



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura

Instituto de Investigaciones Históricas - Facultad de Arquitectura – Facultad de Estudios Superiores Aragón

Maestría en Arquitectura – Tecnología

POTENCIAL DE AHORRO DE ENERGÍA EN ILUMINACIÓN POR USO DE LUZ NATURAL Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

Tesis que para optar por el grado de Maestra en Arquitectura

Presenta:

Bethania Hernández Barrera

DIRECTOR DE TESIS:

Dra. Manuela Azucena Escobedo Izquierdo - Instituto de Ingeniería

COMITÉ TUTOR:

Mtro. Arturo Valeriano Flores- Facultad de Arquitectura

Mtro. Leonardo Zeevaert Alcántara- Facultad de Arquitectura

Dr. José Diego Morales Ramírez- Facultad de Arquitectura

Mtro. Jorge Rangel Dávalos- Facultad de Arquitectura

México, D.F., Octubre de 2015.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



**POTENCIAL DE AHORRO DE ENERGÍA EN ILUMINACIÓN POR USO DE LUZ NATURAL
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

Presenta:

Bethania Hernández Barrera

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura

Maestría en Arquitectura – Tecnología

UNAM – 2015 – MÉXICO



Instituto de Investigaciones Históricas



Facultad de Arquitectura



Facultad de Estudios Superiores Aragón

DIRECTOR DE TESIS:

Dra. Manuela Azucena Escobedo Izquierdo

COMITÉ TUTOR:

Mtro. Arturo Valeriano Flores

Mtro. Leonardo Zeevaert Alcántara

Dr. José Diego Morales Ramírez

Mtro. Jorge Rangel Dávalos

***“Todo tiene su tiempo, y todo lo que se quiere
debajo del cielo tiene su hora”.***

Eclesiastés 3:1

***“Lo que queremos y lo que conseguimos rara vez
es lo mismo”.***

Paul Auster

ÍNDICE

ÍNDICE DE IMÁGENES	IV	2.4.1. MÉTODO DE FLUJO DIVIDIDO: TRANSPORTADORES.	40
ÍNDICE DE TABLAS	V	2.5. EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y LUMÍNICO.	45
ÍNDICE DE GRÁFICOS	VI	2.5.1. SISTEMAS DE ILUMINACIÓN NATURAL.	49
RESUMEN	1	2.5.2. DIAGNÓSTICO Y ESTRATEGIAS ARQUITