA, Oscar, Final Year Interior Architecture, 1996.

3.1.4. Luminosidad y Oscuridad.

Una de las tendencias, según explican Hopkinson y Kay (1972: 26), adoptadas por los ingenieros en iluminación, era la erradicación de la oscuridad, olvidándose del enriquecimiento espacial que la variedad y el contraste pueden brindar.

De hecho la oscuridad es la contraparte de la luz, una es complemento de la otra. Una superficie brillante será completamente apreciada solo cuando es contrastada con una

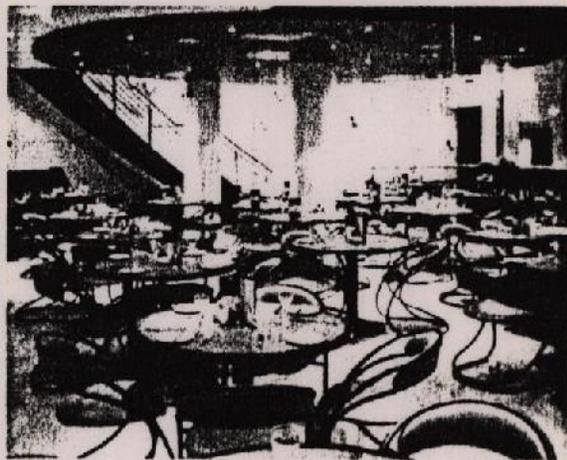
superficie oscura y viceversa. Y este contraste utilizado adecuadamente, ayudara al diseñador a definir zonas de actividades, circulaciones o ha resaltar área de interés en los espacios interiores.

3.1.5. Selección de materiales.

Como ya se ha comentado, la selección de materiales con diferente capacidad de reflejo, puede repercutir en la iluminación de cada una de las superficies, así como la iluminación de habitación, además de afectar la apariencia de los objetos que están dentro de ella.

Por ejemplo, una habitación con superficies con una alto porcentaje de reflexión y en consecuencia con una alta proporción de luz indirecta producirá suaves contrastes y un ligero modelado. En cambio una habitación con superficies oscuras tendrá una alta proporción de luz directa, con acentuados contrastes de luz y sombras.

FIGURA 6: VARIEDAD DE MATERIALES EN EL USO DE LA ILUMINACIÓN



FUENTE :ITURRA, Oscar, Final Year Interior Architecture, 1996.

Un problema frecuente en la selección de materiales, es la cantidad de luz que estos puedan reflejar (brillo), ya sea plástico, madera laqueada, pintura satinada o un piso muy pulido, ya que esta reflexión de la luz puede producir deslumbramiento e irritación en los ojos, sobre todo si la superficie en cuestión está dentro del campo visual de trabajo.

Es recomendable en circunstancias normales, que las superficies principales de un

ambiente tengan un acabado mate, para que la reflexión excesiva de luz no interfiera en las actividades. Se recomienda el uso de materiales brillantes en detalles pequeños o de poca área, como: puertas de madera, marcos de puertas o ventanas, algún objeto metálico o algún detalle arquitectónico, como una moldura, y siempre es importante recordar la variedad.

3.1.6. El Color.

La iluminación representa un papel importante en la percepción del color de las superficies de una habitación. Los arquitectos utilizan el color para resaltar la conformación de un edificio y aclarar la manera como será usado, así como para crear variedad e interés interior y exterior con un apropiado carácter.

Con el color se pueden destacar detalles particulares y es conveniente que la iluminación no entre en contradicción con el color del edificio, sino que debe realzarlo. La iluminación y el color de las superficies deben ser diseñados desde el principio del proyecto.

Otro aspecto que debe cuidarse es la adecuada escogencia del color de la iluminación artificial, para una correcta visualización del color de las superficies y objetos. También es importante en el diseño de la iluminación, la apropiada combinación de la luz natural y artificial para poder tener continuidad en el color de las superficies, sobre todo en áreas de trabajo y no afectar la visión de los usuarios, sea de día o noche.

3.2. LUZ NATURAL

El sol y la bóveda celeste proveen un gran cantidad de luz gratuitamente. La luz natural es parte de nuestras vidas, como respirar o caminar. Y es necesaria para la realización de muchas actividades cotidianas; su importancia es tal, que el hombre se vio obligado a buscar la manera de sustituirla durante la noche. (Phillips, 1964: 4).

Han sido innumerables los trabajos de investigación realizados en muchos países de diferentes latitudes, que han estudiado la manera de usar adecuadamente la luz natural, bien sea para la iluminación, el calentamiento del edificio, y en países tropicales, se ha

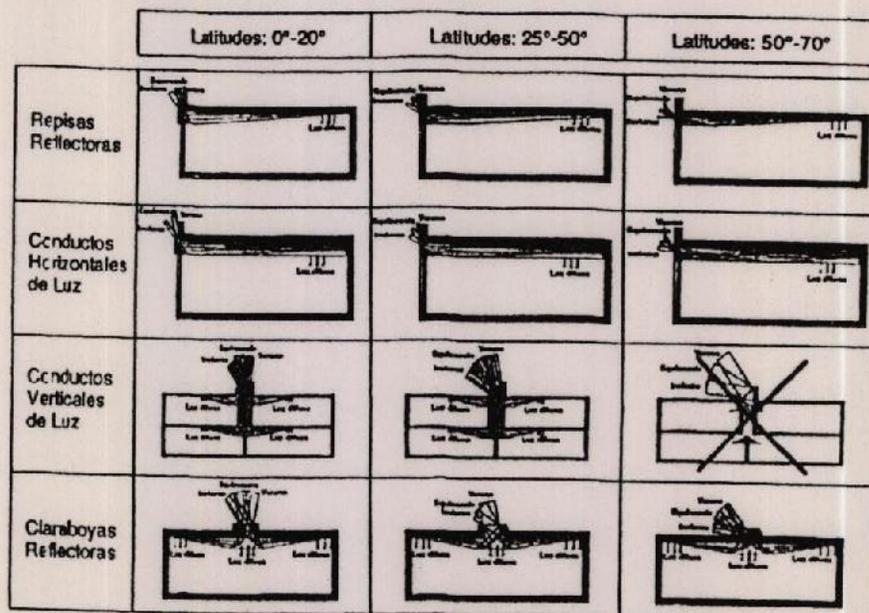
trabajado en la manera de utilizarla, pero evitando la ganancia térmica dentro de los edificios.

Muchas de las investigaciones sobre luz natural, han estudiado la iluminación de ambientes interiores, calculando el grado o nivel de luz que puede penetrar por ventanas, y diseñando diferentes dispositivos para poder regular su uso, utilizándose gráficas de corte y planta de las habitaciones, o usando programas o métodos de computación.

Tal es el caso de las investigaciones realizadas por la Energy & Environment Division (División de Ambiente y Energía) del Lawrence Berkeley National Laboratory, de la Universidad de California, Berkeley, USA, en el cual un grupo de investigadores, entre ellos Liliana O Beltrán, Eleanor S Lee, Stephen E Selkowitz, entre otros, vienen desarrollando desde 1992, nuevas tecnologías para incrementar la iluminación natural en edificaciones. (Beltrán, 1996: 1)

Estos sistemas se han diseñado tratando de integrar las potencialidades del lugar, como el clima, soleamiento y emplazamiento, con la envolvente del edificio y los sistemas de iluminación.

FIGURA 7: EJEMPLOS DE SOLUCIONES DE SISTEMAS PASIVOS PARA ILUMINACIÓN



FUENTE: BELTRÁN, Liliana. Nuevas tecnologías en f(contexto) para incrementar la iluminación natural en edificaciones. California, USA: University of California, Lawrence Berkeley National Laboratory, 1996, p. 3.

Las investigaciones se desarrollaron por medio de estudios computarizados de trazados de rayos, (ray tracing) y técnicas de visualización con rayos láser (Beltrán, 1996: 1), para poder simular diferentes condiciones ambientales y probar diferentes diseños de iluminación de manera rápida y sin costosos prototipos.

A continuación presentaremos algunas características tomadas de Phillips (1964: 6 - 8), relevantes de la iluminación natural, para poder compararlas con las de la iluminación artificial:

3.2.1. Ventajas de la iluminación natural:

Es difícil, como explica Phillip (1964: 6), clasificar las características de la iluminación natural como ventajosas o no, ya que algunos aspectos pueden en algún momento presentar ventajas sobre otros, sin restarle la importancia que estos puedan tener.

La Luz natural es gratuita:

Sobre este tópico se han generado algunos debates, sobre todo porque muchos edificios, por su diseño dificultan la admisión de luz natural a sus espacios interiores. Pero la abundancia de luz natural en el exterior, a hecho pensar a las personas que ésta forma de iluminación es justificada y debe ser aprovechada en lo máximo.

En el pasado, los mejores niveles de iluminación se conseguían con la iluminación natural, ya que las fuentes artificiales (fuego, velas), proveían bajos niveles de iluminación. Pero en la actualidad, esta posición se ha revertido y en muchas ocasiones se consiguen mayores y mejores niveles de iluminación con luz artificial, si se toma la totalidad del espacio ha iluminar en consideración, pero esto tiene su costo.

3.2.2. Ventajas psicológicas de la luz natural y la visión.

Son evidentes los beneficios psicológicos estimulantes de un día soleado con nubes moviéndose en el cielo, además de las ventajas para las personas que deben trabajar muchas horas del día, ejecutando tarea de precisión y dificultad con sus ojos, bajo iluminación natural.

Además, existen probados aportes a la salud generados por la luz solar, como el efecto bactericida, eliminando microorganismos del aire, así como el estímulo de sustancia

químicas beneficiosas para el cuerpo.

También se produce un proceso de renovación natural en los procesos fotoquímicos efectuados en los ojos, en su acción de acomodación a los cambios de la luz natural, contraria a los efectos de irritación que produce la iluminación artificial y que impulsado la necesidad de crear en algunas empresas espacios para el descanso visual.

3.2.3. Apariencias bajo condiciones naturales

La apariencia de los espacios y objetos bajo unas buenas condiciones de iluminación natural se observan con adecuada claridad de las formas, que a veces es difícil conseguir por medios artificiales.

La combinación de luz y sombras, la clara distinción entre paredes y techos, y la homogénea calidad y unidad que obtienen los espacios por la luz natural, son aspectos ambientales que deben ser considerados profundamente al momento de diseñar los edificios.

Muchas de las ventajas de la luz natural son cualitativas, por lo que son menos fáciles de enumerar que las desventajas, pero como se ha comentado, esto no le resta la importancia ancestral que tiene la iluminación natural.

3.2.4. Desventajas de la Luz Natural

a) El costo de la Iluminación Natural.

La luz natural está limitada por las horas de oscuridad, por lo que es necesario que los edificios empleen otras fuentes de iluminación, en este caso artificial. Por consiguiente, hay que proveer a los edificios de dos tipos de sistemas de iluminación: ventanas u otras aberturas para que penetre la luz solar, y fuentes artificiales para tener luz durante la noche.

Los espacios interiores que requieran altos niveles de iluminación, necesitarán una mayor cantidad de luz natural, lo cual conlleva a diseñar estructuras especiales para llevar la luz solar lo más adentro posible, en una habitación, o diseñar espacios poco profundos, lo que acarrea costos considerables al momento de realizar la edificación.

Además, existen costos de la iluminación natural, que son frecuentemente

inadvertidos, como la limpieza y mantenimiento de vidrios y ventanas, que en la mayoría de las ocasiones son ignorados a la hora de planificar los costos de la edificación.

b) Variación de la Luz Natural.

Una de las desventajas de la iluminación natural es la inconsistencia de los niveles de iluminación a lo largo del día y por supuesto durante el año. En países donde hay marcadas variaciones periódicas o estaciones, el problema es notorio ya que la iluminación en verano no es similar a la de invierno, produciéndose variaciones que pueden afectar la realización de tareas con dificultad visual.

En el trópico, el problema de la consistencia de los niveles de iluminación es menor, pero puede verse afectada por los periodos de lluvia y por la eventual nubosidad. Estos factores no garantizan la adecuada iluminación natural, de manera permanente.

c) Deslumbramiento del Cielo

Uno de los problemas de la iluminación natural es el resplandor producido por la refracción de la luz natural en la bóveda celeste. Esto ha obligado al diseñador o al usuario a utilizar algunos aditamentos, que le ayuden a minimizar el deslumbramiento producido por este resplandor, como protecciones solares exteriores, persianas o vidrios "ahumados". Esto trae gastos extras que se deben cubrir al momento de la construcción o posteriormente.

d) Rigidez en el Plan.

Una de las grandes diferencias entre la iluminación natural y la artificial, es la rigidez en el plan de diseño ocasionado por la provisión de un factor de iluminación natural específica. La iluminación natural necesita de costosos sistemas de direccionamiento para lograr algunos efectos que son fácilmente logrados con luz direccional o reflectores artificiales, con sólo girar y dirigir las luminarias hacia los sitios requeridos.

Otro problema es la dotación de iluminación natural a edificaciones que están rodeados por otros edificios, y donde la sombra arrojada por las estructuras vecinas

dificulta la llegada de la luz solar, hacia las ventanas u otras aberturas diseñadas para la iluminación natural.

e) El color

Para ciertos propósitos es adecuado mantener una fuente de luz constante. Pero en algunas actividades donde la variación de la iluminación y el control de la misma es necesaria, es difícil utilizar la iluminación natural, por ejemplo si se quiere iluminar un área más que a otra, resaltar el color o lograr algún efecto lumínico de un espacio u objeto.

La iluminación natural es buena para lograr la visualización de los colores verdaderos, pero el problema de su inconsistencia del nivel de iluminación para destacar detalles o colores, obliga al diseñador a utilizar otras fuentes de luz artificial para lograr la iluminación constante y los efectos deseados.

3.3. ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

El desarrollo de la iluminación artificial ha sido al contrario de la iluminación natural; al comienzo la iluminación natural era una fuente abundante y con el "progreso" ha sido limitada. En cambio, la luz artificial se originó con una débil e inefectiva flama, y con los adelantos graduales en las fuentes de luz y el desarrollo de las fuentes de energía, el potencial de la iluminación artificial se ha incrementado y seguirá desarrollándose en el futuro.

Un aspecto importante para la evolución de la iluminación artificial es la constante investigación científica y el esfuerzo de los ingenieros, casi desde la invención de la lámpara de Edison, en 1879. Los estudios científicos de la iluminación natural aplicados al diseño, se remontan hacia la década de los 40's.

Otro factor que ha impulsado el desarrollo de la iluminación artificial es el concerniente a la cantidad de luz, esto se refiere a obtener más y mejor iluminación usando menos energía. Esto se ha convertido en un problema de investigación y diseño, al igual que la ubicación adecuada de la iluminación y el diseño de luminarias. (Phillips, 1964: 4)

Un logro en la evolución de la luz artificial es la lámpara fluorescente, desarrollada

después de la Segunda Guerra Mundial, lo que posibilitó altos niveles de iluminación, logrando satisfacer altos requerimientos de iluminación en muchas actividades y edificios.

Pero, aunque la luz fluorescente permitió una mayor iluminación a menor costo, hay algunas características de ésta, como el color, que en muchas ocasiones no son agradables para lograr determinados efectos o sensaciones en un espacio determinado.

En ocasiones se prefiere la calidez del color que provee la iluminación con lámparas incandescentes, aunque, actualmente las compañías que fabrican lámparas fluorescentes han logrado colores que se aproximan a las incandescentes.

Phillips (1964: 10 -11), también describe algunas ventajas y desventajas de la iluminación artificial, que son convenientes mencionar para conocer un poco más la importancia de las fuentes eléctricas de iluminación en las edificaciones:

3.3.1. Ventajas de la Luz Artificial

La luz artificial es una fuente de 24 horas, disponible con el toque de un interruptor o 'switch', donde, cuando y en la cantidad que se necesite. Es la luz que sustituye a la natural cuando anochece, y permite al hombre realizar actividades, tan pronto como el sol se ha ocultado, haciéndolo más productivo al poder trabajar mayor cantidad de horas, así como también le permite disfrutar de actividades de descanso, deporte y ocio en las noches.

Con la iluminación artificial se han logrado altos niveles, que permiten realizar tareas que requieren una gran precisión visual y detalle, como en fabricas o talleres, situación que se dificulta en ocasiones con la iluminación natural en espacios interiores. Además, con éstos altos niveles de iluminación se pueden lograr grandes efectos estéticos o funcionales en edificios.

La luz artificial permite la flexibilidad para la planificación y diseño interno de edificios de acuerdo a sus actividades y servicios, con lo cual se tiene una mayor influencia en el criterio de producción y función, sin estar supeditados a la luz natural, permitiendo utilizar el espacio en su totalidad, eliminando zona muertas o espacios de "segunda" clase.

La utilización de luz artificial en espacios cerrados que lo requieran, ha permitido un mayor control ambiental, ya que al regular o suprimir las aberturas se pueden aminorar la

entrada de polvo y sucio, reducir la ganancia o pérdida de calor o frío.

La iluminación artificial también permite los cambios del carácter en los espacios por variaciones en la intensidad, color y distribución de la luz. Esto permite que muchos edificios puedan modificar las características del espacio según la actividad que se realice. Por ejemplo un salón de usos múltiples o auditorio, puede ser una sala de conciertos, un salón de lectura, una sala asambleas o reuniones informales, y para esto solo es necesario efectuar algunos cambios de mobiliario y lograr el énfasis necesario con la iluminación.

3.3.2. Desventajas de la Luz Artificial

Una de las desventajas de la iluminación eléctrica, como explica Phillip (1964: 11), es que éste tipo de iluminación cuesta dinero. Cualquier instalación de luz, sobre todo cuando es decorativa tiene su alto costo, que debe ser tomado en cuenta por el constructor al elaborar el proyecto del edificio.

Esto a provocado que muchos arquitectos, se limiten a la iluminación necesaria para la realización de las actividades en ciertos espacios, dejando a un lado los adornos, o la iluminación "fantasía", que es muy agradable, sobre todo cuando ayuda a resaltar detalles o ambientes arquitectónicos.

Otro aspecto negativo, es el uso incorrecto o el diseño inadecuado de la iluminación, que puede transformar espacios interiores en ambientes sin definición o sin sentido formal y espacial. Sombras inadecuadas o brillos confusos pueden deteriorar los efectos que sobre detalles arquitectónicos se desean lograr, además de los perjuicios que pueden causar a la visión.

Una característica de la luz que puede causar confusión en la visión es el color. Con la introducción de la lámpara fluorescente y en particular el color emitido por los polvos usados en su elaboración, se han presentado problemas de diferenciación y percepción correcta de los colores de las superficies. Los colores de los objetos pueden aparecer diferentes bajo distintas fuentes de luz, es más, bajo lámparas cuya iluminación parezcan idénticas, los colores no se ven iguales.

Un problema que se presenta en las ciudades actuales es la contaminación luminica, dada sobre todo en las grandes urbes, por el exceso de carteles luminosos y gran cantidad

de luminarias encendidas durante la noche, que, aunque ayudan a la iluminación y seguridad, este exceso puede producir deslumbramientos molestos, que en algún momento podrían ser perjudiciales para la vista y hasta producir accidentes de tránsito por el ennegrecimiento de los conductores, además del gasto eléctrico que éstas producen.

Podemos concluir entonces, basándose en la descripción presentada de la iluminación Natural y Artificial, que ambas son indispensables para la vida, la adecuada realización de actividades en espacios interiores y es importante hacer énfasis en el correcto diseño de la iluminación, combinando ambas fuentes para el bienestar del hombre y del ambiente.

3.4. INVESTIGACIONES ACTUALES SOBRE LA ILUMINACIÓN ARTIFICIAL Y SU FUTURO

Entre las posibilidades futuras de la iluminación artificial, están los estudios de para producir luminarias con una fuente ilimitada de iluminación, así como la optimización del diseño de la iluminación en espacios arquitectónicos interiores y la utilización de nuevos materiales, polvos y gases, que provean de mayores niveles de iluminación a bajo costo y que utilicen de mejor manera la energía eléctrica.

Y muchos trabajos de investigación están enfocados hacia el adecuado diseño de la iluminación artificial y su interacción con otros servicios de dotación y acondicionamiento del edificio como:

- Ventilación y Calefacción.
- Aire Acondicionado.
- Control Acústico.
- Prevención de Incendios.
- Distribución Espacial.

En el Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), laboratorio reconocido a escala mundial dedicados a la investigación de la iluminación natural, la artificial y el uso adecuado de la energía en los edificios, en su División de Energía y Ambiente (Energy & Environment Division), han proyectado un programa denominado

Building Technologies Program (Programa de Tecnologías para la Construcción), y que vale la pena comentar con un poco de profundidad.

Con este programa el LBNL, busca asistir a la industria de la construcción norteamericana, para lograr reducciones substanciales en el uso de energía del sector de la construcción, enfocados en el ahorro energético, sin degradar las condiciones de confort, amenidad, salud y productividad del sector. (Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 1996: 13 - 24)

Los esfuerzos del LBNL, están centrados en mejorar dos importantes sistemas de la construcción, como son las ventanas y la iluminación artificial, desarrollando herramientas de simulación necesarias para que los investigadores y los diseñadores puedan integrar el adecuado diseño con eficiencia de energía y la efectividad de costos en las nuevas edificaciones a construir.

Para potenciar los esfuerzos la División de Energía y Ambiente del LBNL, se ha subdividido en cuatro grupos que estudian y buscan solución a determinados problemas; estos grupos son:

- **Windows and Daylighting Group** (Grupo de Iluminación Natural y Ventanas): dedicado a la investigación de mejores formas para aprovechar la iluminación natural y el diseño de ventanas efectivas para evitar ganancias o pérdidas de calor o frío en las edificaciones.
 - **Lighting Systems Group** (Grupo de Sistemas de Iluminación Artificial): enfocados al desarrollo en tres áreas: fuentes de iluminación avanzadas, impacto de la iluminación artificial en el desempeño visual y calidad de la iluminación y aplicaciones en la construcción.
Además, en el área de fuentes de iluminación avanzadas, están explorando nuevos conceptos técnicos para convertir de manera eficiente la energía eléctrica en luz visible.
 - **Simulation Research Group** (Grupo de Investigación en Simulación): quienes han desarrollado algunos programas computarizados de simulación de fácil uso, como DOE -2, que permite el análisis de energía usada por un edificio y su costo,
-

dando información de los sistemas de construcción, equipos de aire acondicionado e iluminación artificial, entre otros. Sirviendo de herramienta de consulta al diseñador para obtener una edificación con uso eficiente de energía, además de servir a los investigadores para desarrollar nuevos sistemas y tecnologías.

- **Advanced Building Systems** (Sistemas de Construcción Avanzada) : cuya misión es realizar cambios en el área de diseño y construcción, en situaciones particulares. Este grupo en conjunto con los demás intenta optimizar elementos individuales de una tecnología, por ejemplo el diseño de una ventana, e integrarla con el contexto y los sistemas de la edificación.

Una de las mayores aplicaciones comerciales que desarrollan es la integración de sistemas iluminación y la envolvente, en donde las fachadas han sido desarrolladas en conjunto con la iluminación artificial y natural, para minimizar los sistemas de enfriamiento y la energía usada por la iluminación artificial, con el máximo confort, productividad y satisfacción de los ocupantes. También realizan estudios similares para el sector residencial. (Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 1996: 13 - 24)

De los cuatro grupos, comentaremos las experiencias en investigación del Lighting Systems Group (Grupo de Sistemas de Iluminación Artificial), quienes vienen desarrollando algunos trabajo importantes, en el área de iluminación artificial, que describiremos brevemente, para que sirvan como referencia al presente trabajo. Estas investigaciones son:

- **Advanced Light Sources** (Fuentes de Luz Avanzadas): la meta es desarrollar de manera científica y con ayuda de la ingeniería, una tecnología básica para producir nuevas lámparas con fuentes altamente eficientes, que contengan materiales no tóxicos.

En este contexto, han trabajado en la optimización de la fuente de luz blanca, como la fluorescente de uso diario (basadas en balastos electrónicos), logrando mejoras en la eficacia luminosa de este tipo de lámpara, en un 25 %, con respecto

a hace 15 años, aumentando la cantidad de lúmenes por vatio, de 90 a más de 150 lúmenes por vatio, y las expectativas son obtener, en un futuro, más de 350 lúmenes por vatio. Además de buscar nuevos materiales de alta eficiencia como el mercurio, pero que no sea tan contaminantes y perjudiciales para el ambiente, como éste.

También han realizado estudios, desde 1992, en lámparas de alta frecuencia y descarga de alta intensidad (HID), haciéndolas más eficaces y con posibilidad de "dimming" o con control de la intensidad de luz de la luminaria (oscurecimiento).

Sulfur Lamp (Lámpara de azufre): desde 1993 hasta la actualidad están desarrollando una lámpara de azufre, que produce iluminación de altos niveles por medios moleculares, estimulado por energía microondas y que aventaja a la de mercurio, además, utiliza de manera eficiente la electricidad.

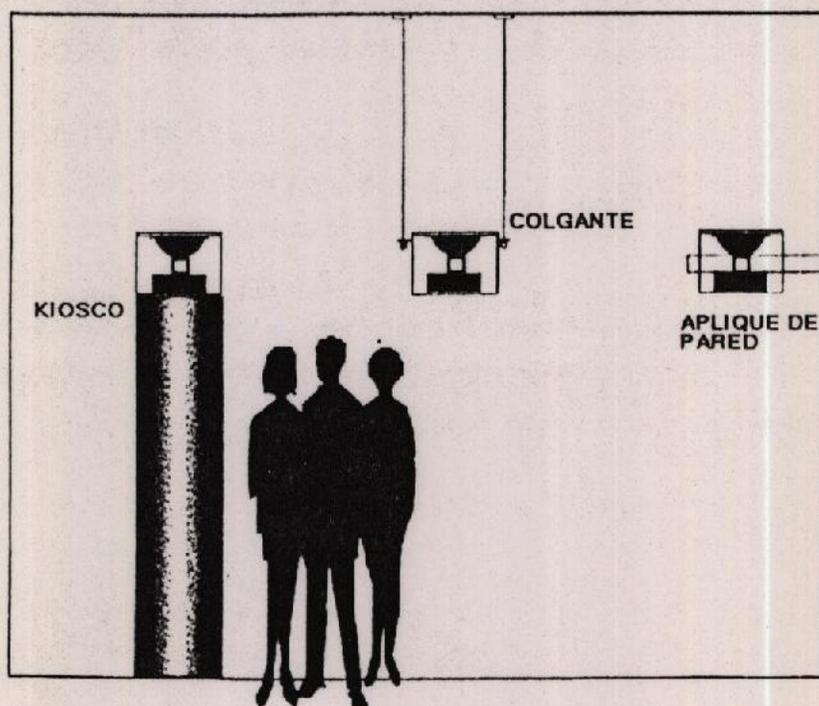
Low-Lumen Sources (Fuentes de Bajo - Lumen): debido al éxito en el desarrollo de la lámpara de azufre, para el comercio y la industria, también han estado trabajando en lámparas de uso residencial de 60 y 100 vatios.

Advanced Lighting Distribution Systems (Sistemas de Distribución Avanzada de Iluminación Artificial) y Development and Demonstration of High-Efficiency Indirect Lighting System (Desarrollo y Demostración de Sistemas de Iluminación Indirecta de Alta Eficiencia) : son dos programas que estudian el uso de lámparas de alta eficiencia, en conjunto con nuevos sistemas de distribución de iluminación; entre estos sistemas se desarrolla la iluminación indirecta con lámparas de alta eficiencia, para evitar deslumbramientos con uso en industrias, comercio y oficinas.

- Impact of Lighting on Visual Performance and Lighting Quality (Impacto de la Iluminación en el Desempeño Visual y Calidad de la Iluminación): este trabajo estudia las tecnologías en iluminación con eficiencia energética y como afectan a los ocupantes de la habitaciones en su productividad y confort. Investigan la relación entre las características físicas medibles de la iluminación y el desempeño visual, confort y satisfacción. Los estudios se realizan en bajo condiciones reales y
-

con programas de simulación computarizada.

FIGURA 8: CONFIGURACIÓN DE DIFERENTES INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN INDIRECTA DE ALTA EFICIENCIA



Fuente : ERNEST ORLANDO LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY.
Building Technologies Program. 1995 Annual Report. Berkeley, California:
 Energy & Environment División. May 1996.p. 17.

- Building Application (Aplicaciones en Construcción): en esta investigación se estudian nuevas tecnologías de iluminación con ahorro de energía. Entre las aplicaciones desarrolladas están :

Advanced Lighting Controls (Control Avanzada de Iluminación) en el cual se busca un mejor control de la intensidad de iluminación de lámparas fluorescentes.

Residential Lighting (Iluminación Residencial): que estudia el impacto de la sustitución del uso de los ineficientes bombillos incandescentes por lámparas fluorescente Compactas, que representan una significativa mejora en el ahorro de energía.

Advanced Residential Fixtures (Instalaciones Residenciales Avanzadas): en donde se prueban diferentes tipos de lámparas, como la fluorescente tipo Compacta de 23 vatios o la fluorescente Circline (circular) de 22 vatios, colocadas en instalaciones diseñadas originalmente para lámparas incandescentes, sustituyendo a un bombillo de 100 vatios.

Otros estudios realizados son el Avalúo del Mercado de Iluminación Residencial e Imágenes por Computadora, este último tiene el objetivo de demostrar el uso de tecnologías avanzadas en computación para mejorar la calidad de la iluminación y el diseño con eficiencia energética. (Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 1996, p. 13-24)

También es importante nombrar algunas herramientas computarizadas para el cálculo y diseño de iluminación artificial, desarrolladas por el LBNL y otras instituciones, como referencia a esfuerzos realizados para el mejoramiento de este importante aspecto del acondicionamiento ambiental de edificios, entre estas están:

- RADIANCE (LBNL): un sistema avanzado de trazado de rayos para el diseño y la visualización de espacios con luz natural e iluminación eléctrica.
 - SUPERLITE 2.0 (LBNL): un programa de análisis de iluminación diseñado para predecir con precisión la luminancia interior en espacios complejos usando sistemas de luz natural e iluminación artificial.
 - ADELIN 1.0 (LBNL): integra programas de modelaje CAD en 3D con dos herramientas de análisis de iluminación (SUPERLITE y RADIANCE), vinculadas con herramientas de simulación termal análisis de edificaciones.
 - COOPER LIGHTING: herramienta para el diseño de iluminación natural y artificial, en tres dimensiones, bajo el ambiente de Microsoft Windows, que permite seleccionar el tipo de iluminación a utilizar y las aberturas que tendrá el espacio.
 - LUMEN-MICRO 6.0 y LUMEN-POINT 2.0 (Lighting Technologies, Inc): programas de cálculo y diseño de iluminación.
 - PROGRAMA DE CÁLCULO LUMINOTÉCNICO POR ORDENADOR
-

(Reggiani Spa Illuminazione): herramienta que permite la elaboración de cálculos relativos a instalaciones de iluminación de rápida y fácil aplicación. Determinando el número de aparatos y su disposición, además de elaborar la oferta económica basándose en los precios del mercado.

Podemos observar a través de estas experiencias la importancia que ha tomado la investigación en el campo de la iluminación artificial, y esto ha estimulado a profesores - investigadores del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura, IFA, de La Universidad del Zulia, ha estudiar este importante aspecto del diseño arquitectónico.

Las investigaciones en torno al acondicionamiento ambiental, en el IFA, se realizan en la Sección de Acondicionamiento Ambiental (AA), centrándose, desde más de 15 años, en el área de la Térmica, debido a las condiciones climáticas de la ciudad de Maracaibo, realizándose trabajos para buscar solución a la ganancia de calor en los espacios interiores de los edificios, con estudios de protecciones solares en ventanas, uso de materiales aislantes del calor y ventilación natural, entre otros, además de la instalación de la Estación Meteorológica Urbana.

En el IFA y la División de Estudios para Graduados de la Facultad de Arquitectura, también se han diseñado herramientas automatizadas para el diseño bioclimático de edificaciones:

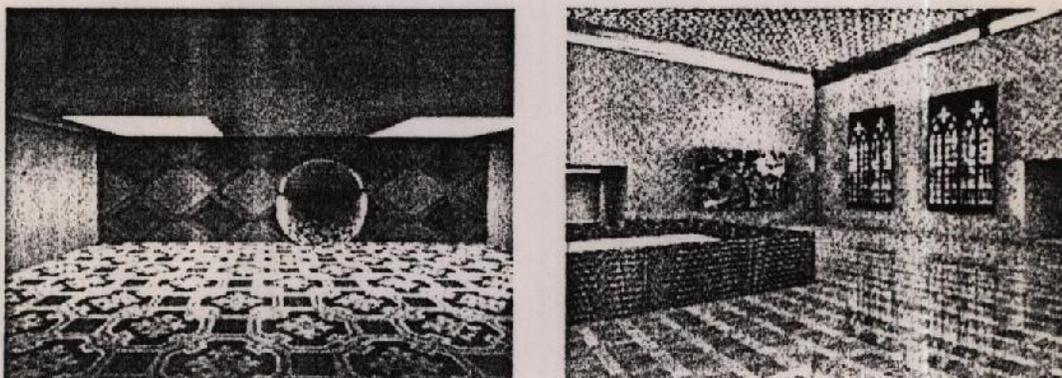
- ASICLIMA. Este es un programa que asiste al arquitecto en el diseño de edificaciones adaptadas a las condicionantes climáticas del lugar.

“Procesa datos del sitio, clima y edificio para generar información gráfica y numérica sobre las condiciones de bienestar térmico externas, la radiación solar incidente, la ganancia térmica a través de la envolvente y los gastos energéticos para lograr la temperatura de diseño propuesta” (La Roche, 1995, p. 19: 1 - 2).

- B.I.CLIMA : es un sistema de información automatizado para el diseño de viviendas de bajo costo climáticamente adecuadas. Este programa sirve de asistente al arquitecto desde las etapas conceptuales del proceso arquitectónico, ayudándolo a interpretar las condicionantes de entorno ambiental, las variables del
-

futuro grupo usuario y las implicaciones de la Ley de Política Habitacional.
(González de Kauffman, 1995: 1 - 2)

FIGURA 9: IMÁGENES COMPUTARIZADAS DE INVESTIGACIONES CON ILUMINACIÓN ARTIFICIAL REALIZADAS POR LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO:



Además, la preocupación por resolver problemas sobre la ganancia térmica en el interior de los edificios, como ya se ha comentado, ha estimulado a la realización de dos nuevas investigaciones en el área de iluminación o lumínica, que tendrían entre sus metas herramientas computarizadas, como son: Evaluación de las condiciones lumínicas en un recinto arquitectónico considerando la influencia de los elementos de protección solar en las aberturas y a la que se refiere este trabajo, Cálculo Luminotécnico Automatizado para espacios interiores.

En este último trabajo se busca, además del diseño de un programa de análisis y cálculo, de iluminación artificial en espacios interiores, estudiar conceptos sobre tema y métodos para reducir la ganancia térmica, por causa de la iluminación eléctrica, así como mejorar los criterios de diseño y el ahorro de energía.

Cuarto Capitulo

VISIÓN E ILUMINACIÓN

4. VISIÓN E ILUMINACIÓN

Es un hecho que sin la luz no podríamos ver. El avanzado desarrollo de la ingeniería ha permitido resolver los problemas de iluminación que pueden afectar la visión, y que se han presentado según las diversas tareas que el hombre desarrolla.

Una escalera con mala iluminación y sombras cruzadas en los escalones, puede ser un riesgo y producir accidentes, pero esta iluminación no representa un impedimento cuando la condición es reconocer. La iluminación para una delicada operación quirúrgica o el ensamblaje de piezas miniatura de relojería, requiere tener conocimientos del funcionamiento del ojo, así como todos los recursos para la adecuada iluminación. (IES, 1976: 1.1)

El diseño de iluminación en edificios debe:

- Proporcionar buena visibilidad para que las tareas puedan desarrollarse con el grado requerido de velocidad y precisión.
- Proporcionar niveles de iluminación que permitan trabajar con menos esfuerzos.
- Proporcionar condiciones de iluminación para tener seguridad con el mobiliario y un mínimo de deslumbramiento e incapacidad visual. (IES, 1976: 1.1)

Estos son los principales objetivos que debe cumplir la iluminación, aunque existen factores subjetivos importantes, que pueden condicionar la iluminación y que describiremos a lo largo de este capítulo.

Un aspecto importante de la iluminación, contrario a la creencia popular, es que la planificación de la iluminación no es simplemente un problema de cálculo. El ojo humano no responde a la iluminancia (cantidades de luz cayendo sobre la superficie), sino que ve el cromatismo (color) y la luminancia (brillo). De ésta manera el ojo reacciona a las variaciones de un reflejo específico y a la energía transmitida de manera electromagnética. (Iturra, 1996)

El diseño de la iluminación, debe comenzar definiendo y entendiendo el problema de dotar adecuadamente a los espacios de luz, para el correcto funcionamiento del ojo y la visión. En muchas ocasiones se cree que la iluminación es un problema de ingeniería, o de

decoración, pero raramente se reconoce como lo que verdaderamente es: un problema biológico. (Iturra, 1996)

La planificación de la iluminación no debe complacer solo requerimientos de grupos, como sociedades de ingenieros, leyes del Estado o el presupuesto de un cliente. La iluminación debe diseñarse principalmente para las personas que ocuparan los espacios, ya que es básicamente un problema de personas. (Iturra, 1996)

4.1. LA NATURALEZA DE LA LUZ

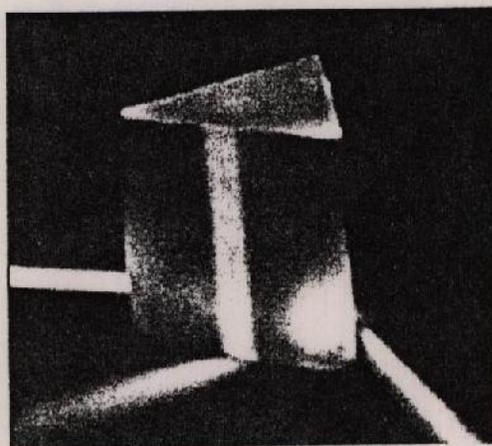
Para conocer acerca de la iluminación y la manera en que ésta se produce, se estudian una serie de conceptos que ayudarán a comprender la importancia de su cálculo y diseño:

4.1.1. Luz

La luz es parte de un grupo de energía llamada radiante. El IESNA (1995: 1.2) (Illuminating Engineering Society of North America) define a la luz como energía radiante capaz de producir sensación visual. La cantidad de luz (energía luminosa) se mide en una unidad llamada lumen por hora (lmh), su símbolo es Q. Se representa con la fórmula:

$$Q = \phi \times t \text{ (}\phi = \text{ flujo luminoso, } t = \text{ unidad de tiempo).}$$

FIGURA 10: DESCOMPOSICION DE LA LUZ BLANCA A TRAVES DE UN PRISMA:

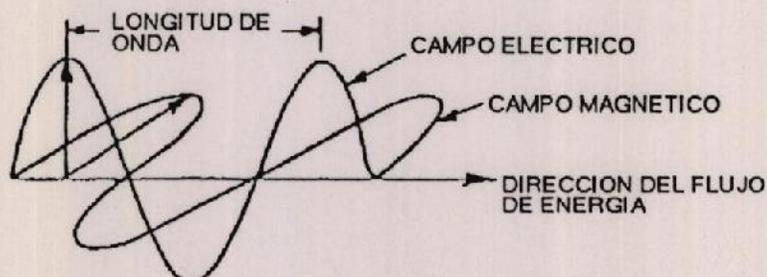


Esta magnitud es importante a efecto de los cálculos económicos, para conocer la cantidad de luz que emite una lámpara durante su vida.

La luz posee propiedades de longitud de onda (λ) y frecuencia (f). En muchas aplicaciones estas características no son necesarias y la luz puede ser representada como una simple flecha indicando esta dirección. (IES, 1976: 1.1)

Los científicos explican la naturaleza de la luz con dos conceptos: la Teoría de Onda Electromagnética y la Teoría del Quantum. La teoría electromagnética concibe que un cuerpo luminoso emite luz en forma de energía radiante y que ésta energía es transmitida en forma de ondas electromagnéticas (ver figura 3), y que esas ondas actuado en los ojos producen la sensación de luz. (IES, 1976: 1.1)

FIGURA 11: GRÁFICO SIMPLIFICADO DE INTERPRETACIÓN DE LA ENERGÍA ELECTROMAGNETICA



Fuente: IES. Lighting Fundamental Course, New York: the Illuminating Engineering Society Of North América, 1976, p. 1-1

La teoría del quantum concibe que un cuerpo luminoso emite energía radiante en discretos "bundles" (paquetes), arrojados en línea recta, y éstos actuando sobre los ojos producen la sensación de luz. El movimiento de la luz a través del espacio puede ser explicada mejor con la teoría electromagnética. (IES, 1976: 1.1)

4.1.2. Iluminación - Iluminancia

La iluminación es el resultado de luz cayendo en una superficie y se mide en footcandles (fc) o lux (lx), unidad del Sistema Internacional (SI): 1 fc= 10.76 lx.

“La iluminación o iluminancia de una superficie es la relación entre el flujo luminoso que recibe la superficie y su extensión... se representa por la letra E.. La fórmula que expresa la iluminancia es :

$$E = \frac{\phi}{S} \quad (\phi = \text{flujo luminoso, } S = \text{superficie})$$

La iluminancia constituye un dato importante para valorar el nivel de iluminación que existe en un puesto de trabajo, en la superficie de un recinto, en una calle, etc. ... La medida de la iluminancia se realiza por medio de un aparato especial llamado luxómetro, que consiste en una célula fotoeléctrica que, al incidir la luz sobre la superficie, genera una débil corriente eléctrica que aumenta en función de la luz incidente.” (NIBRA, s.f.: 73 - 74)

TABLA 6: DISTINTOS VALORES APROXIMADOS DE ILUMINANCIAS

Mediodía de verano al aire libre, con cielo despejado	100.000 lux
Mediodía de verano al aire libre, con cielo cubierto	20.000 lux
Puesto de trabajo bien iluminado en un recinto interior	1.000 lux
Buen alumbrado público	20 a 40 lux
Noche de luna llena	0,25 lux
Noche de luna nueva (luz de las estrellas)	0,01 lux

Fuente: NIBRA. Manual de Luminotecnia. OSRAM [s.f.], p. 74.

4.1.3. Flujo Luminoso

El flujo luminoso es aquella parte de la energía eléctrica que se transforma en energía radiante y produce una sensación luminosa. Se representa con la letra griega ϕ (fi) y su unidad es el lumen (lm). (NIBRA, s.f.: 73 - 74)

TABLA 7: FLUJO LUMINOSO DE ALGUNAS LÁMPARAS

TIPO DE LÁMPARA	FLUJO LUMINOSO lm
Efluvios	0,6
Vela de cera	10
Bicicleta	18

Incandescente Standard de 100 W	1.380
Fluorescente L 40 W/20 (Blanco frío)	3.200
Mercurio a alta presión HQL 400 W	23.000
Halogenuros metálicos HQI 400 W	28.000
Sodio a alta presión NAV - T 400W	48.000
Sodio a alta presión NA 180W	33.000
Magnesio AG 3B	450.000

Fuente: NIBRA. Manual de Luminotecnia. OSRAM [s.f.], p. 74.

4.1.4. Rendimiento Luminoso

“Rendimiento luminoso o coeficiente de eficiencia luminosa de una fuente de luz, indica el flujo que emite la misma por cada unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención. ... se representa por la letra griega η (eta), siendo su unidad el lumen por vatio (lm/W). La fórmula que expresa el rendimiento luminoso es:

$$\eta = \frac{\phi}{W} \quad (\phi = \text{flujo luminoso, } W = \text{vatios}) \quad (\text{NIBRA, s.f.: 68})$$

TABLA 8: RENDIMIENTOS LUMINOSOS DE ALGUNAS LÁMPARAS

TIPO DE LÁMPARA	POTENCIA NOMINAL W	RENDIMIENTO LUMINOSO lm/w
Efluvios	0,3	2
Incandescente Standard 40 W/220 V	40	11
Fluorescente L 40 W/20 (Blanco frío)	40	80
Mercurio a alta presión HQL 400W	400	58
Halogenuros metálicos HQI 400 W	360	78
Sodio a alta presión NAV - T 400 W	400	120
Sodio a baja presión NA 180 W	180	183

Fuente: NIBRA. Manual de Luminotecnia. OSRAM [s.f.], p. 68.

4.1.5. Intensidad Luminosa

Cantidad de flujo luminoso radiado desde una fuente de luz en un ángulo sólido infinitesimal (ver Figura 4). Su unidad es la candela y se representa con la letra I. Se

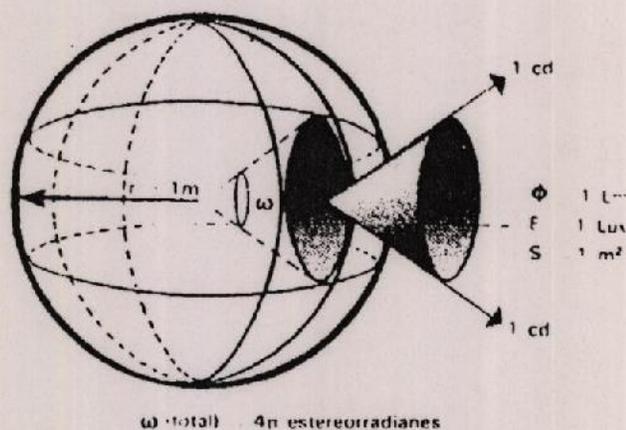
expresa con la fórmula: $I = \frac{\phi}{\omega}$ (ϕ = flujo luminoso, ω = ángulo sólido). (Labastida, Sifre, y Serra, 1970: 9)

Ángulo sólido:

“Concepto de ángulo espacial. Mide la porción de espacio delimitado por las generatrices trazadas desde un punto a los extremos de una superficie cualquiera.

Su unidad es el esterrradián, ángulo sólido determinado por el centro de una esfera de radio 1 m y una superficie de 1 m², de cualquier forma, situada en dicha superficie esférica”. (Labastida, Sifre, y Serra, 1970: 11)

FIGURA 12: ÁNGULO SÓLIDO. RELACIÓN ENTRE FLUJO LUMINOSO, INTENSIDAD LUMINOSA E ILUMINANCIA



Fuente: NIBRA. Manual de Luminotecnia. OSRAM [s.f.], p. 70.

4.1.6. Luminancia

La luminancia (brillo fotométrico) es el resultado de la luz reflejada (transmitida o emitida) desde una fuente de luz o superficie, su medida es el footlambert (candelas por metro cuadrado o candela por centímetro cuadrado para fuentes con elevadas luminancias.). Se representa con la letra L.

Se expresa con la fórmula: $L = \frac{I}{S \times \cos \alpha}$, (I = intensidad luminosa, $S \times \cos \alpha$ =

superficie aparente. (NIBRA: s.f.: 75)

“La luminancia es lo que produce en el órgano visual la sensación de claridad, pues la luz no se hace visible hasta que es reflejada por los cuerpos. La mayor o menor claridad con que vemos los objetos igualmente iluminados, depende de su luminancia.

La percepción de la luz es realmente la percepción de diferencias de luminancia. Se puede decir, por lo tanto que el ojo ve diferencias de luminancia y no de iluminación.” (NIBRA, s.f.: 76)

La luminancia tiene mucha importancia en el fenómeno llamado “deslumbramiento”, que se explicara más adelante. La luminancia es un concepto diferente al brillo del objeto. La luminancia es una medida física de la luz reflejada por una unidad de área en una dirección particular. El brillo es como aparece esta área al ojo en una circunstancia particular.

TABLA 9: VALORES APROXIMADOS DE LUMINANCIAS

Sol	150.000	cd/cm ²
Cielo despejado	0,3 a 0,5	“
Cielo cubierto	0,03 a 0,1	“
Luna	0,25	“
Llama de una vela de cera	0,7	“
Lámpara incandescentes clara	100 a 200	“
Lámpara incandescente mate	5 a 50	“
Lámpara incandescentes opal	1 a 5	“
Lámpara fluorescente L 40W/20l	0,75	cd/cm ²
Lámpara de mercurio a alta presión HQL 400 W	11	“
Lámpara de halogenuros metálicos HQI - T 400 W	700	“
Lámpara de sodio a alta presión NAV - T 400 W	500	“
Lámpara de sodio a baja presión NAV 180 W	10	“
Lámpara de xenón XBO 2500 W	72000	“
Lámpara Vacublitz AG - 3B	50.000	“
Lámpara de efluvios (glimm)	0,02 a 0,05	“
Papel Blanco con iluminación de 1000 lux	250	cd/m ²
Calzada de una calle bien iluminada	2	“

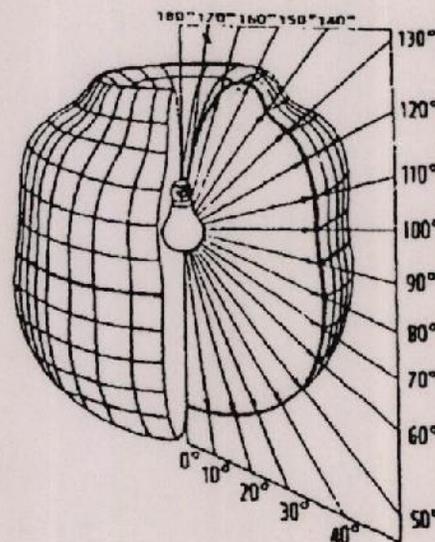
Fuente: NIBRA. Manual de Luminotecnia. OSRAM [s.f.], p. 77.

4.1.7. Distribución luminosa (Curva fotométrica)

El conjunto de la intensidad de una fuente de luz en todas direcciones constituye lo que denomina distribución luminosa. Con aparatos especiales es posible determinar la intensidad luminosa de una lámpara en todas direcciones con relación de un eje vertical.

Esta intensidad representada por medio de vectores, en infinitas direcciones es lo que se conoce como "sólido fotométrico". Por medio de la curva fotométrica de una fuente se puede determinar la intensidad luminosa en cualquier dirección, dato importante para algunos cálculos de iluminación. (NIBRA, s.f.: 71)

FIGURA 13: SÓLIDO FOTOMÉTRICO DE UNA LÁMPARA INCANDESCENTE



NIBRA. Manual de Luminotecnia. OSRAM [s.f.], pp. 73-74.

4.2. EL PROCESO DE LA VISTA

El ojo es un instrumento de gran precisión, muchas veces equiparado con una cámara

fotográfica. A continuación se presenta una comparación del IES (1976: 2.1), entre la cámara y el ojo:

OJO	CÁMARA
Esclerótica	Cubierta
Coroides	Revestimiento intermedio
Retina	Película
Iris	Diafragma
Pupila	Abertura
Párpado	Obturador
Cristalino	Lente

FIGURA 14: COMPARACIÓN ENTRE EL OJO Y LA CÁMARA



Fuente: NUCKOLLS, James. *Interior Lighting for Enviromental Designers*. New York: Wiley - Interscience Publication, John Wiley & Sons, 1976, p. 12.

Descripción de las partes del ojo, según el IES (1976: 2.1 – 3.1):

Esclerótica: es el saco o cubierta externa, es dura, blanca y opaca, mantiene la forma del globo del ojo. Hacia el frente se torna transparente y aquí es llamada Córnea.

Coroides: revestimiento intermedio, que consiste en una capa de vasos sanguíneos, y sirve como capa para nutrir la esclerótica y el cristalino. En la parte frontal de ésta, se encuentra el Iris, éste es un diafragma coloreado que funciona como el diafragma de la cámara, controlando automáticamente la cantidad de luz que entra en el ojo ; por ejemplo, la pupila se expande bajo condiciones de poca luz. La Pupila es el orificio en el centro del iris y corresponde a la abertura en el obturador de la cámara.

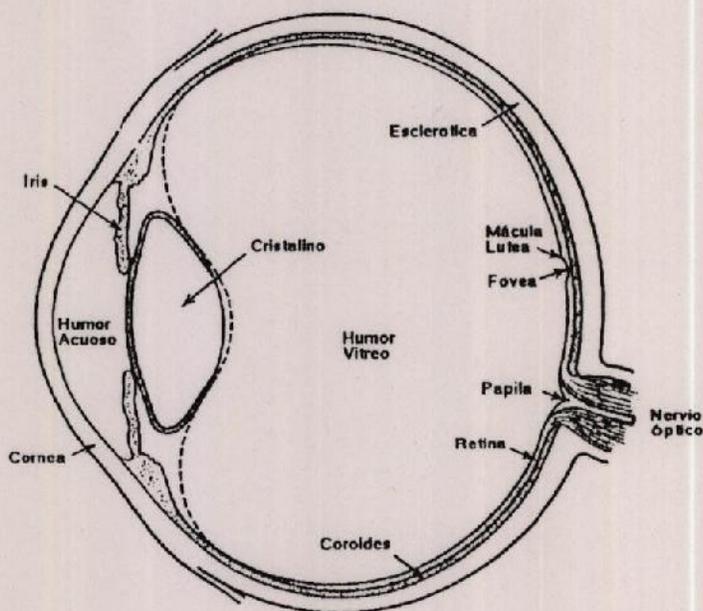
Retina: capa interna del ojo, es la parte sensible a la luz de ojo y donde se realiza la visión, actúa como la película de la cámara. Ésta consiste en una delicada capa de tejidos nerviosos, en la cual hay unas fibras nerviosas terminales llamados conos y bastones.

Además, hay en el ojo dos manchas en la retina: una que es muy sensible a la percepción de los colores llamada fovea central o mancha amarilla, y otra llamada punto ciego, zona de la retina donde penetran los vasos sanguíneos y el nervio óptico y que, por carecer de células sensibles a la luz, no responde a la acción de ésta.

Conos: la retina contiene 6 millones de conos. Ellos están agrupados en la fovea o mancha amarilla. Son responsables de la visión con luz natural y percibir el color. Su alteración produce el daltonismo.

Bastones: la retina contiene 130 millones de bastones, se encuentran en toda la retina. No poseen sensibilidad cromática, son sensibles a la luz y sirven para captar bajas intensidades luminosas, así como proporcionar la visión nocturna.

FIGURA 15: PARTES DEL OJO



Fuente: NUCKOLLS, James. *Interior Lighting for Environmental Designers*. New York: Wiley - Interscience Publication, John Wiley & Sons, 1976, p. 12.

Humor Acuoso: líquido del ojo entre la cornea y el cristalino.

Cristalino: es una especie de lente biconvexa, está suspendido y sujetado por

músculos inmediatamente después de la pupila. Es flexible, y está formado por múltiples capas. Su función corresponde al lente de una cámara; es un dispositivo automático de foco, logrado a través de músculos que cambian la forma del lente.

El ojo está en descanso y normal cuando observa objetos a una distancia de 6 metros o más. Distancias muy cortas, como trabajos o lectura, a 35 centímetros, producen acomodamiento del ojo y convergencia, la cual si es prolongada puede causar fatiga.

Humor Vítreo: se encuentra ubicado después del cristalino y llena el resto del espacio del globo ocular. Es una masa gelatinosa, su función es trabajar en conjunto con el cristalino para hacer la refracción o desviar los rayos de luz hacia el área de la fovea (visión diurna); o cerca de ésta para la visión nocturna.

4.3. COMO SE REALIZA LA VISIÓN

Cuando el ojo recibe la luminancia de un objeto (radiación magnética entre 380 y 780 nm), la luz entra por la córnea y es desviada o refractada, de aquí pasa a través del humor acuoso y la pupila. Según la cantidad de luz, la pupila se contrae o dilata automáticamente, y por la pupila llega al cristalino, este enfoca los rayos luminosos a través del humor vítreo sobre la retina. (IESNA, 1995: 3.1)

Aquí los conos y bastones comienzan la acción. Desde este punto el proceso es electroquímico, las pulsaciones son establecidas y enviadas desde los conos y bastones, por el nervio óptico hasta el cerebro, donde son interpretada como luz o causan la sensación de la visión. El cerebro y los ojos cooperan transformando energía radiante en la sensación de la luz. (IESNA, 1995: 3.1)

Características de los ojos para la visión (IESNA, 1995:3.1-4.1):

Acomodación: es la actividad de enfocar del cristalino.

Adaptación: es el cambio fotoquímico en la sensibilidad de la luz en la retina. Esta capacidad responde han amplio rango (1.000.000 a 1) de niveles de luminancia.

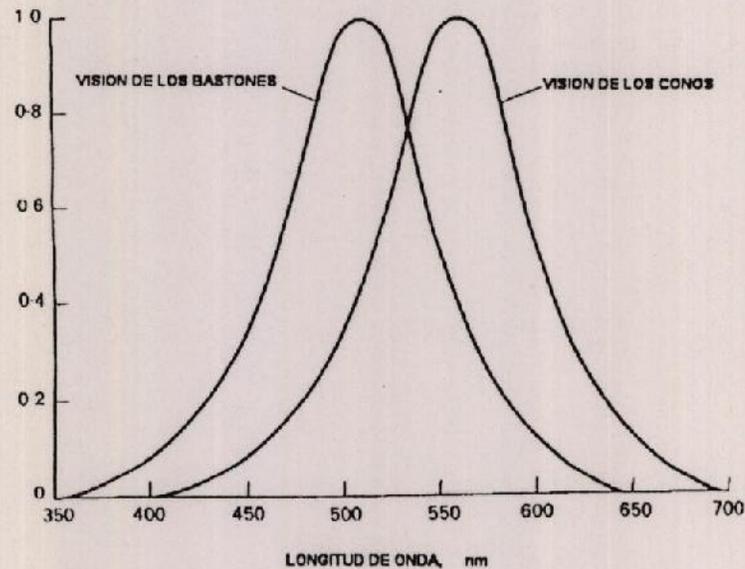
Función del Iris: controla la cantidad de luz que entra en el ojo, en un ángulo limitado. Este control está en el rango de 16 a 1.

Curva de Eficiencia Espectral Luminosa Standard: indica gráficamente la habilidad

del ojo para evaluar la energía radiante, en diversas longitudes de onda del espectro visible. Estas curvas son llamadas Curvas de Sensibilidad del Ojo. La sensibilidad máxima que admite el ojo es de 555 nanómetros, la cual está en la porción amarilla - verde del espectro visible. La sensibilidad del ojo decrece cuando la longitud de onda es mayor o menor a ésta.

Cuando el flujo radiante (vatios) concuerda con la curva de eficiencia espectral luminosa y se multiplica por una constante, el resultado es el flujo luminoso (lumen).

FIGURA 16: SENSIBILIDAD RELATIVA DEL OJO EN DIFERENTES RADIACIONES DE LONGITUD DE ONDA



FUENTE: PRITCHARD, D C. *Environmental Physics : Lighting*. Editor C R Bassett. London: Longman Group Ltd, 1976, p. 4.

Efecto Purkinje: la curva de sensibilidad de visión estándar (fotópica) del ojo, está basada en la visión de los conos y bastones. Cuando los niveles son muy bajos, y las luminancias están en el orden de 0,10 y 0,01 lux, los conos no funcionan y los bastones toman el total control del proceso de la visión. En los bastones o visión escotópica una nueva curva de sensibilidad aparece, con la misma forma que la curva fotópica pero desplazada 50 nm hacia el azul final del espectro. Esto es lo que se denomina Efecto

Purkinje.

En las últimas investigaciones del Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), se ha estudiado la iluminación escotópica buscando mejorar la calidad de la iluminación y el desempeño visual.

Como se ha explicado anteriormente el sistema visual humano incluye dos tipos de fotorreceptores: los conos sensibles a la luz natural y el color, y los bastones encargados de la visión monocromática y a los bajos niveles de iluminación. (Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 1996: 18).

Por considerarse sólo la visión realizada por los conos fotorreceptores del ojo y no la realizada por los bastones, la fotometría convencional provee una medida incompleta en los niveles de iluminación. La fotometría ha sido tradicionalmente basada en la respuesta psicofísica de los sujetos a un campo de visión confinado de dos grados. La región utilizada de la retina en tales experimentos contiene sólo conos y no contiene bastones. (Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 1996: 18)

Pero la mayoría de la retina es dominada por los bastones. Quizá porque la respuesta espectral de los bastones requiere de niveles extremadamente bajos a los que necesitan los conos, se ha asumido que los bastones están inactivos en una habitación con niveles normales de luz. En consecuencia, muchos de los efectos de los bastones receptores, no han sido incluidos en las medidas de cantidad de luz, que son aplicados en la iluminación de interiores. (Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 1996: 18)

Los investigadores del LBNL, sostienen la proposición de que los valores satisfactorios de iluminación interior deben incluir los efectos de la actividad de los bastones. Especialmente quieren demostrar, que en condiciones de un campo de visión completo, el tamaño de la pupila es predominantemente controlado por el espectro escotópico (la porción del espectro visual al cual los bastones son sensible), y que la luz escotópica representa un papel importante papel en la buena percepción del brillo. (Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 1996: 18)

La pupila pequeña reduce los efectos de aberraciones ópticas (imperfecciones que se consiguen en los ojos de todos los humanos) y así se puede mejorar el desempeño visual.

La pupila pequeña, también produce mejor profundidad de campo y precisión visual en tareas de alto y bajo contraste, mientras provee de beneficios adicionales al reducir el deslumbramiento incapacitante y la demanda de acomodación. (Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 1996: 18)

Al demostrar los efectos básicos de la sensibilidad escotópica en niveles de iluminación interior los esfuerzos de los investigadores del LBNL, están centrados en demostrar la aplicabilidad de la luz escotópica en la práctica general de la iluminación. Para realizar esto tiene cinco metas a seguir como son:

1. Demostrar los beneficios de la iluminación escotópica avanzada en un ambiente simulado de oficina (y compararlo con las recámaras "blancas" usadas en estudios previos).
2. Diseñar un aparato, basado en estudios apropiados, que corrija las insuficiencias de los actuales fotómetros que son usados para diseñar o evaluar iluminación interior.
3. Conducir estudios que demuestren las insuficiencias de los fotómetros actuales en condiciones de campo de visión completa.
4. Conducir estudios que muestren cuantitativamente los espectros determinantes del campo de brillo completo.
5. Conducir estudios de campo que demuestren el ahorro de energía y la aceptabilidad de la iluminación escotópicamente mejorada en ambientes de oficinas reales.

Campo Visual: El campo visual normal se extiende aproximadamente 180 grados en el plano horizontal y 130 grado en el plano vertical (60 grados sobre el horizonte y 70 grados debajo de este). La fovea está subtendida en un ángulo aproximado de dos grados, denominado Campo Central. El área circundante que se considera como la mas efectiva para la visión, es la que se extiende a unos 30 grados alrededor del eje óptico. IES (1976: 4.1)

4.4. RELACIONES ENTRE LUZ Y VISIÓN

La luz y la visión son independientes. Un ojo perfecto en la oscuridad no es más

efectivo que un ojo deslumbrado. Por esto es conveniente cuando se diseña la iluminación en espacios interiores, tener en cuenta la luz y la visión.

Existen asociaciones entre la luz y la visión que son importantes, y que el IES (1976: 4.1) y Baschuk, y Vaimberg, (1977) recomienda sean tomadas en cuenta para el adecuado diseño de la iluminación:

Distancia vs. visión cercana: la distancia mínima que debe tener un objeto para que el ojo que lo observa, este en completo descanso es de 20 pies (6 metros) o más. Muchas de las tareas visuales realizadas por el hombre se desarrollan a una distancia aproximada de 14 pulgadas (35 centímetros) de los ojos.

Grandes objetos vs. pequeño objetos: la agricultura, cortar madera, entre otras, son simples tareas, en lo que respecta a la visión, comparadas con la reparación de relojes, contabilidad, costura, correcciones o lectura.

Hora de luz natural vs. horas de día y noche: durante los primeros tiempos del hombre sobre la tierra, desde el amanecer y hasta el atardecer era un día normal. Actualmente después de un día normal de trabajo, y usualmente bajo luz artificial, el hombre continúa usando sus ojos entrada la noche, leyendo en su hogar, viendo películas y televisión, conduciendo su vehículo a velocidades altas, o desempeñando otras tareas visuales. Hoy, el ojo trabaja muchas más horas y descansa menos.

Niveles de iluminación natural vs. niveles de iluminación eléctrica: los niveles de iluminación de la luz natural son en ocasiones cientos o miles de veces mayor que la que se encuentra con la iluminación eléctrica.

“La capacidad visual depende de la iluminación y ... ésta afecta al estado de ánimo de las personas, a su aptitud para desarrollar un trabajo, a su poder de relajación, etc.”
(NIBRA: s.f.: s.p.)

El valor medio de iluminación para cierto trabajo o actividad puede ser determinada por varios factores, entre los cuales están:

- Tamaño de los detalles a captar.
 - Distancia entre el ojo y el objeto observado.
 - Factor de reflexión del objeto observado (luminancia y brillo).
-

-
- Contraste entre los detalles del objeto y el fondo sobre el que se destaca.
 - Tiempo empleado en la observación.
 - Rapidez de movimiento del objeto. (NIBRA: s.f.: s.p.)

Mientras mayor se la dificultad para la percepción visual, mayor debe ser el nivel medio de la iluminación. Esta dificultad se acentúa mucho más en personas de avanzada edad, las cuales necesitan más luz para realizar una tarea con la misma facilidad.

Se ha comprobado que un niño de 10 años necesita un nivel medio de iluminación de 175 lux, para leer un libro con buena impresión, un adulto de 40 años requiere 500 lux y una persona de 60 años necesita 2500 lux. (NIBRA, s.f.: s.p.)

Tarea o realización visual: cuando una persona mira un objeto un momento durante el desempeño de una tarea, la cabeza toma cierta posición en la cual las líneas de visión de los dos ojos convergen en un punto dado. Esto resulta en una sensación subjetiva que representa la realización de la parte ocular de la actividad visual del momento.

El ver todas las cosas que deben ser vistas, en el momento de realizar la parte visual de cualquier tarea, y el termino "tarea visual", usualmente significan la suma total de todas las cosas que deben ser vistas en un momento dado. Una característica de la tarea visual es que puede cambiar de momento a momento. Por esos es importante determinar la iluminación adecuada para las diferentes tareas que pueden realizarse en una ocupación, dentro de un espacio. (IES, 1971: 1.2).

Contraste: se refiere a las diferencias en luminancias entre dos áreas adyacentes. Es uno de los factores más importantes en el diseño de iluminación. También se define como la diferencia de luminancia entre el objeto observado y su espacio inmediato. Los trabajo que requieren gran agudeza visual necesitan un mayor contraste. (NIBRA, s.f.: s.p.)

La relación de luminancias en el campo visual no debe ser menor de 1:3 ni mayor de 3:1. Las relaciones no mayores a 10:1 son admisibles y relaciones como 3:2, pueden resultar monótonas.

“Conseguir relaciones de luminancias cómodas para cualquier situación dada, requiere un especial estudio de todos los factores implicados, incluyendo no sólo las fuentes de luz y las luminarias, sino también las características de reflexión de techos, paredes, pisos, muebles y la iluminación sobre ellos

Para obtener los mejores resultados es necesario crear un equilibrio adecuado entre la luminancia del campo de trabajo y la de otras superficies en el campo visual." (Baschuk, y Vaimberg, 1977: 15)

TABLA 10: CONTRASTE DE COLORES EN ORDEN DECRECIENTE

COLOR DEL OBJETO	COLOR DEL FONDO
Negro	Amarillo
Verde	Blanco
Rojo	Blanco
Azul	Blanco
Blanco	Azul
Negro	Blanco
Amarillo	Negro
Blanco	Rojo
Blanco	Verde
Blanco	Negro

Fuente: NIBRA. Manual de Luminotecnia. OSRAM [s.f.].

Sombras: la visión en relieve se debe, a tener los dos ojos. Esto es porque en cada ojo se forma una imagen ligeramente distinta, que al juntarse en el cerebro dan la sensación de relieve y profundidad. Además, para captar el relieve de los objetos es necesario que se presenten zonas menos iluminadas que otras. (NIBRA, s.f.: s.p.)

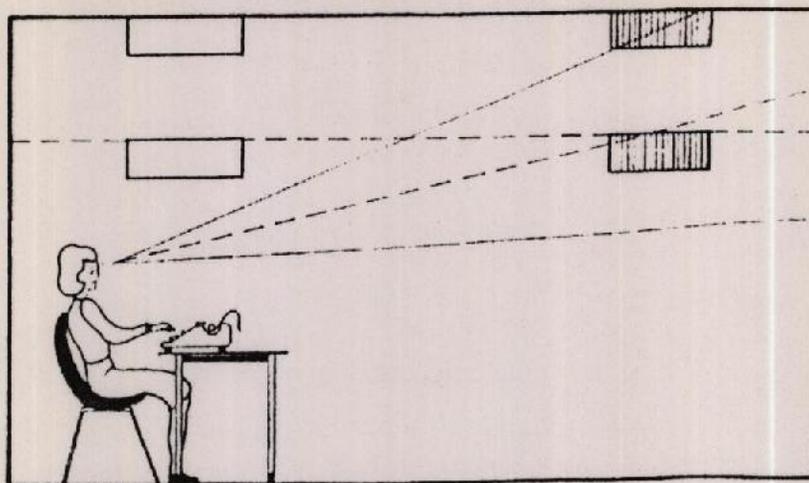
Estas zonas menos iluminación son las sombras, "las cuales destacan las formas plásticas de los objetos" (NIBRA, s.f.: s.p.). Las sombras son el resultado de una diferencia de luminancias respecto a zonas más iluminadas (NIBRA, s.f.: s.p.).

Deslumbramiento : se denomina deslumbramiento al:

"... fenómeno de la visión que produce molestia o disminución en la capacidad para distinguir objetos o ambas cosas a la vez, debido a la inadecuada distribución o escalonamiento de luminancias o como consecuencia de contrastes excesivos en el espacio o en el tiempo.

Este fenómeno actúa sobre la retina del ojo en la cual produce un enérgica reacción fotoquímica, insensibilizándola durante un cierto tiempo, transcurrido el cual vuelve a recuperarse." (NIBRA, s.f.: s.p.)

FIGURA 17: DESLUMBRAMIENTO DIRECTO



Fuente: BASCHUK, B y VAIMBERG, J. Criterios de Predimensionamiento y Métodos de Cálculo de Iluminación. Buenos Aires, Argentina: Espacio Editora, 1977, p.15.

Los efectos que produce el deslumbramiento pueden ser psicológicos (molestos) o fisiológicos (perturbadores). El deslumbramiento puede ser (Labastida, Sifre, y Serra, 1970: 11):

- Directo : cuando es provocado por las fuentes de luz, luminarias o ventanas situadas dentro del campo visual.
- Indirecto : motivado por la visión de zonas brillantes debidas a las reflexiones de los rayos luminosos, especialmente superficies especulares como las del metal pulido.

Los principales factores determinantes en el deslumbramiento, según Baschuk, y Vaimberg, (1977: 12 - 13) y NIBRA (s.f.: s.p.), son:

- La iluminancia de la fuente de luz o de las superficies iluminadas. A mayor luminancia hay un mayor deslumbramiento, siendo el valor máximo tolerable de 7500 cd/m^2 .
- Tamaño de la fuente: en función del ángulo subtendido por el ojo a partir de los 45° con respecto a la vertical. Un área grande de baja luminancia, como un cielo raso luminoso o un cierto número de lámparas, aunque cada una en sí sea de baja luminancia, puede molestar tanto como una sola fuente de mayor luminancia.

-
- Situación de la fuente de luz: el deslumbramiento disminuye rápidamente a medida que la fuente se aleja de la línea de visión normal.
 - Contraste de luminancias: mientras mayor sea el contraste de luminancias entre la fuente de luz y sus alrededores, mayor será el efecto de deslumbramiento.
 - Tiempo de exposición: una luminancia de bajo valor puede producir deslumbramiento si el tiempo de exposición es largo. El estudio del efecto de deslumbramiento implica además del brillo de la lámpara individual, muchas características de la habitación y de las condiciones de uso.
 - Ambiente cromático: el color de la luz y de los sólidos situados en el espacio permite el reconocimiento de todo cuanto nos rodea. Los efectos psicofísicos que producen se denomina como ambiente cromático y éste influye en el estado de ánimo de las personas.

Entre las precauciones lógicas para evitar el deslumbramiento excesivo están:

- a) Proteger todas las lámparas que se instalen dentro del campo visual.

“Una de las reglas fundamentales de la luminotecnia que conviene no olvidar nunca dice que una lámpara no se debe utilizar nunca desnuda. Una lámpara es un aparato destinado a iluminar y no a ser visto” (Leblanc, Dourgnon y Deribere, 1963: 279)

- b) Uso de colores claros en techos y paredes para reducir al máximo el contraste.
- c) Colocar las fuentes de luz por encima de la línea de visión normal, cuando sea posible.
- d) Reducción de la luminancia de las luminarias a límites aceptables. (Baschuk y Vaimberg, 1977: 13 - 14)

4.5. LEYES FUNDAMENTALES DE LA LUMINOTECNIA

Un aspecto importante para el adecuado diseño de la iluminación, es conocer las Leyes de la Luminotecnia, para reforzar algunos de los conceptos estudiados anteriormente.

4.5.1. Ley de la inversa del cuadrado de la distancia :

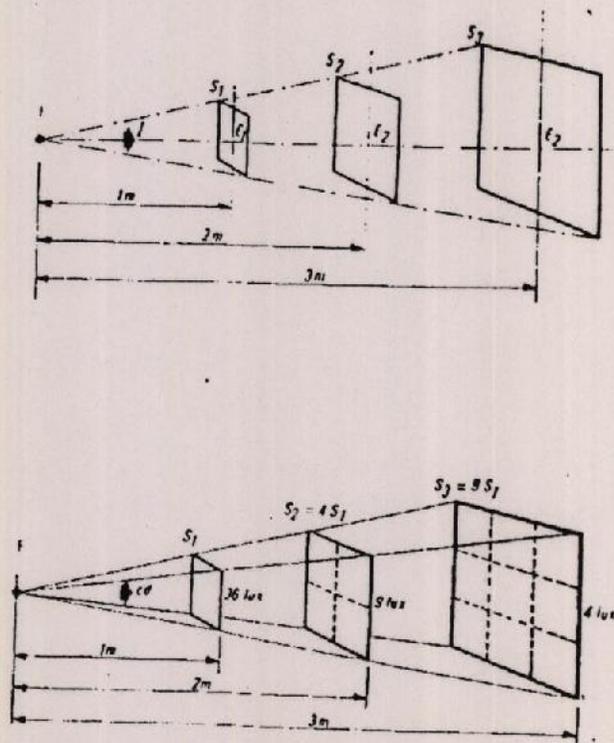
“Para un mismo manantial luminoso, las iluminancias en diferentes superficies situadas perpendicularmente a la dirección de la radiación son directamente proporcionales a la intensidad luminosa del foco, e inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia que las separa del mismo. Esta ley se expresa por la fórmula :

$$E = \frac{I}{d^2} \text{ "NIBRA: s.f.: 79)}$$

Una fuente luminosa puntual F emite el mismo flujo en todas direcciones del espacio. Una superficie S_1 ubicada perpendicularmente a una dirección determinada distante del foco 1 m. se obtendrá una iluminancia regular E_1 ; en otra superficie $S_2 = 4S_1$; distante 2 m., una luminancia E_2 ; y en $S_3 = 9S_1$, distante 3 m, E_3 (NIBRA, s.f.: 79), cuyos valores serán :

$$E_1 \qquad E_2 = \frac{E_1}{4} \qquad E_3 = \frac{E_1}{9}$$

FIGURA 18: DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO LUMINOSO SOBRE DISTINTAS SUPERFICIES Y APLICACIÓN DE LA LEY DE LA INVERSA DEL CUADRADO DE LA DISTANCIA



Fuente: NIBRA. Manual de Luminotecnia. OSRAM [s.f.], p. 80.

Según esta ley una lámpara con una intensidad luminosa de 36 candelas, emitiendo luz en un ángulo sólido constante, producirá sobre una superficie perpendicular situada a distancia de 1, 2, 3 m. las siguientes iluminancias

En la superficie a 1m	$E = \frac{I}{d_1^2} = \frac{36}{1^2} = 36 \text{ lux}$
En la superficie a 2 m	$E = \frac{I}{d_2^2} = \frac{36}{2^2} = 9 \text{ lux}$
En la superficie a 3 m	$E = \frac{I}{d_3^2} = \frac{36}{3^2} = 3 \text{ lux}$
de donde se deduce que :	$E_1 = 4E_2 = 9E_3$

Fuente: NIBRA. Manual de Luminotecnia. OSRAM [s.f.], p. 80.

4.5.2. Ley del Coseno:

“La iluminancia en un punto cualquiera de una superficie es proporcional al coseno del ángulo de incidencia de los rayos luminosos en el punto iluminado”. (NIBRA, s.f.: 81)

Se enuncia por medio de la siguiente fórmula:

$$E = \frac{I}{d^2} \cos \alpha$$

Si se tienen dos fuentes F y F' con la misma intensidad luminosa y a la misma distancia de un punto P. La fuente F con un ángulo de incidencia α igual a cero, corresponde un $\cos 0 = 1$, y produce una iluminación en el punto P de valor:

$$E_p = \frac{I}{d^2} \times 1$$

De igual manera el foco F con ángulo α de 60° , le corresponde el $\cos 60^\circ = 0,5$, producirá en el mismo punto una iluminación de valor

$$E'_p = \frac{I}{d^2} \times 0,5$$

Es decir, que $E'_p = 0,5 E_p$, con lo que se observa que para obtener una misma iluminación en el punto P, la intensidad luminosa del foco F' debe ser el doble de la lámpara F.

Como en la práctica no se conoce muchas veces la distancia d del foco al punto considerado sino su altura h a la horizontal del punto, y al ser $\cos \alpha = \frac{h}{d}$ y $d = \frac{h}{\cos \alpha}$, se obtiene la siguiente fórmula en la que interviene la altura:

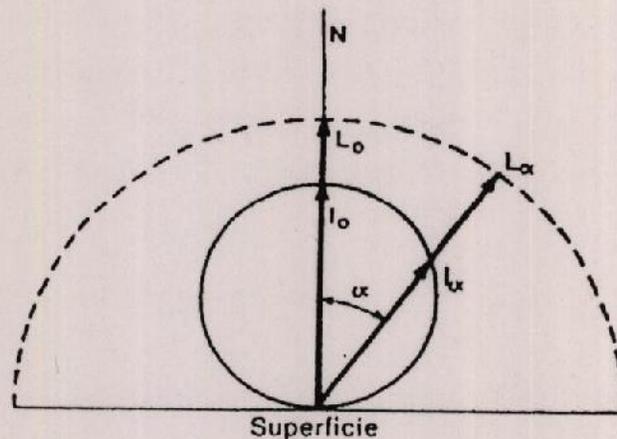
$$E_p = \frac{I}{h^2} \cos^3 \alpha \quad (\text{NIBRA, s.f.: 81})$$

4.5.3. Ley de Lambert .

Existen superficies emisoras o difusoras que al observarla desde distintos ángulos tienen la misma claridad. A estas superficies se les denomina difusores o emisores perfectos. Si L_o es la luminancia según la normal y L_α es la luminancia según el ángulo de observación α , se verifica que $L_o = L_\alpha$ para cualquier ángulo α (NIBRA, s.f.: 84).

Como $L_o = \frac{I_o}{S}$ y $L_\alpha = \frac{I_\alpha}{S \cos \alpha}$, cumple la ecuación $I_\alpha = I_o \cos \alpha$

Esta relación sólo se cumple con emisores y difusores perfectos, como el óxido de magnesio, y también se cumple con gran aproximación con superficies de color blanco mate y metales fundidos.

FIGURA 19: INVARIABILIDAD DE LA LUMINANCIA CON EL ÁNGULO DE INCIDENCIA


Fuente: NIBRA. Manual de Luminotecnia. OSRAM [s.f.], p. 80.

4.6. FUENTES DE LUZ ARTIFICIAL

Es conveniente conocer los aspectos básicos de las diferentes fuentes de luz eléctrica, para el adecuado uso de éstas en la planificación y diseño de la iluminación artificial en espacios interiores.

La iluminación, como se ha comentado anteriormente, puede ser producida de diferentes maneras, y la incandescencia y la fotoluminiscencia son las principales:

La incandescencia es la emisión de radiación visible producida por un cuerpo a alta temperatura. (IESNA, 1995: 3.3)

La fotoluminiscencia resulta de la excitación de los átomos de un gas neutral, a través de colisiones con electrones en un arco de descarga. La radiación resultante puede ser visible al ojo (luz) o invisible (ultravioleta). La radiación puede ser producida en una descarga de baja presión (lámpara de sodio de baja presión) o a descargas de alta presión (familia de fuentes de luz de descarga de alta intensidad, [HID] por las siglas del inglés; high-intensity discharge). IESNA (1995: 3.2)

4.6.1. Características generales de la fuente de luz, según el IESNA (1995: 3.2):

- Salida de luz: un vatio de flujo radiante emitido a 550 nanómetros (el punto en el cual el ojo es más sensitivo) produce 680 lúmenes. Un vatio de flujo radiante distribuido equitativamente sobre el espectro visible completo, produce aproximadamente 220 lúmenes, esta es teóricamente la máxima eficacia de la luz blanca.
- Eficacia de la Lámpara: la eficacia de una fuente de luz es el total del flujo luminoso emitido (lúmenes) por la fuente dividido por el poder (vatios) que entra en la fuente. Esta es expresada en lúmenes por vatios (rendimiento luminoso).
- Depreciación de la salida de luz: todas las fuentes de luz se deprecian con el uso. La cantidad de luz emitida por una bombilla con el tiempo será menor que cuando comenzó inicialmente. Esta depreciación puede variar según la fuente.
- Mortalidad: todas las fuentes de luz fallan en una manera predecible basado en numerosas y exhaustivas pruebas. Esta mortalidad varia según el tipo de fuente. Y su promedio es el punto en el cual el 50 % de las lámparas en una instalación dada pueden fallar.
- Vida de la lámpara: la vida de una fuente de luz puede variar ampliamente dependiendo de las características de cada una.
- Color: el color de una fuente de luz depende del total de la radiación visible total emitida. El color de una fuente de luz se conoce con el nombre de cromaticidad.

4.7. LÁMPARAS INCANDESCENTES

Es una de las lámparas más usadas en el mundo, por diversos tipos de usuarios y actividades. Una de sus principales características es ser una fuente de calor:

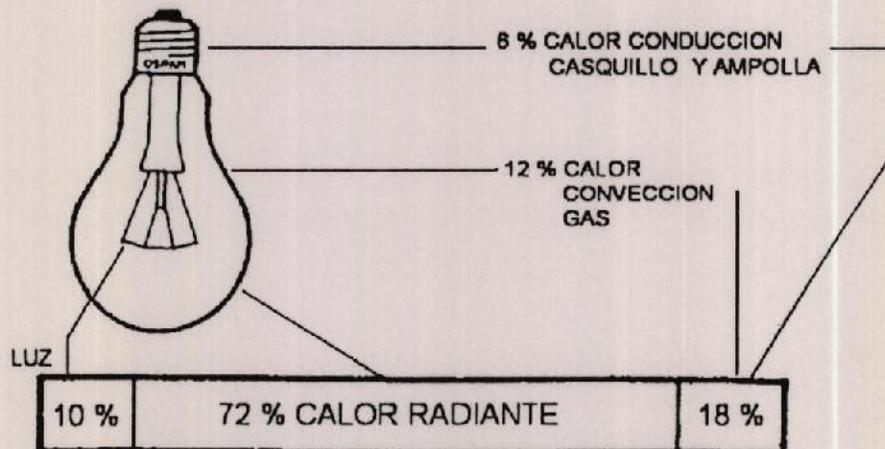
“La lámpara incandescente para alumbrado general es un termorradiador, compuesto por un filamento metálico de wolframio en forma de espiral, alojado en el interior de una ampolla de vidrio evacuada, y calentado al rojo blanco por la corriente eléctrica de manera que además de calor también emite luz; sin embargo, es muy poca la energía luminosa que se obtiene comparada

con la gran energía calorífica que irradia, lo cual significa que una gran parte de la energía eléctrica transformada se pierde en calor y por ello el rendimiento en la transformación luminosa en las lámparas incandescentes normales es pequeño” (NIBRA s.f. s.p.)

Sólo hasta un 10 % de la energía consumida se aprovecha para la producción de luz, y esto depende del tipo y potencia de lámpara. Pero ésta pérdida es compensada en cierto modo por su sencilla construcción y funcionamiento y bajo costo. Su uso es generalizado, desde el residencial, comercial, decorativo y recreativo hasta el industrial.

“A pesar del relativamente limitado rendimiento luminoso conseguido en las lámparas incandescentes para alumbrado general (no mayor de 20 lm/w), estos radiadores térmicos han conseguido imponerse con éxito en la práctica del alumbrado de interiores (principalmente del hogar) ya que sus propiedades se han mejorado cada vez más, adaptándose sus formas constructivas a los distintos casos de aplicación.” (NIBRA, s.f.: s.p.)

FIGURA 20: TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LA PRODUCCIÓN DE LUZ EN UNA LÁMPARA INCANDESCENTE



Fuente : NIBRA. Manual de Luminotecnia. OSRAM [s.f.], p. 67.

4.7.1. Partes de una bombilla incandescente.

Los principales componentes en una lámpara incandescente, son:

- El filamento: es el elemento de la lámpara que produce la luz. Actualmente la mayoría de los filamentos se construyen de tungsteno, que es un metal que posee un punto alto de fusión, bajo coeficiente de evaporación, fuerza y ductilidad, y características favorables para la radiación.

Los filamentos adoptan un número de diferentes formas basados en la aplicación y la vida deseada para la lámpara. (IESNA, 1995: 3.2)

- La bombilla: el propósito de la bombilla de vidrio que envuelve la lámpara es proteger el filamento, además de contener el vacío o gas inerte que necesita el filamento para operar. La emisión de radiación puede alterar su acabado y revestimiento. Son fabricadas en diferentes tamaños y formas, según el uso que reciben, igualmente su acabado puede variar de vidrio transparente, de colores o algún otro tipo de revestimiento. (IESNA, 1995: 3.3)
- La base: tiene un doble propósito en la lámpara incandescente: (1) Suministrar la corriente eléctrica a los alambres dentro de la lámpara y (2) sujetar el bombillo a su montura. El aluminio y el bronce son los mejores materiales para las bases de la lámpara. (IESNA, 1995: 3.5)

4.7.2. Clasificación de las lámparas incandescente

- Servicio General: las lámparas de servicio general son usadas para proveer iluminación general desde 15 hasta 1500 vatios.
- Lámparas Reflectorizadas:
 - Lámparas Proyectoras: llamadas comúnmente lámparas PAR y EAR,
 - Lámparas Reflectoras: llamadas R.
 - Lámparas con Cúpula Espejada Completa
 - Lámparas con Semi Cúpula Espejada.

Éstas lámparas son un sistema óptico completo dentro de una bombilla simple.

La bombilla contiene el filamento, el reflector y la lente. Sus ventajas son: (1) el proyector construido internamente elimina la necesidad de limpiar la luminaria, cada vez que se reemplaza una bombilla, se reemplaza el sistema óptico completo, (2) su tamaño reducido le hace menos notable en muchos casos, (3) menor gasto de dinero en un equipo compacto si no se necesita una luminaria con el reflector o el lente separados y (4) su famosa larga vida.

Su mayor desventaja es su relativo alto costo (Nuckolls, 1976: 61)

- Bombillas decorativas y de señales: la apariencia físicas es la característica principal de éstas lámparas, ya que tienen formas distintivas, así como diversos colores. Se desarrollaron para decoración de interiores así como en aplicaciones exteriores.
 - Lámparas de Tungsteno - Halógeno: este tipo de lámparas se diferencia de las convencionales en su tamaño y estructura. Usa el ciclo del halógeno por medio del cual el tungsteno evaporado regresa al filamento eliminando el oscurecimiento de la bombilla. Es una lámpara de larga duración y de gran cantidad de iluminación en un diámetro pequeño.
Tienen la desventaja de generar gran cantidad de calor, y esto puede ser crítico al usarse en espacios pequeños. Además, su forma linear no es la mejor para algunos requerimientos ópticos. Puede ser usada dentro de otras bombillas para mejorando su calidad óptica. (Nuckolls, 1976: 61 - 62)
 - Lámparas Infrarrojas: las lámparas infrarrojas de filamento de tungsteno están entre las fuentes más eficientes de calor por energía radiante. Éstas operan a temperaturas diseñadas para producir más energía infrarroja que visible, energía que calienta las superficies hacia las cuales ha sido dirigida.
 - Lámparas de Aplicación Especializada:
 - Lámparas para Aparatos: operan en ambientes fríos como neveras y refrigeradores o ambiente de altas temperaturas como hornos.
 - Lámparas para trabajos Bruscos y Vibraciones: diseñadas para soportar
-

-
- choques y golpes.
- Lámparas para Iluminación de Calles.
 - Lámparas Ópticas: de gran importancia en la ciencia, industria y educación. Diseñada bajo altos estándares de construcción y precisión.
 - Lámparas de Múltiples Filamentos: son lámparas de uso general que poseen dos filamentos y una base de tres contactos, que hace que los filamentos trabajen solos o en conjunto, proporcionando varios niveles de iluminación, sin la utilización de dimmer (control).
 - Lámparas de Estudio: fabricadas en rangos de 75 hasta 10.000 vatios, con filamentos diseñados para una máxima salida de luz, en emisiones controladas por un reflector.
 - Lámparas de Indicación: ofrecidas en un amplio rango de tamaños, formas, potencia en vatios, colores y estilo de bases. Son usadas para indicaciones y señalizaciones.
 - Lámparas de Servicio Extendido: diseñadas con baja eficacia para proporcionarle larga vida, para ser usadas en aplicaciones donde es difícil reemplazar la lámpara.
 - Lámparas de Bajo Voltaje: estas lámparas incorporar un filamento corto, que como auxiliares pueden producir una mejor luz de control. Son utilizadas para iluminación de seguridad y de exhibición.

4.7.3. Problemas de servicio de las lámparas incandescentes

Existe una cantidad de razones por las cuales una lámpara incandescente puede dejar de funcionar. La más comunes, tomadas de Nuckolls (1976: 66 - 67), son:

- El calor: el excesivo calor raramente causa fallas en una lámpara, pero algunas fallas por calor son culpa de altas temperaturas y pobre ventilación. Recordemos que el filamento está diseñado para resistir altas temperaturas, pero esto mismo no es verdad para la base y la bombilla que pueden hincharse o dilatarse con el calor.
-

-
- Bases sueltas: el calor excesivo concentrado cerca de la base de la lámpara puede causar que el pegamento que une la base a la bombilla de vidrio se desintegre, esto provoca que la bombilla se separe de la base cuando ésta es manipulada.
 - Vibraciones y choques: los choques y vibraciones bruscas afectan la vida de la lámpara, para este tipo de usos se han diseñado lámparas especiales.
 - Sacudidas: un sonido dentro de la lámpara no significa que ésta se haya quemado. El ruido puede ser por partículas suelta debidas sacudidas recibidas por la lámpara.
 - Posición de funcionamiento incorrecto: muchas lámparas deben colocarse en una posición específica para poder funcionar correctamente. Raramente son lámparas de uso general.
 - Colocación y corrosión: muchas lámparas tienen las bases cubiertas con lubricantes que retardan la corrosión de la base de metal y facilitan su colocación y extracción. La corrosión puede interferir en la transmisión del flujo eléctrico, causando chispas, las cuales también pueden ocurrir si la lámpara está mal colocada.
 - Perdidas: una bombilla rota puede generar fugas de aire que eventualmente dañaran el filamento.
 - Variaciones eléctricas: si una lámpara opera en un circuito eléctrico que excede su voltaje, su vida será acortada. En cambio su vida se extenderá si el voltaje es más bajo. Pequeños cambios frecuentes en el voltaje pueden tener grandes efectos en la duración de la lámpara y en su cantidad de iluminación.

4.7.4. Ventajas y desventajas de la lámparas incandescentes

a) Ventajas una fuente incandescente, según el IESNA (1995: 3.8):

- El filamento concentrado se aproxima a un punto de luz, esto hace posible conseguir un mejor control óptico.
 - Bajo costo inicial.
 - Circuitos simples, sin necesidad de aparatos auxiliares para suplir de energía a las
-

lámparas.

- Operan en un amplio rango de temperaturas ambientales.
- Su vida no depende la cantidad de arranques para calentarse que realicen.

b) Desventajas de una fuente incandescente:

- Baja eficacia luminosa
- Componentes infrarrojos altos, que ponen límite a la cantidad de iluminación que puede proporcionar un sistema incandescente.
- Operan con bombillas a altas temperaturas.
- Son afectadas críticamente por las variaciones de voltaje.
- Son, relativamente, de corta vida.
- Pueden ser susceptibles a choques térmicos o mecánicos.

4.8. LÁMPARAS FLUORESCENTES

La lámpara fluorescente es uno de los miembros de la familia de fuentes de descargas eléctricas. Es básicamente un tubo de vidrio cubierto de un material fluorescente llamado fósforo, más un relleno de gas de argón u otros gases inertes, y una pequeña cantidad de mercurio. El arco de mercurio, operando a baja presión produce energía ultravioleta a 253,7 nanómetros. Ésta energía es cambiada a luz visible por la acción del fósforo. (IESNA, 1995: 4.1)

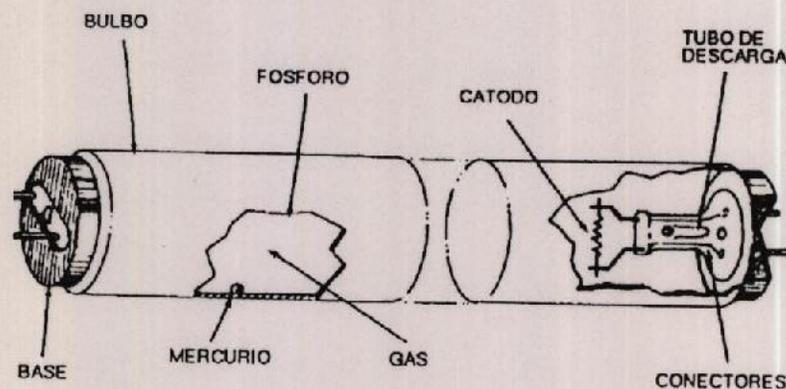
Los principales componentes de un fluorescente son (IES, 1976: 4.3):

- El tubo: es un recipiente cerrado que encierra el mercurio y el gas, además de la cubierta de fósforo. El tubo puede ser lineal, en forma de U y circular, con diferentes diámetros.
 - Base: las bases conectan la lámpara al circuito eléctrico y soportan la lámpara.
 - Electrodo: éstos proporcionan los terminales para el arco y la fuente de los electrones, ellos funcionan alternativamente como cátodos y ánodos. Dos tipos de electrodos son usualmente usados:
-

Cátodo caliente: es un espiral enrollado o un filamento de tungsteno triple enrollado con un material emitiendo electrones.

Cátodo frío: es un tubo de hierro puro o níquel, con la superficie interna cubierta con un material emitiendo electrones.

FIGURA 21: PARTES DE UNA LÁMPARA FLUORESCENTE



Fuente: NUCKOLLS, James. *Interior Lighting for Enviromental Designers*. New York: Wiley - Interscience Publication, John Wiley & Sons, 1976, p. 71.

- Gas de relleno: gotitas de mercurio líquido están presentes en una lámpara fluorescente, y durante la operación el mercurio es vaporizado a muy baja presión, además del mercurio la lámpara también tiene pequeñas cantidades de argón u otro gas raro o una combinación, este gas se ioniza rápidamente cuando el voltaje es aplicado, atravesando el tubo y ayuda al encendido.
- Fósforo: esta cubierta transforma la energía de 253,7 nanómetros, en luz. La lámpara fluorescente toma su nombre gracias al fósforo fluorescente. La combinación química del fósforo determina el color de la luz producida.

4.8.1. Clasificación de las Lámparas fluorescentes

- Lámparas precalentadas: estos fluorescentes usan un circuito de inicio para precalentar los electrodos. Este sistema requiere de un balasto y un arrancador o

cebador. El proceso de precalentamiento requiere de 3 a 5 segundos para su realización.

- Lámparas de Arranque Instantáneo: para superar el arranque lento de los sistemas precalentados y eliminar la necesidad de un arrancador o cebador, fue desarrollada la lámpara de arranque instantáneo. En ésta el circuito de arranque es eliminado por un balasto que supe el alto voltaje y los electrodos arrancan en frío.
- Lámpara de Arranque Rápido: es una combinación de lo mejor de la lámpara de arranque precalentado y la de arranque instantáneo. El precalentamiento es sustituido por un electrodo de calentamiento dentro del balasto. No necesita cebador. La lámpara logra su brillo total en 2 o 3 segundos. Es la más popular de los sistemas de iluminación fluorescente.
- Lámparas fluorescentes para Cualquier Clima: son lámparas de arranque rápido que con un forro en su alrededor mantiene la temperatura de las paredes de la bombilla proporcionando un razonable rendimiento de luz en ambientes de baja temperatura.

Entre los componentes más importantes para el funcionamiento de las lámparas fluorescentes está el balasto, el cual cumple todas o algunas de las siguientes funciones (IES, 1976: 4-4):

- Suministra suficiente voltaje para el arranque de la lámpara.
- Limita a los actuales fluorescentes para prevenir la destrucción de la lámpara.
- Proporciona un factor de corrección de flujo eléctrico.
- Proporciona circulación para el calentamiento de los electrodos.
- Proporciona supresión de interferencias de radio.

Y el arrancador o cebador, siendo el más normal el de destellos, en cuyo interior hay una ampolla de vidrio llena de gas neón a baja presión, y dos electrodos, un de los cuales se dobla ligeramente por la acción de calor (NIBRA, s.f.: s.p.)

El cebador al producirse la conexión produce una pequeña descarga eléctrica, cierra

las laminas completando un circuito y con esto se estimula al balasto a lanzar un impulso de tensión con lo que se inicia la descarga de arco y el funcionamiento de la lámpara. Una vez encendida el cebador queda fuera de servicio, si el encendido fallara el cebador vuelve a funcionar de la misma forma. (NIBRA, s.f.: s.p.)

4.8.2. Aplicación de las lámparas fluorescentes

Se ha comprobado que las lámparas fluorescentes pueden sustituir a las incandescentes, su desventaja con respecto a éstas es su color, que para muchas personas no irradia la misma calidez que las incandescentes. Esto ha sido corregido por las diferentes empresas que las fabrican, y los fluorescentes actualmente ofrecen una amplia gama de colores, para complacer el gusto de casi todas las personas y actividades.

“Las lámparas fluorescentes, por sus excelentes características para proporcionar la cantidad y el color de luz requeridos en la moderna iluminación, además de la ventaja económica que supone su elevado rendimiento luminoso y larga vida útil, han conseguido que se generalice su uso en el alumbrado de industrias, oficinas, comercios, locales públicos y de espectáculos, escuelas en el de viviendas”. (NIBRA, s.f.: s.p.)

Las lámparas fluorescentes son 5 veces más eficaces que las incandescentes equivalentes, además, duran 8 veces más, su consumo de energía eléctrica es 80 % menor, y el calor generador es mucho menor, 25%, que el generado por una bombilla incandescente.

Dentro de las lámparas fluorescentes actuales es importante mencionar a la Lámparas Fluorescentes Compactas Ahorradoras de Energía, que poseen la misma ventajas de las fluorescentes normales, y en este tipo de lámparas, una de 20 vatios es equivalente a una incandescente de 100 vatios. Éstas presentan un balasto electrónico miniaturizado incorporado y pueden ser usadas en instalaciones diseñadas para lámparas incandescentes.

4.8.3. Ventajas y desventajas de las lámparas fluorescentes

a) Ventajas una fuente fluorescente, según el IESNA (1995: 3.8):

-
- Alta eficacia.
 - Larga vida.
 - Fuente lineal.
 - Variedad de colores disponibles.
 - Relativamente baja superficie de luminancia y temperatura.

b) Desventajas de una fuente fluorescente:

- Alto costo inicial por requerir de equipo auxiliar.
- Sensibles a la temperatura y humedad.
- Interferencia de radio.
- Relativamente baja cantidad de lúmenes por tamaño físico de la lámpara.
- No se presta por sí misma a un control crítico de luz.

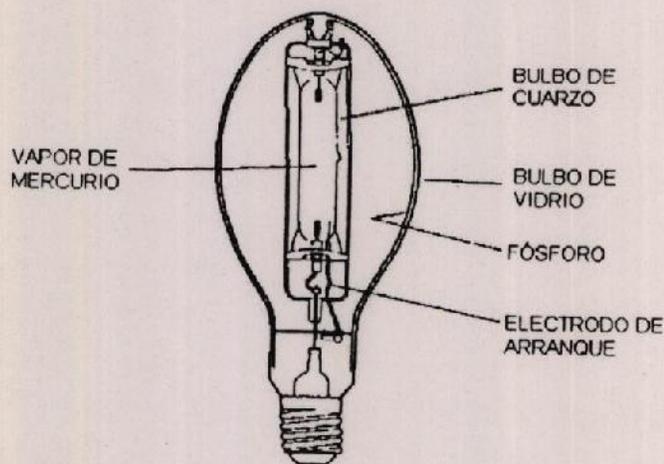
4.9. LÁMPARAS DE DESCARGA DE ALTA INTENSIDAD

Las lámparas de descarga de alta intensidad (HID) consisten en tres categorías de fuentes de luz. Estas son: lámparas de mercurio, lámparas de halogenuros metálicos y lámparas de sodio de alta presión. (IES, 1976: 4.6)

Estas lámparas se basan en un tubo de arco obteniéndose una alta luminancia. Esto es parte, en consecuencia de operar el tubo de arco a alta presión y a una alta carga en las paredes de la lámpara.

Las lámparas consisten en un tubo de arco transparente o traslucido, este tubo tiene confinado en su interior la descarga eléctrica y gas asociado. Este tubo está encerrado en una bombilla de vidrio u otro forro para dejar fuera el aire, esto es para prevenir que las partes metálicas se oxiden, además de estabilizar la temperatura de operación, disminuyendo significativamente la radiación ultravioleta, la cual puede ser emitida por la lámparas de mercurio y las de halogenuros metálicos. (IES, 1976: 4.6)

FIGURA 22: LÁMPARA DE MERCURIO DE DESCARGA DE ALTA INTENSIDAD



FUENTE: PRITCHARD, D C. Environmental Physics: Lighting. Editor C R Bassett.
London : Longman Group Ltd, 1976, p. 28.

Como otras lámparas de descarga, éstas deben operar en serie con balastos. Estos balastos proporcionan el voltaje de arranque necesario y limita el voltaje a valores para lo cual la lámpara ha sido diseñada. (IES, 1976: 4.6)

4.9.1. Aplicación de las lámparas de Descarga de alta densidad

Su empleo está principalmente indicado para la iluminación artificial exterior (público, industrias, obras) y para el interior (naves de fabricación) donde ha sustituido prácticamente a las lámparas incandescentes. Las lámparas de descarga de alta representan gran economía por su elevado rendimiento y larga vida que permiten iluminaciones en las que se requiere luz abundante con una aceptable reproducción cromática. (NIBRA, s.f.: s.p.)

Quinto Capitulo

DISEÑO DEL ALUMBRADO EN
ESPACIOS INTERIORES

5. DISEÑO DEL ALUMBRADO EN ESPACIOS INTERIORES

Existen otros aspectos técnicos y conceptuales que son necesarios conocer para comprender, mucho mejor, como debe realizarse el adecuado diseño del alumbrado en espacios interiores.

5.1 INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN

Las luminarias son los aparatos que contienen la lámpara, y puede ser de cualquier forma, desde un simple receptáculo o capucha hasta una araña de luces de fino cristal cortado. El IES (1976: 5.1), las define como la unidad completa de iluminación, que incluye la lámpara, las conexiones y el equipo para controlar la luz.

Entre sus funciones están:

- Proporcionar un medio de suspensión de la lámpara en el espacio.
- Controlar la distribución de la luz de la lámpara.
- Proteger la lámpara.
- Decorar el interior.
- Contener el equipo de control de la lámpara.

Estos aspectos, en algún momento, pueden ser conflictivos y es necesario cuando se diseña el alumbrado, establecer algún orden de prioridad. (Pritchard, 1976: 30)

5.2. CLASIFICACIÓN DE LA ILUMINACIÓN:

No hay una forma simple de clasificar la iluminación, ya que ésta depende de:

- a) Su aplicación o localización: que puede ser industrial, escolar, oficina, comercial, doméstica, entre otras. Esto puede ser confuso ya que algunas aplicaciones no pueden ser fácilmente identificables de ésta manera. Un hospital es un ejemplo que puede tener todas estas aplicaciones y en algunos espacios, como los quirófanos, tener sus propios requerimientos. (Pritchard, 1976: 30)
-

b) Por su método de suspensión: esto clasifica a las instalaciones de iluminación como: apliques de pared, colgante, de techo, empotrada y semi - empotrada. (Pritchard, 1976: 30)

c) Según el método de iluminación o distribución de la luz sobre el área a iluminar:

- Alumbrado general: es aquel en la cual la disposición de las luminarias, la altura del montaje y su distribución, da una iluminación razonablemente uniforme sobre el área total a iluminar.

Se consigue normalmente, distribuyendo las luminarias de manera simétrica y en filas. Presenta la ventaja de que la iluminación es independiente de la ubicación de los puestos de trabajo, y éstos pueden ser cambiados o dispuestos en la forma que se desee.

Tiene el inconveniente de que una iluminancia media no pueda corresponder con personas que necesitan una mayor cantidad de iluminación, como personas de mayor edad, o a las zonas de trabajos que requieran niveles altos. (NIBRA, s.f.: s.p.)

- Alumbrado general localizado: consiste en colocar las luminarias de manera que suministre iluminación intensa sobre las áreas de trabajo, logrando iluminancia en áreas contiguas donde sería un desperdicio seguir iluminando con un nivel alto. (Baschuk y Vaimberg, 1977: 22)

Presenta inconvenientes al efectuar un cambio de las zonas de trabajo establecidas, porque habría que reestructurar la instalación del alumbrado.

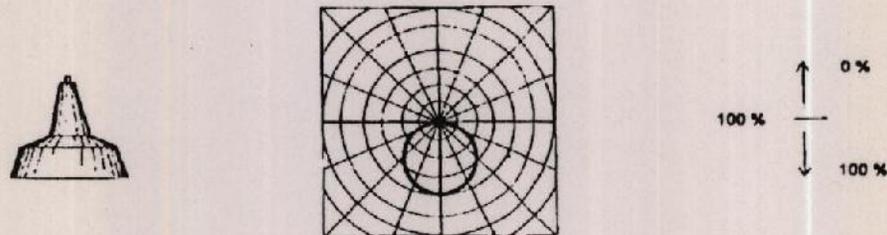
- Alumbrado localizado o suplementario: es aquel que se coloca, existiendo alumbrado general, para disponer de niveles elevados medios de iluminación, en sitios de trabajo que por la actividad realizada lo requiera. (Baschuk y Vaimberg, 1977: 23)

Para eliminar los posibles deslumbramientos por la diferencia de iluminancias que proporciona este tipo de alumbrado, debe existir una relación adecuada que no exceda de 10:1 entre las áreas de trabajo y las contiguas.

a) En función de su distribución de luz : las luminarias pueden clasificarse de acuerdo al porcentaje de lúmenes emitidos por la luminaria sobre y debajo de la horizontal. Estas pueden ser, según el IES (1976: 5.3):

- Directa :de 0 a 10 % hacia arriba, 90 a 100 % hacia abajo, este tipo es eficiente para hacer llegar la mayor cantidad de a un plano de trabajo directamente. Produce una gran diferencia entre el techo y la luminarias, además de crearse grandes sombras y deslumbramiento.

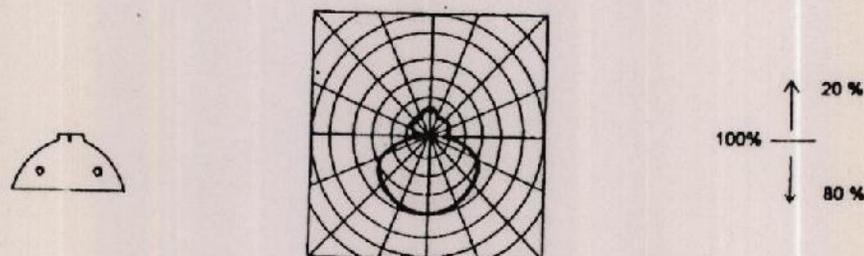
FIGURA 23: DISTRIBUCIÓN DE LUZ DIRECTA



Fuente: BASCHUK, B y VAIMBERG, J. Criterios de Predimensionamiento y Métodos de Cálculo de Iluminación. Buenos Aires, Argentina: Espacio Editora, 1977, p.23.

- Semi - Directa: 10 a 40 % hacia arriba, 60 a 90 % hacia abajo, en este tipo de luminaria todavía hay mucha luz hacia abajo pero algo de luz se dirige hacia el techo.

FIGURA 24: DISTRIBUCIÓN DE LUZ SEMIDIRECTA

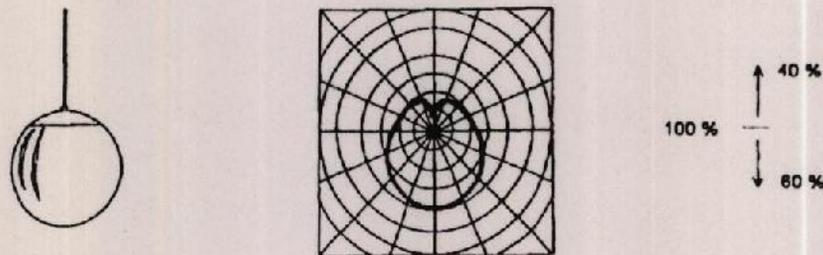


Fuente: BASCHUK, B y VAIMBERG, J. Criterios de Predimensionamiento y Métodos de Cálculo de Iluminación. Buenos Aires, Argentina: Espacio Editora, 1977, p.23.

- General Difusa: 40 a 60 % hacia arriba, 40 a 60 % hacia abajo. Este tipo de

luminaria irradia iluminación de igual forma hacia todas las direcciones. Una variación de ésta es la Directa - Indirecta, el cual por el tipo de instalación no emite casi iluminación cerca de eje horizontal.

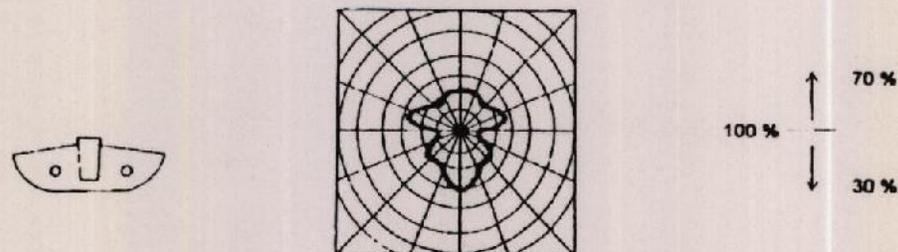
FIGURA 25: DISTRIBUCIÓN DE LUZ SEMIDIRECTA



Fuente: BASCHUK, B y VAIMBERG, J. Criterios de Predimensionamiento y Métodos de Cálculo de Iluminación. Buenos Aires, Argentina: Espacio Editora, 1977, p.24.

- Semi - Indirecta: 60 a 90 % hacia arriba, 10 a 40 % hacia abajo, en éstas el gran porcentaje de la luz es dirigida hacia el techo y las partes superiores de las paredes. El techo debe tener una alta reflectancia para poder reflejar la luz.

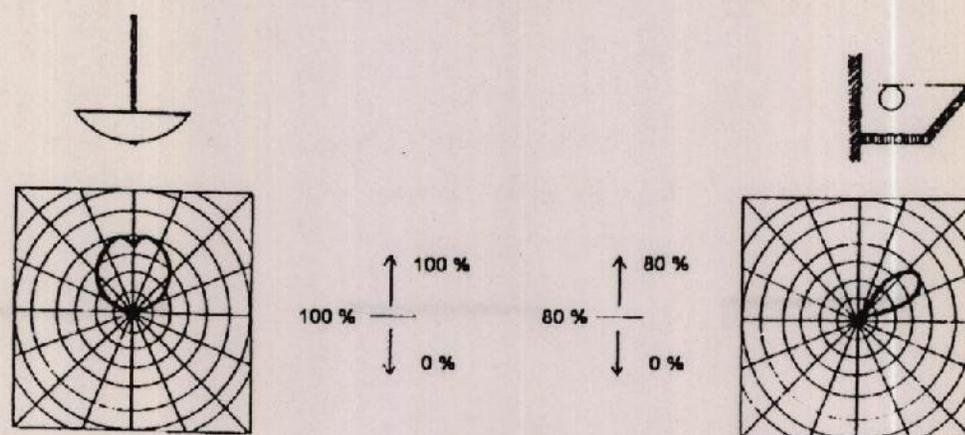
FIGURA 26: DISTRIBUCIÓN DE LUZ SEMI-INDIRECTA



Fuente: BASCHUK, B y VAIMBERG, J. Criterios de Predimensionamiento y Métodos de Cálculo de Iluminación. Buenos Aires, Argentina: Espacio Editora, 1977, p.25.

- Indirecta: 90 a 100 % hacia arriba, reflectores indirectos dirigiendo totalmente la luz hacia el techo, aquí las sombras son mínimas pero el deslumbramiento puede estar presentes si el techo es muy brillante.

FIGURA 27 : DISTRIBUCIÓN DE LUZ INDIRECTA



Fuente: BASCHUK, B y VAIMBERG, J. Criterios de Predimensionamiento y Métodos de Cálculo de Iluminación. Buenos Aires, Argentina: Espacio Editora, 1977, p.25.

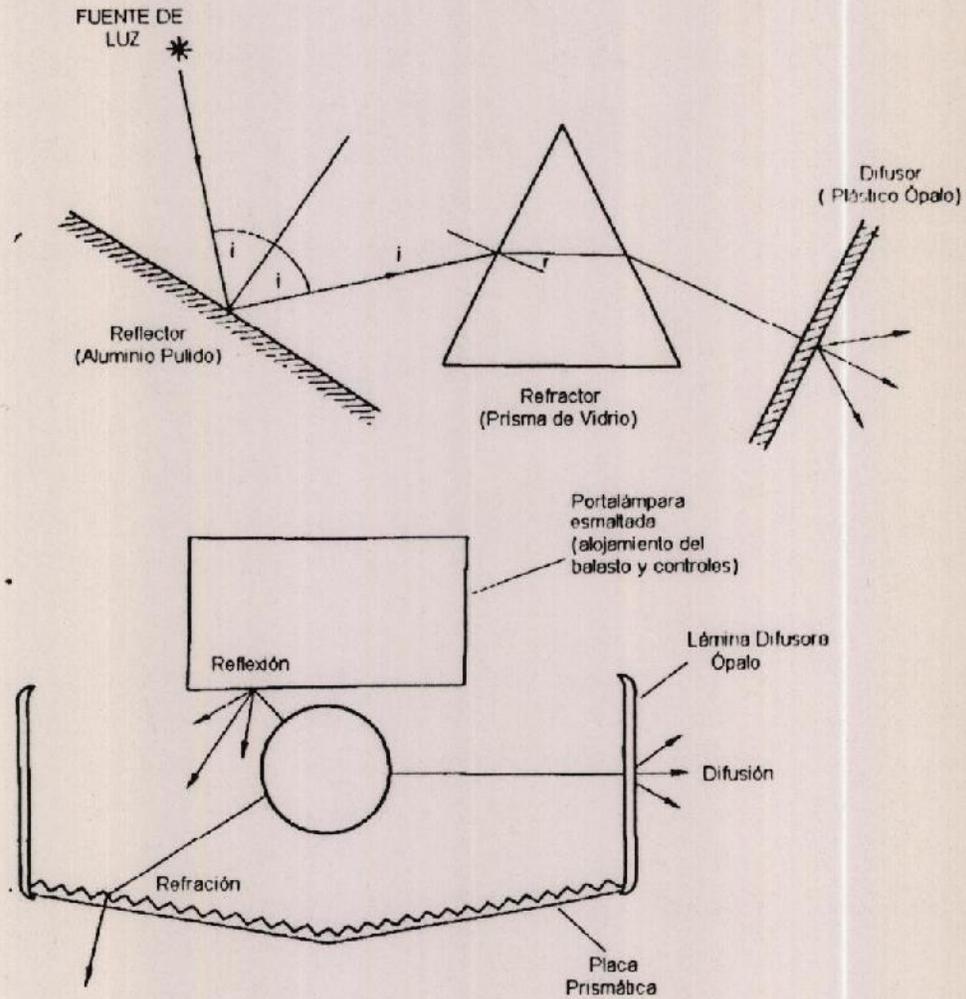
5.3. CONTROL ÓPTICO

Un aspecto importante para el diseño del alumbrado eléctrico, es el control o redireccionamiento óptico que se realice de la luz que emite una lámpara, la cual puede ser por refracción, reflexión y difusión. (ver figura 20)

El grado de control depende del acabado del material. Un material reflector como el aluminio pulido puede ser descrito como directo o especular. Una superficie con un grado de rugosidad puede reflejar la luz hacia varias direcciones, esto es conocido como reflexión difusa y muchas superficies pintadas contiene una mezcla de la propiedades de la reflexión especular y la reflexión difusa. (Pritchard, 1976: 32)

De igual manera, un refractor puede ser parcialmente difuso si su superficie es puesta áspera por grabado o chorro de arena. La Figura 20 ilustra como varios aspectos de control pueden ser utilizados en una instalación fluorescente comercial.

FIGURA 28: MÉTODOS DE CONTROL DE LUZ Y CONTROL DE LUZ EN UNA INSTALACIÓN FLUORESCENTE



FUENTE: PRITCHARD, D C. Environmental Physics: Lighting. Editor C R Bassett. London: Longman Group Ltd, 1976, p. 33.

5.4. EL DISEÑO DEL ALUMBRADO.

Existen, según Iturra (1996), dos elementos prioritarios para el análisis, planificación, cálculo y diseño del alumbrado adecuado en un espacio interior de una edificación. Estos son (1) la realización del inventario de las condiciones del proyecto y (2) establecer las metas de diseño:

5.4.1. **Realizar el inventario de las condiciones dadas**: hacer el inventario de lo conocido de cualquier proyecto, es un paso crítico para la evaluación de la visión, la percepción y de las necesidades de iluminación.

Diseños de iluminación poco inteligentes pueden ocurrir sin el conocimiento de una variedad de características de la arquitectura y del cliente. El proceso de obtener el conocimiento de la arquitectura y el cliente preparará al diseñador para tomar decisiones apropiadas y racionales.

Los siguientes aspectos (Iturra, 1996) pueden servir de guía para determinar los criterios de diseño para la iluminación:

- Dimensiones del espacio.
- Actividades del espacio.
 - Primaria.
 - Secundaria
- Tareas visuales:
 - Clasificadas por su importancia
 - Clasificadas por el tiempo de desarrollo
- Edad de los ocupantes.
- Mobiliario (disposición): el uso del mobiliario es importante tanto para el interior como para el exterior, por esto es necesario comprender cual será la función del mobiliario, el lugar donde será colocado y su acabado.

La iluminación puede y debe ser usada para ayudar a definir áreas de trabajo y por supuesto a realzar intencionalmente el uso de un área dada.

- Acabado de las superficies: la iluminación puede ser usada para acentuar el brillo de una pared, la textura de una superficie y hasta resaltar el grano y el
-

calor de la madera. Por mucho tiempo muchas superficies costosas como la piedra y el ladrillo han sido inadecuadamente iluminados y un adecuado diseño ayudará a resaltar sus detalles.

Hay que recordar que los colores y los tonos de las superficies tienen influencia en la apariencia y la iluminación de los ambientes interiores.

- Forma del Espacio: la configuración del espacio puede ser mejorada por la iluminación. Así se puede acentuar un recorrido en un pasillo, o hacer que parezca menos alargado, usando la iluminación de áreas perimetrales. También ayuda a identificar usos de espacios. Se deben tener en cuenta los espacios:

- Rectilíneos.
- Curvilíneos
- Largos / estrechos.
- Cortos y anchos.

- Condiciones existentes de los usuarios: los seres humanos son verdaderamente criaturas de hábito. Indiferentemente de sus méritos, las personas llegan a acostumbrarse a rituales, eventos, comidas y lugares seguros.

Un nuevo ambiente de trabajo o para vivir, puede resultar inapropiado y mal equipado sino cumple con las necesidades del usuario, ya que estaría todavía acostumbrado a sus antiguos espacios. Para evitar reacciones negativas y quejas cuando los usuarios cambian un espacio, el diseñador debe tomarlo en cuenta y aprender. Entre las condiciones a estudiar están:

- La iluminancia
- La luminancia.
- Tipo de luminaria, disposición, distribución, protección.
- Luz natural y vistas exteriores.

- Expectativas del cliente: muchas veces el cliente no es el usuario de la edificación. Pero el diseñador debe tomar en cuenta cuáles son las
-

expectativas del cliente sobre como puede ser la ambientación.

Las ideas de como será la calidad del ambiente deben tomarse en las primeras fases de la programación, para ser incluidas en el presupuesto, evitando sorpresas y desastres, que luego podrían perjudicar la planificación y la actividad financiera de un proyecto. Las principales expectativas son:

- La imagen
- Calidad ambiental
- Presupuesto.
- Expectativas del diseñador: de nuevo para evitar sorpresas y dificultades en las metas trazadas en la planificación de las fases del proyecto, el diseñador debe estar claro en sus expectativas y debe discutir sus consideraciones personales con el cliente. La iluminación puede representar un importante papel en la expresión del diseñador.

5.4.2. **Establecer las metas de diseño**: Rara vez las metas de diseño de iluminación, están adaptadas un plan sincero y claramente establecido. Quizás esto sea porque muchos diseñadores han elegido el camino fácil y simplemente colocan hileras de lámparas o luminarias fluorescentes en un cielo raso para generar suficiente luz.

Esto permite que el diseñador reúna los requisitos mínimos legales de iluminación de un proyecto sin aumentar sus honorarios. Proporcionar sólo la luz suficiente puede, de hecho, crear descontento, quejas de los ocupantes, reducción de la producción, poco uso de un ambiente ofensivo y un problema en la moral de todos los usuarios.

A continuación se presenta una lista de metas (Iturra, 1996), que ayudará a establecer mejor las metas de diseño para la adecuada iluminación:

- Factores espaciales:
 - Ambiente visual agradable: éste es un objetivo del proyecto que pocos diseñadores y clientes parecen estar deseosos de seguir. De todas maneras es probable que el sistema de iluminación esté en el lugar por quince años
-

o más, a pesar de cualquier movimiento o renovación.

La iluminación debe realizarse para apoyar a las personas que ocupan el ambiente que es el recurso más costoso, por esto es adecuado considerar si el espacio diseñado es realmente agradable y lo seguirá siendo. Un ambiente agradable trae como consecuencias mejoras en la moral, en la autoestima, la comunicación y finalmente en la productividad.

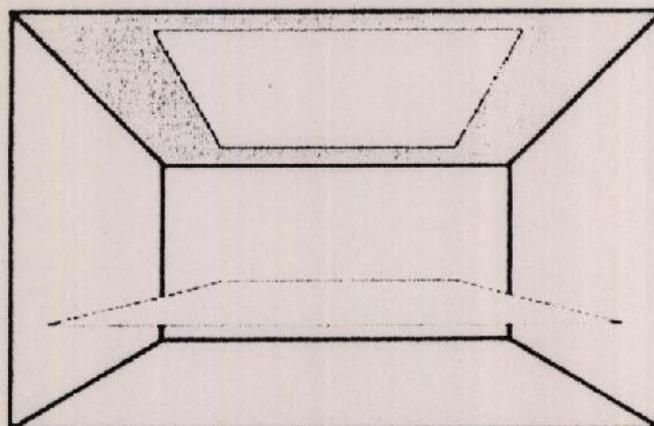
- Definición espacial: las paredes y el techo son usados para definir el espacio físicamente. Iluminando superficies claves o parte de las superficies, se puede realzar la definición espacial establecida por los elementos arquitectónicos.
 - Orden espacial.
 - Claridad visual.
 - Circulación.
 - Centros focales.
 - Flexibilidad.
 - Controles.
 - Acústica.
 - Ventilación y Aire Acondicionado: éstas pueden estar influenciadas por las cargas de la iluminación (muchos vatios de iluminación) y el equipo de iluminación (manejo del aire y estática). Aunque el aire acondicionado es responsabilidad de ingeniero mecánico, es necesario, al igual que la acústica, se pongan de acuerdo ingenieros y arquitectos para permitir el cumplimiento de las metas establecidas por los diversos profesionales.
 - Cielo raso.
 - Código de Requerimientos.
 - Salidas.
 - Protección térmica.
 - Límites de Energía.
 - ° Factores Psicológicos y fisiológicos:
-

-
- Respuesta sensorial.
 - Impresiones deseadas.
 - Expectativas.
 - Impresiones subjetivas: la configuración de la luminancia puede influir en la manera en que la gente percibe un espacio dado. Los diseñadores deben tomar algunas vías claras para determinar las metas con respecto a las impresiones subjetivas.

Éstas impresiones deben ser establecidas siguiendo pautas de diseño que resulten de la sensibilidad espacial de la mayoría de los ocupantes. Las impresiones subjetivas deben ser consideradas como una preocupación primaria en cualquier espacio donde la gente tenga expectativas de vida y trabajo. Las impresiones subjetivas que pueden ser influenciadas por los patrones de luminancia son:

- Claridad visual: este factor no debe ser confundido con la visibilidad o todo lo bien que se puede ver una tarea específica. La claridad visual se refiere a todas las impresiones visuales en un ambiente dado.

FIGURA 29: CLARIDAD VISUAL



FUENTE :ITURRA, Oscar, Final Year Interior Architecture, 1996

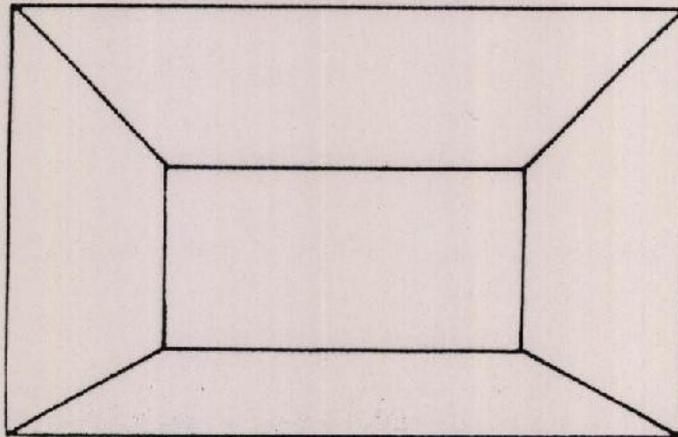
Un ambiente puede ser considerado como anublado, claro o un

intermedio entre los dos. Anublado es generalmente una impresión en la cual características arquitectónicas no son resaltadas. Plano, sin sombras, niveles de iluminación de bajos a moderados son la tendencia que producen la impresión anublada.

La claridad visual es la preocupación principal en muchos de los espacios de trabajo donde los ocupantes deben estar por relativos largos periodos tiempo. Es necesario que en los espacios de trabajo esté presente el resaltado, la impresión distintiva, ya que los espacios monótonos están asociados con la palidez y el desinterés.

- Espacialidad : es una impresión subjetiva en la cual la disposición de la iluminación nos proporciona la sensación de mayor o menor espacio en un ambiente.

FIGURA 30: ESPACIALIDAD



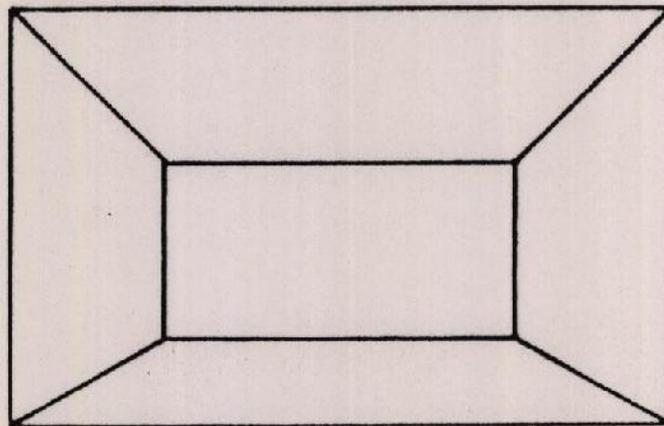
FUENTE: ITURRA, Oscar, Final Year Interior Architecture, 1996

- Relajación: una sensación de relajación es especialmente importante para espacios casuales como salas de espera, restaurantes, salas de conferencia, salones de descanso. La sensación de relajación refleja un confortable ritmo en las actividades, y no permite distracción en la
-

actividades realizadas.

La combinación de la relajación con la claridad visual puede crear ambientes confortables y productivos. La impresión de la relajación esta influenciada especialmente por paredes con iluminación no monótona y usando fuentes de luz con tonos cálidos.

FIGURA 31: RELAJACION

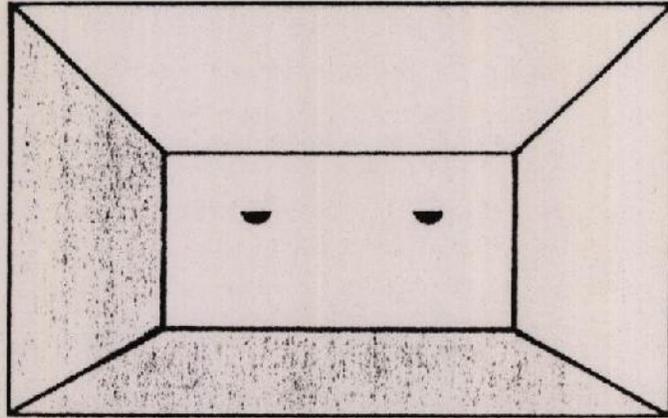


FUENTE :ITURRA, Oscar, Final Year Interior Architecture, 1996

- Privacidad: esta impresión subjetiva es particularmente importante en muchos espacios casuales entre los que se incluyen espacios residenciales así como salones de descanso y algunos restaurantes.

El énfasis debe estar localizado lejos del área de los ocupantes, desviando la atención y la subsecuente inspección visual del ambiente. Se usa específicamente iluminación no uniforme fuera de la zona de los ocupantes lo que da al ambiente la sensación de privacidad

FIGURA 32 : PRIVACIDAD



FUENTE :ITURRA, Oscar, Final Year Interior Architecture, 1996

- Luz natural.
- Factores de Tarea:
 - Tarea visual.
 - Luminancias.
 - Reflectancia de las superficies.
 - Transmitancia de las superficies.
 - Iluminancias

5.5. INTEGRACIÓN DE LUZ NATURAL Y LUZ ELÉCTRICA (PSALI).

La combinación de la luz natural y la luz eléctrica puede ser no más complejo que prender y apagar la luz durante el día. Con la reducción de la altura del techo y la profundización de los espacios en los edificios, hubo la necesidad de una revisión del uso de la iluminación, ya que al profundizarse los espacios, la luz natural que entra en los espacios disminuye y es necesario complementarla con luz artificial.

Además, el uso indiscriminado durante el día de la luz eléctrica, con las consecuencias de aumento del pago por electricidad, y el aumento de la carga térmica en espacio interiores, ha llevado estudiar e integrar la luz natural y la artificial en lo que se ha

denominado Iluminación Artificial Suplementaria Permanente de Espacio Interiores (PSALI, por las siglas en inglés de Permanent Supplementary Artificial Lighting of Interior).

Con este tipo de iluminación se busca integrar el diseño de ventanas para la iluminación natural con las instalaciones de alumbrado para interiores, y en conjunto lograr los niveles establecidos según la actividad que se realice

Un ejemplo sería, una oficina que tiene un nivel de iluminación cerca de las ventanas de 10.000 lux, y cerca la pared 200 lux, que puede ser un valor razonable en una oficina, pero comparada con 10.000 lux, puede aparecer oscura. Esto podría afectar a los sitios de trabajo lejos de las ventanas, por la adaptación del ojo a la claridad del ambiente, debiéndose compensar con luz eléctrica. (Pritchard, 1976: 85)

Al realizar el ajuste, es posible que lo establecido por el IES, no sea suficiente aumento, 500 lux en oficinas, es un valor recomendado para iluminación artificial, pero es necesario realizar el cálculo para determinar el nivel de iluminación suplementaria, para esto se utiliza la siguiente fórmula (Pritchard, 1976: 85):

$$E = \frac{D \times L \times \pi}{10}$$

Donde E es el nivel de iluminación en lux.

D es el factor medio de luz natural (en porcentaje) en el área suplementaria.

L es el promedio o luminancia asumida del cielo como se observa desde el área suplementaria en cd/m².

Aplicando esto a un caso práctico: si una oficina tiene un factor medio de 1 % lejos de las ventanas y el PSALI ha sido considerado. ¿Cuál será el nivel de iluminación requerido?

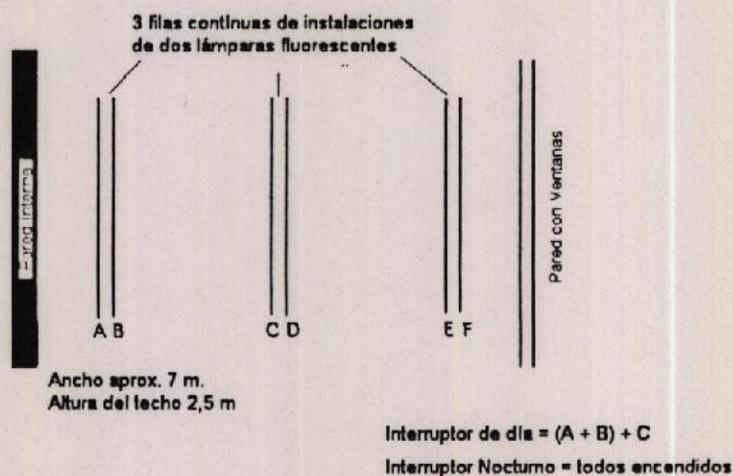
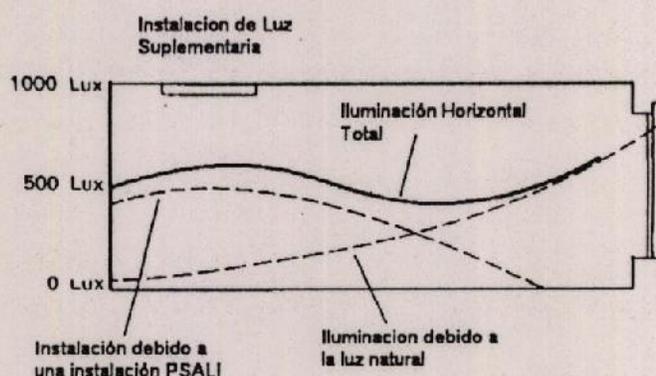
Usualmente se asume que L en estos casos es de 1713 cd/m² (Pritchard, 1976: 85), por tanto:

$$E = \frac{1 \times 1713 \times \pi}{10} = 540 \text{ lux}$$

El área sobre el cual esta iluminación es requerida no se ha definido, pero se sugiere

que se coloque a partir de donde el factor de luz natural es 20 % o menor. Esto es sólo una guía y cada caso debe ser estudiado cuidadosamente. (Pritchard, 1976: 86)

FIGURA 33 : EFECTO DE PSALI EN UNA OFICINA Y ESQUEMA DE UN DISEÑO PSALI



FUENTE : PRITCHARD, D C. *Environmental Physics : Lighting*. Editor C R Bassett. London : Longman Group Ltd, 1976, p. 86.

El diseño de un esquema integrado debe incluir los dos sistemas de iluminación, de modo que sea eficaz durante las horas del día así como en horas de la noche Para estos casos

deben seguirse las recomendaciones de IES o legislaciones o normas locales para la cantidad de iluminación utilizada según la actividad y el deslumbramiento permitido.

Si volvemos a tomar la oficina anteriormente estudiada, en ésta la iluminación eléctrica suplementaria debe proporcionar dos niveles de iluminación, 540 lux durante el día y 500 lux durante la noche.

Este tipo de iluminación suplementaria requiere de instalaciones extras, que permita apagar y prender multilámparas según sea de día o de noche, pero, permitirá el uso racional de la energía, disminución de la ganancia térmica y la adecuada iluminación de espacios interiores.

5.6. ILUMINACIÓN ARTIFICIAL EN EDIFICACIONES EN EL TRÓPICO

El desarrollo de la lámpara fluorescente ha sido una ventaja considerable en la planificación de la iluminación artificial en edificios en el trópico. El total del calor generado (por radiación y convección) de una instalación de iluminación de alta eficiencia con fluorescentes, está en el orden de la cuarta parte de la que generan las instalaciones incandescentes. (Hopkingson y Kay, 1972: 294)

Otra ventaja del fluorescente, es su integración con el cielo raso lo que hace posible enfriarla instalación de iluminación, sacando o utilizando el calor generado por éstas. En climas cálido - húmedos, como Maracaibo, la reducción de las ganancia de calor es de gran importancia, ya que, por ser casi una necesidad el uso del aire acondicionado, reducir la carga térmica en los ambientes, repercute en un mejor funcionamiento de los aparatos de aire acondicionado y por supuesto en el ahorro de energía.

Otro aspecto importante en el diseño de iluminación artificial en el trópico, es la posibilidad del uso de sistemas complementarios de iluminación (PSALI), ya que, debido a la a claridad del cielo en gran parte del año, es posible utilizar de manera extensiva este sistema para lograr los niveles adecuados, disminuyendo el despilfarro de electricidad y la ganancia térmica.

5.7. EL PROBLEMA TERMICO

La ganancia térmica de un espacio, además de ser producida por el sol, es también generada por las personas y las maquinarias que existen en el espacio. Su carga es importante cuando en el local hay grandes concentraciones de personas o máquinas, lo que hace necesario determinar el aporte térmico con exactitud. (Puppo, 1976: 12)

Solo una parte de la energía de la luz se transforma en forma de calor convectivo, y este es recogido casi instantáneamente por el aparato de aire acondicionado. La porción de energía remanente está en forma de radiación, y afecta el acondicionamiento ambiental sólo después de ser absorbida y luego descargada por paredes, pisos, mobiliario, etc. (ASHRAE, 1993: 26.7)

Esta energía absorbida contribuye a la carga de enfriamiento de espacio, después de transcurrido un tiempo y en algunas partes está presente y vuelta a irradiar luego de apagada la iluminación. Esto significa que al momento del cálculo del aire acondicionado hay que tomar en cuenta este tiempo de retardo, además, de la ganancia de calor instantáneo, ya que la carga pico de enfriamiento para el espacio puede verse afectada significativamente. (ASHRAE, 1993: 26.7)

a) Ganancia térmica inmediata de la iluminación: la fuente primaria de calor de la iluminación viene de los elementos que emiten la luz, o sea, la lámpara, así como por los mecanismos de funcionamiento de éstas. Se calcula generalmente con la fórmula:

$$q_{ei} = 3.41 W F_{ul} F_{sa}$$

donde

q_{ei} = ganancia de calor Btu/h.

W = potencia en vatios total de la iluminación.

F_{ul} = factor de uso de la iluminación.

F_{sa} = factor especial permitido de iluminación.

La *potencia en vatios total de la iluminación*, es obtenida de la evaluación de todas las lámparas instalada, tanto de la iluminación general y para exhibición

b) El *factor de uso* es la relación de potencia en vatios total en uso, es en condiciones bajo las cuales las cargas estimadas están comenzando a realizarse, para el total de potencia de vatio instalada. En aplicaciones comerciales como depósitos, este factor de uso es

generalmente la unidad. (ASHRAE, 1993: 26.8)

c) El *factor especial permitido de iluminación* se usa para instalaciones de lámpara fluorescente o aquellas que estén ventiladas y que sólo una parte de su calor vaya al espacio acondicionado. Para lámpara fluorescentes de 32 W (220 V) se usa un factor de 2.19 ; para lámpara de encendido rápido de 40 W (220 V) se usa un factor de 1,18, en instalaciones de una lámpara de 40 W (110 V) se utiliza un factor de 1.30, se recomienda para instalaciones de uso general un valor de 1.2 . En instalaciones industriales este factor varia entre 1.04 y 1.37. (ASHRAE, 1993: 26.8)

Puppo (1976: 12), también explica una fórmula general para el calculo del calor sensible de aparatos de iluminación eléctrica:

Lámparas de incandescencia :

$$\begin{aligned} E &= \text{energía en vatios} \\ 0,1 \times E &= \text{lux} \\ 0,86 \times E &= \text{Kcal/h calor emitido} \end{aligned}$$

Lámparas de fluorescente:

$$\begin{aligned} 0,25 \times E &= \text{lux} \\ 0,86 \times E \times 1,25 &= \text{Kcal/h calor emitido} \end{aligned}$$

También es posible la ganancia de calor en un ambiente con lámpara en cielos rasos, cuando el calor que está entre el cielo raso y el techo es retornado al espacio, si esta cavidad es utilizada como el plenum de retorno de aire; asimismo el calo puede transmitirse a través del material del cielo raso al espacio interior. (ASHRAE, 1993: 26.8)

5.8. COSTO DE LAS INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN

Conocer el costo de la diferentes soluciones que satisfacen las exigencias visuales de un determinado alumbrado, es importante para la selección de aquella que resulte más ventajosa respecto a las posibilidades económicas. (NIBRA, s.f.: s.p.)

A continuación se presenta una tabla presentada por NIBRA, para el análisis de

costos de explotación de una instalación de alumbrado:

TABLA 11: ANÁLISIS DE COSTOS DE UNA INSTALACIÓN DE ALUMBRADO.

Descripción del punto de luz	1. Tipo de lámpara 2. Tipo de luminaria 3. Número de lámparas por luminaria
Datos Básicos	4. Lúmenes iniciales por luminaria. 5. Vida de la lámpara 6. Consumo (en W) por luminaria (consumo de la lámpara + accesorios , más 3 % por pérdidas en la línea) 7. Factor de utilización 8. Factor de conservación 9. Costo de energía por Kw/h 10. Utilización Anual
Costo Inicial	11. Costo de la luminaria 12. Costos de los accesorios (reactancias, condensadores, etc.) por luminaria 13. Costo estimativo de los conductores por luminaria 14. Costo neto de la lámpara 15. Costo neto de la lámpara por luminaria (3 x 14) 16. Costo total por luminaria (11 + 12+ 13+ 15)
Amortización Anual	17. Costo inicial por luminaria, sin lámpara (11 + 12 + 13) 18. AMORTIZACION ANUAL
Costos anuales de conservación y consumo de energía	19. Número de lámparas reemplazadas anualmente (3 x 10.5) 20. Costo anual por reemplazamiento de lámparas (14 x 19) 21. Costo anual de los accesorios reemplazados 22. Costo anual del reemplazamiento de materiales (20 + 21) 23. Costo de reposición de una lámpara. 24. Costo total de reposición (19 x 23) 25. Costo estimativo de la limpieza de una luminaria 26. Número de limpiezas anuales por luminaria 27. Costo total anual de la limpieza (25 x 26) 28. Costos totales de conservación (22 + 24 + 27) 29. Costo total de energía por luminaria (6 x 9 x 10. 1000)
Costos anuales de explotación	30. COSTOS ANUALES DE EXPLOTACION (18 + 28 +29) 31. COSTOS ANUALES DE EXPLOTACION POR 1000 lm ÚTILES : $1000 \frac{30}{4 \times 7 \times 8}$

Fuente : NIBRA. Manual de Luminotecnia. OSRAM [s.f.], p. 80.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES – Fase Teórica

En este trabajo se han cumplido con dos objetivos: estudiar los conceptos fundamentales de uno de los factores más importantes del Acondicionamiento Ambiental de espacios interiores en los edificios, como es la Iluminación Artificial y la Luminotecnia, con la finalidad de conocer los métodos de diseño y cálculo del alumbrado eléctrico.

Y producir una herramienta automatizada que asista al diseñador en el área de luminotecnia, utilizando los conocimientos adquiridos en el trabajo teórico realizado en torno al tema.

El estudio de las principales características de la visión humana, del impacto de la iluminación en el hombre y su repercusión en las características formales, espaciales y ambientales, de los espacios arquitectónicos, han servido de marco teórico y de referencia, para profundizar en el conocimiento e indagar sobre el estado del arte del diseño de iluminación artificial en edificios

Uno de los aspectos fundamentales del cálculo y diseño luminotécnico, es el manejo de información. Existen muchas variables y aspectos que se deben tomar en cuenta para que el resultado obtenido, sea el adecuado a los requerimientos espaciales, de actividades y de las personas.

El manejo de gran cantidad de datos, como tablas de luminarias, reflectancias y alumbrado, además de fórmulas y un método organizado de cálculo, nos permitió el uso de sistemas de información, para el procesamiento, almacenamiento y obtención de la información necesaria, para que el diseño de iluminación.

Además, existen experiencias de otros programas de computación de luminotecnia, que corroboran la posibilidad del diseño y construcción de un sistema capaz de analizar lumínicamente los diferentes espacios de una edificación.

Un programa automatizado en luminotecnia está en capacidad de determinar la cantidad de luminarias que se necesitan para una determinada actividad o situación, y también puede calcular la cantidad de iluminación que será distribuida por una instalación de alumbrado propuesto o existente.

La herramienta de cálculo luminotécnico está adaptada a las condicionantes del medio, y utiliza luminarias y costos, del mercado venezolano, ya que algunos de los

problemas con programas extranjeros es la incompatibilidad en los modelos y características de las luminarias, que estos presentan en sus bases de datos, así las diferencias de voltaje y condiciones de diseño.

Este trabajo estudia los métodos computacionales que conllevan a la construcción de una herramienta automatizada para el cálculo luminotécnico en espacios interiores, sentando las bases para sus futuras mejoras o adición de nuevos módulos, que enriquezcan el sistema. Ya que los diferentes aspectos estudiados a lo largo del trabajo sirvieron para escoger el método adecuado para el diseño de la herramienta.

Luego del estudio realizado podemos concluir que:

- Es importante comprender la importancia de la iluminación artificial como una variable que inciden en el acondicionamiento ambiental en espacios interiores, además de tener consecuencia en la problemática del despilfarro de energía eléctrica y en las ganancias térmicas en los edificios.
- El adecuado diseño del alumbrado eléctrico en espacio interiores, depende no solo del conocimiento técnico de las luminarias, sino de los aspectos biológicos, fisiológicos y psicológico del ser humano y a las características del sentido de la vista.
- Es posible lograr un adecuado diseño de iluminación combinando correctamente la luz natural con la artificial, permitiendo minimizar el gasto energético del edificio y las cargas térmicas en los espacios interiores.
- La arquitectura en ciudades tropicales como Maracaibo, requieren de un profundo estudio integral de aspectos ambientales y arquitectónicos como: la calidad térmica, acústica, lumínica, funcional, visual y sanitaria, para lograr el acondicionamiento equilibrado, según los requerimientos del ser humano.
- La utilización de métodos organizados, ecuaciones y el uso de tablas, permiten el cálculo de iluminación artificial como un sistema de información, que puede apoyarse en el uso de la computadora, para generar información rápida, que pueda ser usada por el diseñador en la toma de decisiones.
- Es posible, según, las teorías y ejercicios prácticos estudiados, y la experiencia en ésta, y otras investigaciones y programas de computación para el cálculo luminotécnico, construir una herramienta automatizada para el cálculo del

alumbrado eléctrico en espacios interiores, adaptadas a las características de diseño de Maracaibo y con las luminarias usadas en Venezuela.

El trabajo se apoyó en una extensa bibliografía, búsquedas en el World Wide Web, en INTERNET, así como en asesoramientos de ingenieros de ENELVEN; y servirá como material docente y de consulta para estudiantes, profesores e investigadores en el área de lumínica y arquitectura.

GLOSARIO

GLOSARIO

El siguiente glosario es tomado de la página del World Wide Web de CARANDINI C&G, S.A., dirección electrónica <http://carandini.com/glosario.htm> y su sede es CARANDINI C&G Ronda Universidad, 31, 08007, Barcelona, España, Telf. 3174008, Fax.- 3171890, empresa española, especializada en el campo del Alumbrado Exterior e Industrial, con una amplia gama de productos, de diseño propio y avanzado, capaz de resolver problemas de alumbrado: de autopistas, túneles de carretera, instalaciones deportivas, centrales nucleares y térmicas, industria química, etc., así como alumbrado arquitectónico, urbano e iluminaciones clásicas.

En este Vocabulario se describen los términos más usuales en Alumbrado, relativos a sus distintos aspectos: Radiación, Fotometría, Visión, Propiedades Fotométricas de la materia, Lámparas, Luminarias, Iluminación, etc. y han sido seleccionados y traducidos del "Vocabulario Internacional de Alumbrado" publicado por el CIE.

El CIE es la Comisión Internacional en Iluminación, siglas tomadas del francés Commission Internationale de l'Eclairage, organismo dedicado a la cooperación internacional e intercambio de información entre los países miembros, en todas las materias relativas a la ciencia de la iluminación.

Con este glosario CARANDINI ha intentado colaborar con los técnicos especialistas, en la fijación de conceptos y facilitar, asimismo, a los interesados circunstancialmente en estos temas, la aclaración de la terminología fundamentalmente usada.

VOCABULARIO DE ALUMBRADO

A-B

ABSORCION: Transformación de la energía radiante en otra forma de energía, por interacción con la materia.

ACOMODACIÓN: Modificación del ojo, generalmente espontánea, para ver un objeto

situado a una determinada distancia.

ADAPTACIÓN CROMÁTICA: Proceso de acomodación del ojo a la luz coloreada. Estado final de dicho proceso.

AGUDEZA VISUAL: Inversa del valor - generalmente en minutos sexagesimales - del más pequeño ángulo, bajo el cual, el ojo puede todavía percibir separados dos objetos - puntos o líneas - situados muy próximos.

AISLAMIENTO FUNCIONAL: Aislamiento necesario para asegurar el funcionamiento conveniente del material y la protección fundamental contra los choques eléctricos.

AMBIENTE LUMINOSO: Efectos fisiológicos y psicológicos producidos sobre los seres vivientes por el entorno luminoso.

ÁNGULO DE DESENFILADA: Ángulo, medio a partir del nadir, entre el eje vertical y la primera línea de visión a partir de la cual, las lámparas y las superficies de luminancia elevada no son visibles.

APLIQUE: Luminaria destinada a ser fijada en una pared.

ARRANCADOR: Dispositivo destinado al encendido de las lámparas de descarga - generalmente lámparas de alta presión, que asegura, normalmente en conexión con la reactancia, la ionización necesaria de la atmósfera del dispositivo de descarga.

C-D

CAMPO DE MIRADA: Conjunto de puntos que pueden percibirse moviendo el ojo y permaneciendo inmóvil la cabeza.

CAMPO VISUAL - del ojo o de los ojos -: Extensión angular en la dirección del espacio, según la cual un objeto puede ser percibido cuando la cabeza y los ojos están inmóviles. El campo puede ser monocular o binocular.

CANDELA: Unidad, en el Sistema Internacional, de intensidad luminosa: intensidad luminosa en la dirección perpendicular, de una superficie de $1/60 \text{ cm}^2$. Del cuerpo negro, a la temperatura de solidificación del platino bajo la presión normal. Símbolo: cd,

CANDELABRO: Soporte destinado a llevar una o varias luminarias, constituido por una o varias partes: un fuste o tronco, y, eventualmente, un ensanchamiento inferior, y a veces un báculo o parte curva superior.

CANTIDAD DE LUZ: Producto del flujo luminoso por su duración.

Símbolo: Q, $Q = dt$

Unidad: $1 \text{ m} \cdot \text{s}$ (lumen x segundo), $1 \text{ m} \cdot \text{h}$ (lumen x hora)

CASQUILLO: Parte de la lámpara, que sirve para fijarla al soporte y conectarla al circuito eléctrico de alimentación.

Casquillo Edison - Casquillo en forma de tornillo -E 27.

Casquillo Goliath - Casquillo de rosca grande -E 40.

Casquillo bayoneta - Casquillo con pitones, los cuales encajan en la ranura del portalámparas -E 32.

CEBADOR : Dispositivo destinado al encendido de lámpara de descarga (lámparas fluorescentes en particular), que asegura el precalentamiento de los electrodos y provoca una sobretensión conjuntamente con la reactancia en serie.

COLORIMETRO: Aparato destinado a la medida de los componentes tricromáticos o de las coordenadas tricromáticas, de un estímulo de color.

CONTRASTE: Subjetivamente: Influencia recíproca de dos impresiones visuales yuxtapuestas en el espacio o en el tiempo

(contraste de luminosidad, contraste de color, contraste simultáneo o sucesivo).

CORRIENTE DE ARRANQUE: Corriente media que absorbe la lámpara durante el tiempo

de encendido.

CORRIENTE NOMINAL: Corriente que pasa por los bornes de alimentación cuando el aparato está en funcionamiento estable, en uso normal, y alimentado con la tensión nominal.

CROMATICIDAD: Características colorimétricas de un estímulo de color, fijado sea por sus coordenadas tricromáticas, sea por el conjunto de la longitud de onda dominante o complementaria y de la pureza.

CUERPO COLOREADO: Cuerpo en el cual el factor de transmisión espectral o de reflexión varía con la longitud de onda.

CUERPO OPACO: Cuerpo que no transmite prácticamente nada de luz.

CUERPO TRANSLÚCIDO: Cuerpo que transmite la luz esencialmente por transmisión difusa. A través de tal cuerpo, los objetos no se ven con nitidez.

CUERPO TRANSPARENTE: Cuerpo que transmite la luz, esencialmente por transmisión regular, con un factor de transmisión regular bastante elevado. A través de tal cuerpo, los objetos son visibles con nitidez, si su forma geométrica es adecuada.

CURVA FOTOMÉTRICA: - curva de repartición angular de la intensidad luminosa. - de una lámpara o de una luminaria.

Curva - generalmente polar - representando la intensidad luminosa en un plano pasando por la fuente, en función del ángulo formado por el vector intensidad con una dirección dada.

CURVAS ISOCANDELAS: Curva formada uniendo los puntos representativos de las direcciones en las que la intensidad luminosa de una fuente tiene el mismo valor.

CURVAS ISOLUX: Lugar geométrico de los puntos de una superficie, donde la iluminancia tiene el mismo valor.

DESCARGA ELECTRICA: Paso de una corriente eléctrica a través de gases y de vapores.

DESLUMBRAMIENTO: Una condición de visión en la cual existe incomodidad o disminución en la capacidad para distinguir objetos, o ambas cosas a la vez, debido a una inadecuada distribución o escalonamiento de luminancias o como consecuencia de contrastes excesivos en el espacio o en el tiempo.

DESLUMBRAMIENTO CEGADOR: Deslumbramiento tan intenso que no puede percibirse ningún objeto durante un tiempo apreciable.

DESLUMBRAMIENTO DIRECTO: Deslumbramiento debido a un objeto luminoso situado en la misma, o casi en la misma dirección, que el objeto a percibir.

DESLUMBRAMIENTO INCOMODO: Deslumbramiento que produce una sensación desagradable, sin que necesariamente empeore la visión de los objetos.

DESLUMBRAMIENTO INDIRECTO: Deslumbramiento debido a un objeto luminoso situado en distinta dirección que el objeto a percibir.

DESLUMBRAMIENTO PERTURBADOR: Deslumbramiento que empeora la visión, sin causar necesariamente, una sensación desagradable.

DESLUMBRAMIENTO POR REFLEXIÓN: Deslumbramiento producido por la reflexión especular de la luz de una fuente, particularmente cuando la superficie donde se refleja es aquélla que se mira o está situada en sus inmediaciones.

DIAGRAMA ISOCANDELA DE UNA LUMINARIA: Representación de las curvas isocandelas correspondientes a una repartición determinada.

DIFUSOR: Dispositivo que sirve para modificar el reparto espacial del flujo luminoso de una fuente, utilizando, esencialmente, el fenómeno de difusión.

DIFUSION UNIFORME U ORTOTRÓPICA: Difusión ideal en la cual la repartición espacial del haz difuso es tal, que la luminancia es la misma en todas las direcciones.

DISTORSION CROMATICA: Rendimiento anormal de los colores, debido:

1. La variación de la fuente luminosa, o
2. La variación de las inmediaciones del objeto, o
3. Una combinación de a) y b)

E-F

EFECTO ESTROBOSCÓPICO: Modificación aparente del movimiento real de un objeto, cuando está visto iluminado por una luz periódicamente variable, de frecuencia apropiada.

EFICACIA LUMINOSA DE UNA FUENTE: Razón entre el flujo luminoso total emitido por una fuente y la potencia consumida (Lm/W)

EFICACIA LUMINOSA DE UNA RADIACION: Razón entre el flujo luminoso y el flujo energético correspondiente.

ELECTROLUMINISCENCIA: Luminiscencia de los gases bajo la acción de una descarga eléctrica o luminiscencia de ciertas sustancias sólidas, bajo un campo eléctrico.

ESPLENDOR - BRILLO: Atributo de la sensación visual, según la cual, una superficie parece emitir más o menos luz. Correspondiente, aproximadamente, a la sensación psicosensoresial de "Luminancia".

ESTIMULO LUMINOSO: Energía radiante, que penetra en el ojo y produce una sensación de luz, y posiblemente, también de color.

FACTOR DE AUMENTO DE UNA LUMINARIA: Relación entre la máxima intensidad luminosa de una luminaria o proyector y la intensidad esférica media de su lámpara.

FACTOR DE CONSERVACIÓN: Relación entre la iluminancia media sobre el plano útil que proporciona una instalación después de un determinado período de utilización y la iluminancia media obtenida en las mismas condiciones por la instalación nueva.

FACTOR DE DEPRECIACIÓN: Inversa del factor de Conservación.

FACTOR DE REFLEXIÓN: Reflectancia. Razón del flujo reflejado al flujo incidente.

FACTOR DE TRANSMISION: Transmitancia. Razón del flujo luminoso transmitido al flujo incidente.

FACTOR DE UNIFORMIDAD DE ILUMINACIÓN (en una superficie dada). Relación entre la iluminación mínima y la iluminación media de una superficie dada.

FACTOR DE UNIFORMIDAD DE LUMINANCIA (en una superficie dada). Relación entre la luminancia mínima y la luminancia media de la superficie iluminada en las condiciones de observación dadas.

FACTOR DE UTILIZACIÓN (para una superficie dada). Relación entre el flujo que llega a la superficie dada y el emitido por las lámparas.

FILTRO: Objeto o dispositivo destinado a modificar por transmisión el flujo, la composición espectral, o ambos, de la radiación que lo atraviesa.

FLUJO LUMINOSO: Magnitud derivada del flujo energético por la evaluación de la radiación, según su acción sobre un receptor selectivo, en el que la sensibilidad espectral relativa es según $V(\lambda)$ - $V(\lambda)$: Observador de referencia CIE. Eficacia luminosa relativa espectral - Unidad: Lumen

FLUJO LUMINOSO NOMINAL DE UNA LÁMPARA: Valor del flujo luminoso declarado por el fabricante.

FLUJO LUMINOSO UTIL: Flujo luminoso recibido en una zona de la superficie de

referencia.

FLUORESCENCIA: Luminiscencia que persiste un tiempo muy corto después de la excitación ($t < 10^{-8} \text{S}$)

FOSFORESCENCIA: Luminiscencia que persiste un tiempo apreciable después de la excitación ($t > 10^{-8} \text{S}$)

FOTOMETRO: Aparato destinado a la medida de magnitudes fotométricas.

FOTOLUMINISCENCIA: Luminiscencia provocada por una radiación ultravioleta, visible o infrarroja.

FUENTE DE LUZ PUNTUAL: Fuente de energía radiante, de dimensiones despreciables en relación con su distancia al receptor.

FUENTE LUMINOSA: Una fuente luminosa puede estar constituida por una lámpara o por una luminaria conteniendo una o varias lámparas.

FUENTE LUMINOSA PRIMARIA: Superficie u objeto que emite luz producida por una transformación de energía.

FUENTE LUMINOSA SECUNDARIA: Superficie u objeto, que no emitiendo luz propia, recibe la luz y la reenvía, por lo menos parcialmente, por reflexión o por transformación.

G-II

GLOBO, CUBETA: Elemento transparente o difusor, destinado a proteger los haces y los sistemas ópticos de choques mecánicos o térmicos y de la acción de ciertos agentes exteriores. También, a veces, para modificar la distribución del flujo, y, también para cambiar el color.

GONIOFOTOMETRO: Fotómetro destinado a la medida de la distribución angular de unas magnitudes fotométricas características de una fuente luminosa, de una luminaria, de un medio o de una superficie.

I-J

ILUMINACION DE SEGURIDAD: Iluminación destinada a permitir la evacuación de los ocupantes, y a la vez la ejecución de maniobras de seguridad y el salvamento de víctimas cuando ha fallado la iluminación normal.

ILUMINACION GENERAL: Iluminación de un espacio, sin tener en cuenta las necesidades particulares de algunos puntos determinados.

ILUMINACION LOCALIZADA: Iluminación que tiene por objeto reforzar el alumbrado en algunos puntos determinados. Por ejemplo: dónde se efectúa un trabajo.

ILUMINANCIA (en un punto de una superficie): Razón entre el flujo luminoso incidente sobre un elemento infinitesimal de superficie que contiene el punto considerado y el área de este elemento. Símbolo, E - Unidad, lux

ILUMINANTES NORMALIZADOS C.I.E.: Los iluminantes colorimétricos A, B, C y D65 en los que las reparticiones espectrales relativas de energía son definidas por la C.I.E. Iluminante normalizado A, representa el cuerpo negro a 2.855, 6 K.

Iluminante normalizado B, representa la luz solar directa, con una temperatura de color de aproximadamente 4.874 K.

Iluminante normalizado C, representa la luz del día, con una temperatura de color de aproximadamente 6.778 K.

Iluminante normalizado D65, representa la luz del día, con una temperatura de color de 6.504 K, aproximadamente.

INDICE DEL LOCAL: Referencia numérica, característica de la geometría del local, apropiada para el cálculo del factor de utilización y de la utilancia.

Símbolo: K,
$$K = \frac{a \times b}{h(a + b)}$$

en las que a y b son las dimensiones de los lados del local y h la altura de las luminarias por encima del plano útil.

INDICE DE PROXIMIDAD: Referencia numérica característica de la distancia de las luminarias a los lados del local y de la altura de las luminarias por encima del plano útil.

$$K_p = \frac{(a \times p)(b \times q)}{h(a + b)}$$

a, b y h (según descripción anterior)

p, distancia de la línea más cercana al lado, a, a este lado.

q, distancia de la línea más cercana al lado, b, a este lado.

INDICE DE REFRACCION: La relación entre las velocidades de la luz en dos medios de propiedades ópticas diferentes. Símbolo: n

$$n = \frac{\text{sen } \alpha^1}{\text{sen } \alpha^2}$$

INDICE DE RENDIMIENTO DE COLOR: Evaluación del grado de concordancia entre el aspecto fotométrico de los objetos iluminados por la fuente considerada, y aquél de los mismos objetos iluminados por un iluminante de referencia, en las condiciones de observación especificadas.

INTEGRADOR FOTOMETRICO: Aparato que permite determinar el flujo luminoso mediante una medida única.

INTENSIDAD LUMINOSA (de una fuente en una dirección): La razón entre el flujo luminoso emitido por una fuente en un cono infinitesimal que tiene por eje la dirección considerada, y el ángulo sólido del cono.

Símbolo: I ; Unidad: CANDELA

IRRADIANCIA: La razón entre el flujo energético recibido por un elemento infinitesimal de la superficie que contiene el punto considerado y el área de este elemento.

Símbolo: E_e , Unidad: W/m²

K-L

LÁMPARA DE ATMOSFERA GASEOSA: Lámpara de incandescencia, en la cual el cuerpo luminoso está situado en una ampolla rellena de gas inerte.

LÁMPARA DE DESCARGA: Lámpara en la cual la luz es producida por descarga eléctrica en un gas, un vapor metálico o una mezcla de varios gases y vapores.

LÁMPARA DE HALOGENUROS: Lámpara de descarga, en la cual la luz es producida por la radiación de una mezcla de un vapor metálico - mercurio, por ejemplo - y productos de disociación de halógenos - talio, indio o sodio, etc.

LÁMPARA DE LUZ MIXTA: Lámpara asociando, en una misma ampolla, un emisor de vapor de mercurio y un filamento de lámpara de incandescencia montados en serie. La ampolla puede ser difusora o recubierta de una sustancia fluorescente.

LÁMPARA DE PROYECCION: Lámpara en la que el cuerpo luminoso está dispuesto de manera que se adapte a un sistema óptico, proyectando la luz en la dirección escogida.

LÁMPARA DE REFLECTOR: Lámpara de incandescencia o de descarga en la que la ampolla - generalmente de forma apropiada -, está provista parcialmente de un revestimiento reflectante, con el fin de dirigir la luz.

LÁMPARA DE VAPOR DE MERCURIO ALTA PRESION: Lámpara de descarga, de vapor de mercurio, revestida o no de una sustancia fluorescente, en la cual, durante el funcionamiento, la presión es del orden de una atmósfera (luz producida, en su mayor parte, por radiación del mercurio).

LÁMPARA DE VAPOR DE MERCURIO COLOR CORREGIDO: Lámpara de mercurio de alta presión, en la cual la pared interior de la ampolla está recubierta de materia fluorescente, que permite corregir el color de la luz emitida.

LÁMPARA DE VAPOR DE SODIO ALTA PRESION: Lámpara de descarga, en la cual la luz es producida, en su mayor parte, por radiación del sodio. - Tonalidad rojo amarillento -

LÁMPARA DE VAPOR DE SODIO BAJA PRESION: Lámpara de descarga, luz emitida por la radiación del sodio y de tonalidad monocromática amarilla. Presión del gas menor que en las lámparas anteriores.

LÁMPARA ELECTRICA INCANDESCENTE: Lámpara en la cual la emisión de luz es producida por medio de un cuerpo puesto incandescente por el paso de una corriente eléctrica.

LÁMPARA FLUORESCENTE - Tubo fluorescente - Lámpara de descarga, en la cual la luz es emitida, principalmente, por una capa de materia fluorescente, excitada por las radiaciones ultravioleta de la descarga.

LÁMPARA INCANDESCENTE A HALÓGENOS: Lámpara de incandescencia en atmósfera gaseosa que contiene una cierta proporción de halógenos. (lámpara de iodo).

LÁMPARA PATRON: Fuente luminosa de características fotométricas constantes y reproducibles, que sirve para las medidas fotométricas, y, en la cual la intensidad luminosa se determinó por comparación con el patrón primario.

LÁMPARA PORTATIL: Lámpara provista de un puño, conexionado mediante un cable

flexible y una toma de corriente.

LUMEN: Unidad SI de flujo luminoso: Flujo luminoso emitido en la unidad de ángulo sólido - esterradián - por una fuente puntual uniforme, teniendo una intensidad luminosa de una candela. Símbolo: lm.

LUMINANCIA: - Es una dirección, en un punto de la superficie de una fuente o de un reflector o en un punto ella trayectoria del haz -. Cociente del flujo luminoso, emitido, recibido o atravesando un elemento de superficie en este punto, y propagándose en las direcciones definidas por un cono elemental, conteniendo la dirección dada, por el producto del ángulo sólido del cono y del área de la proyección ortogonal del elemento de superficie en el plano perpendicular a la dirección dada. Símbolo: L 0 Unidad: Candela por metro cuadrado, nit; candela por cm², stilb Símbolo: cd/m², nt

LUMINANCÍMETRO: Aparato destinado a la medida de luminancias.

LUMINARIA - linterna - Aparato que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas y que contiene todos los accesorios necesarios para fijar y proteger las lámparas y conectarlas al circuito de alimentación.

LUMINARIA ANTIDEFLAGRANTE - Luminaria para atmósferas explosivas - Luminaria conforme a las prescripciones que regulan su empleo en un medio que presenta un peligro de explosión. Se distingue:

Aparato de envoltura antideflagrante, aparato de seguridad intrínseca, aparato de seguridad aumentada y aparato protegido por sobrepresión interior.

LUMINARIA ASIMETRICA: Luminaria de repartición asimétrica de la luz.

LUMINARIA "CUT OFF": Luminaria que distribuye la luz de manera que suprime prácticamente la totalidad de los rayos luminosos que forman con su eje (perpendicular al plano de la calzada) un ángulo superior a 75°.

objetos en comparación del objeto cromático de los mismos, iluminados por un iluminante de referencia en las condiciones especificadas.

RENDIMIENTO DE UNA LUMINARIA: Relación entre el flujo emitido para la luminaria y el emitido por la lámpara.

REPARTICIÓN ESPECTRAL RELATIVA DE LA ENERGÍA (de una radiación) Representación de las cualidades espectrales de una radiación por la repartición espectral relativa de una magnitud energética cualquiera. (Flujo energético, intensidad energética, etc.). Símbolo: S (d).

S-T

SATURACION: Atributo de la sensación visual que permite estimar la proporción de color cromáticamente puro contenido en la sensación total.

SENSIBILIDAD DIFERENCIAL: La inversa de mínima diferencia relativa de luminancia perceptible.

Símbolo: SC, $SC = L AL$

SISTEMA TRICROMÁTICO - SISTEMA COLORIMÉTRICO: Sistema de especificación del color, fundado en la posibilidad de reconstituir el equivalente de un estímulo de color por una mezcla aditiva de tres estímulos de referencia, convenientemente escogidos.

TEMPERATURA DE COLOR: Temperatura en grados absolutos del cuerpo negro que emite una radiación, teniendo el mismo color que la radiación considerada.

TENSIÓN DE ENCENDIDO: Tensión eléctrica mínima entre los electrodos, necesarios para iniciar la descarga en una lámpara de descarga.

TENSION DE FUNCIONAMIENTO: Tensión eléctrica entre los electrodos de una lámpara de descarga funcionando en régimen estabilizado (valor eficaz de esta tensión, si

LUMINARIA EXTENSIVA (de reparto extensivo). Luminaria que reparte la luz en un haz ancho.

LUMINARIA INTENSIVA (de reparto intensivo). Luminaria que concentra la luz en un haz estrecho.

LUMINARIA "NON CUT OFF": Luminaria que no suprime ninguno de los rayos luminosos emitidos por debajo del plano horizontal que pasa por su centro geométrico. En la dirección que forma un ángulo de 85° con su eje vertical la intensidad luminosa alcanza todavía un valor de un tercio o un medio de la intensidad máxima.

LUMINARIAS PROTEGIDAS CONTRA LA LLUVIA: Luminaria construida para resistir la penetración de la lluvia, destinada a ser usada en posición normal al exterior.

LUMINARIA "SEMI CUT OFF": Luminaria que suprime los rayos luminosos que forman, con su eje (perpendicular al plano de la calzada) un ángulo superior a $80-85^\circ$.

LUMINARIA SIMÉTRICA: Luminaria de repartición simétrica de la luz (con respecto a un eje, por ejemplo, o a uno o varios planos de simetría).

LUMINISCENCIA: Fenómeno de emisión por la materia de una radiación electromagnética, en la cual la intensidad para determinadas longitudes de onda o pequeñas zonas del espectro es más fuerte que la debida a la radiación de origen térmico de esta materia a la misma temperatura. En iluminación, esta noción se limita, generalmente a la emisión de radiaciones visibles, o casi visibles.

LUMINOTECNIA: Conjunto de técnicas de la iluminación y de sus fundamentos científicos. **LUX** (lúmenes por m^2) Unidad SI de iluminación: iluminación producida por el flujo de un lm. Uniformemente repartido en una superficie de un m^2 . Símbolo: lx

LUXOMETRO: Aparato que sirve para medir iluminancias.

O-P-Q

PANTALLA ANTIDESLUMBRANTE - paralumen - Protección, constituida por elementos translúcidos u opacos, que impide la visión directa de la lámpara bajo un ángulo determinado.

PARPADEO: Impresión de fluctuación de la luminancia o del color, que se produce cuando la frecuencia de la variación de los estímulos luminosos se sitúa entre algunos Hz y la frecuencia de fusión de las imágenes.

PERCEPCIÓN: Contenido de consciencia objetiva completa suscitado por una impresión sensible y aportaciones de la memoria. Las percepciones visuales, en particular, entran en la formación de representaciones que nos hacemos de la existencia, de la forma y de la situación de los objetos.

PORTALAMPARAS: Dispositivo destinado a recibir el casquillo de la lámpara y asegurar su conexión con el casquillo eléctrico de alimentación.

PROYECTOR: Luminaria que concentra la luz en un ángulo sólido determinado por un sistema óptico - espejos o lentes -, para conseguir una intensidad luminosa elevada.

R-S

RADIACIÓN INFRARROJA: Radiación en la que las longitudes de onda de los componentes monocromáticos son superiores a los de la radiación visible y comprendidas entre 780 y 105 milimicras, aproximadamente.

RADIACION ULTRAVIOLETA: Radiación en que las longitudes de onda de los componentes monocromáticos son inferiores a las de radiación visible y comprendidas aproximadamente entre 10 y 380 milimicras.

RADIACIÓN VISIBLE: Radiación susceptible de producir directamente una sensación visual. Su longitud de onda está comprendida, aproximadamente entre 380 y 780 milimicras.

REACTANCIA: Dispositivo empleado en las lámparas de descarga para asegurar la estabilización de la citada descarga.

REFLECTOR: Dispositivo que sirve para modificar el reparto espacial del flujo luminoso de una fuente, utilizando, esencialmente, el fenómeno de la reflexión.

REFLEXIÓN: Reenvío de una radiación por una superficie, sin cambio de la frecuencia de las radiaciones monocromáticas que lo componen.

REFLEXIÓN CATADIOPTICA: Reflexión que se caracteriza por el reenvío de la luz en direcciones vecinas a la que proviene, sea cualquiera el ángulo de incidencia de la luz sobre la superficie considerada.

REFLEXIÓN DIRECTA: Reflexión que sigue las leyes ópticas válidas para los espejos.

REFRACCION: Cambio de la dirección de propagación de una radiación, determinado por las variaciones de la velocidad de propagación en un medio ópticamente no homogéneo, o en el paso de un medio a otro.

REFRACTOR: Dispositivo que sirve para modificar el reparto espacial del flujo luminoso de una fuente, utilizando el fenómeno de refracción.

RELACIÓN DE SUSPENSIÓN: Referencia numérica, característica de la altura de suspensión de las luminarias bajo el techo y de la altura de las luminarias por encima del plano útil. Símbolo: j , $j = h' \cdot hxh'$ donde: h' es la altura de loa aparatos bajo el techo h es la altura de loa aparatos por encima del plano útil

RENDIMIENTO DE COLOR: Efecto de un haz luminoso sobre el aspecto cromático de los

es corriente alterna). Símbolo: U

TRANSMISIÓN DIFUSA: Transmisión en la cual la luz se difunde en múltiples direcciones, sin que se manifiesten a escala macroscópica las leyes de refracción.

TRANSMISIÓN REGULAR: Transmisión de luz sin difusión.

U-V-W

UMBRAL ABSOLUTO DE LUMINANCIA: Luminancia máxima perceptible.

UMBRAL DIFERENCIAL DE LUMINANCIAS: La más pequeña diferencia de luminancia todavía perceptible. Símbolo: L

UTILANCIA: Relación entre el flujo luminoso útil y el flujo total emitido por las luminarias. Símbolo: U

VELOCIDAD DE PERCEPCIÓN: La inversa del tiempo que pasa entre la aparición de un objeto y la percepción de su forma.

VELOCIDAD DE SENSACION: La inversa del tiempo que transcurre entre el principio de un estímulo luminoso y la iniciación de la sensación visual que produce.

VIDA MEDIA (de una lámpara): Razón entre la suma total de horas que han funcionado las lámparas hasta su inutilización y el número de lámparas.

VIDA UTIL (de una lámpara): Número de horas durante las cuales las lámparas, funcionando a su tensión normal, conservan un flujo luminoso igual o superior a un porcentaje determinado del flujo luminoso inicial.

VISIÓN ESCOTÓPICA: Visión en la cual intervienen, esencial o exclusivamente, los conos de la retina. Corresponde, en general, a la adaptación a niveles de luminancias inferiores a algunas centésimas de cd/m^2 .

VISION FOTÓPICA: Visión en la cual intervienen, esencial o exclusivamente los conos de la retina. Corresponde, en general, a la adaptación a niveles a luminancias de algunas cd/m^2 .

VISION MESÓPICA: Visión en condiciones intermedias entre aquéllas de la visión fotópica y de la visión escotópica.

VISIÓN - PERCEPCIÓN VISUAL: Distinción de las diferencias en el mundo exterior por las impresiones sensoriales debidas a la luz que recibe el ojo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

-
- ENERGÍA ELÉCTRICA DE VENEZUELA. Cálculo de Iluminación. Método de la Cavidad Zonal. Maracaibo, Venezuela: Departamento Comercial. Sección Desarrollo Comercial.
- ERNEST ORLANDO LAWRENCE BERKLEY NATIONAL LABORATORY. Building Technologies Program. 1995 Annual Report. Berkeley, California: Energy & Enviroment División. May 1996.
- GARCIA BENGOA, José Luis: AutoEdición con Pagemaker 4.0. A su alcance. MacGraw - Hill. Interamericana de España, S.A. Madrid. 1993, 257 pp.
- GONZÁLEZ, Eduardo. Recomendaciones para el ahorro energético de edificaciones en Maracaibo e influencia del clima en las ordenanzas de diseño urbano. Taller - Seminario Arquitectura y Urbanismo en el Trópico. Maracaibo (Venezuela): Universidad del Zulia, Facultad de Arquitectura, noviembre 1995.
- HINZ, Elke; GONZÁLEZ, Eduardo; QUIRÓS, Carlos; DE OTEIZA, Pilar. Proyecto Clima y Arquitectura. México: Ediciones G. Gili, Vol. 1, Universidad del Zulia, Facultad de Arquitectura, Instituto de Investigaciones de Arquitectura y Sistemas Ambientales, 1986, 198 pp.
- HOPKINGSON, R G y KAY J D. The Lighting of Building. London : Faber and Faber. 1972, 320 pp.
- HOPKINSON, R.G. Architectoral Physics: Lighting. London: Her Majesty's Stationery Office, 1963, 360 pp.
- KENDALL, K y KENDALL, J. Análisis y diseño de sistemas. Tr: Héctor López Hernández, México: Prentice-Hall Hispanoamericana, S A, 1991, 881 pp.
- IES. Lighting Handbook - Reference & Application. 8th Edition. 1995.
-

-
- LA ROCHE, Pablo. Herramienta Automatizada para el Diseño Bioclimático de Edificaciones: ASICLIMA. Trabajo de Grado de maestría, Universidad del Zulia, Facultad de Arquitectura, Maracaibo, Venezuela, 1993.
- LA ROCHE, Pablo. Herramienta automatizada para el diseño bioclimático de edificaciones : ASICLIMA. Tecnología y Construcción. Vol. 11, N° 1. Venezuela : Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción/IDEC, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela. Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura/IFA, Facultad de Arquitectura, Universidad del Zulia, Universidad del Zulia. 1995, 70 pp.
- LABASTIDA, F; SIFRE, V y SERRA, R. Alumbrado 1. Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Cataluña y Baleares. Colección Manuales de Arquitectura - 6. Barcelona, España: Editorial Blume, 1970, 86 pp.
- LEBLANC, M; DOURGNON, J y DERIBERE, M. Iluminación e Instalaciones Eléctricas en la Construcción. (L. Ibañez, Trad.). Barcelona, España: Ediciones Técnicas Marcombo, 1963.
- MONTILVA, Jonás A.: Desarrollo de Sistemas de Información. Venezuela: Consejo de Publicaciones de la Universidad de Los Andes, Texto de la Universidad de los Andes, Colección: Tecnología, Serie: Informática, 6ta. Reimpresión, 1992, 262 pp.
- NIBRA. Manual de Luminotecnia. OSRAM.
- NUCKOLLS, James. Interior Lighting for Enviromental Designers. New York :Wiley - Interscience Publication, John Wiley & Sons, 1976, 371 pp.
- OSRAM. (1993). Catálogo General de Luz. '92/93. Munich, Alemania.
- OTERO, Gabriel. Calculo de Iluminación Interior. Método Cavidad Zonal.
- PHILLIPS, Derek. Lighting in architectural desing. United State of América : McGraw - Hill. 1964, 310 pp.
-

-
- PRITCHARD, D C. Enviromental Physics : Lighting. Editor C R Bassett. London : Longman Group Ltd, 1976, 96 pp.
- PUPPO, Ernesto ; PUPPO, Giorgio y PUPPO, Giancarlo. Sol y Diseño. Índice térmico relativo. Barcelona, España : Marcombo, S A, Boixareu Editores, 1976.
- QUIRÓS L, Carlos E. Protecciones solares en las edificaciones. Taller - Seminario Arquitectura y Urbanismo en el Trópico. Maracaibo (Venezuela) : Universidad del Zulia, Facultad de Arquitectura, noviembre 1995.
- REGGIANNI SPA ILLUMINAZIONE. Origine di Luce. Catálogo General. Milán, Italia: Reggiani Editore Srl, 175 pp.
- SENN, James A. Análisis y diseño de sistema de información. Tr.: Edmundo G Urbina M y Óscar A Palmas V, México: McGraw-Hill Interamericana de México, S A, Segunda edición, 1992, 942 pp.
- STEADMAN, Philip. Energía, medio ambiente y edificación. Tr.: Rosa Aguilar. Editor : Luis A. Fernández - Galiano. Primera edición española, Madrid : H. Blume Ediciones. 1978, p. 312.
- ZORRILLA, José. The Maracaibo Electric Light o el nacimiento de una gran Empresa (I). Revista Chispazos. Maracaibo : ENELVEN, octubre 1989.
-

**OTRA BIBLIOGRAFÍA
CONSULTADA**

OTRA BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ARCHITECTURAL RECORD LIGHTING. New Lighting - Desing Software. Vol.11, november 1994.
- ARCHITECTURE INTERIEURE CREE. Lighting : Artificial. Nº 257, December/January 1993/1994.
- ARCHTS' JNL. Lighting. Vol. 199, Nº 6, february 9, 1994.
- AUDIN, Lindsay. Outlook for Fluorescent Dimming Brightens. Architectural Record Lighting. Vol. 8, august 1994.
- BENYA, James. Lighting Systems for the Electronic Office. Architectural Record Lighting. Vol. 2, february 1994.
- BOUD, John. Lighting design in Buildings. England : Peter Peregrinus Ltd, 1973, 178 pp.
- DAWSON, Susan and colleagues, Lighting. AJ Focus. Special Issue, Vol 8, Nº 3, march, 1994.
- ECKOLS, Steve. Cómo Diseñar y Desarrollar Sistemas de Información. Un enfoque Práctico al Análisis, Diseño e Implementación de Sistemas Computarizados. Tr.: Francisco Soler; Editor: Mike Murach; 2da ed.; Caracas (Venezuela): Mike Murach & Associates, Inc, 1987, 358 pp.
- FLYNN, J. E. Y MILLS, S. M. Architectural Lighting Graphics. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1962, 223 pp.
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto; FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, Pilar. Metodología de la Investigación. Editor: McGraw-Hill Interamericana de México, S A; México: McGraw-Hill, 1991, 505 pp.
-

-
- Iluminación Residencial. Ideas - Accesorios - Instalaciones. (Serie: Sunset - Trillas). (Trad N L Pando O). México: Editorial Trillas, 1993, 96 pp.
- LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA. Normas mínimas para la presentación de trabajos en la Universidad del Zulia. Consejo Universitario, 29 de abril de 1987.
- MASCARÓ, Lucia de. Luminotecnia. Luz natural. Colección Manuales Vol. 1, Argentina : Ediciones Summa, 1977, 72 pp.
- OTERO, Gabriel. Calculo de Iluminación Interior. Método Cavidad Zonal.
- SABINO, Carlos. El Proceso de Investigación. Editor: editorial Panapo, Caracas [Venezuela]: editorial Panapo, 1992, 207 pp.
- SÁLAS, Guillermo José. Manual para la Elaboración y Redacción de Trabajos Especiales de Grado. Editor: Guillermo José Sálas; Maracaibo (Venezuela): Universidad del Zulia, Facultad de Ingeniería, 1978, 176 pp.
- TAMAYO Y TAMAYO, Mario. El Proceso de la Investigación Científica. Fundamentos de Investigación con Manual de Evaluación de Proyectos. Editor: Editorial Limusa, Grupo Noriega Editores; 2da ed., octava reimpresión, México: Editorial Limusa, 1992, 161 pp.
- THE ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF AMÉRICA. Technical Knowledge Examination, Examination Guide, 1995.
- UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA EXPERIMENTAL LIBERTADOR, Manual de Trabajos de Grado de Maestría y Tesis Doctorales. Caracas (Venezuela): Vicerrectorado de Investigación Y Posgrado, Instituto de Investigaciones Educativas., 1990, 180 pp.
- WESTON, H C. Sight, Light and Work. Second Edition, London : H K Lewis & Co. Ltd, 1962, 283 pp.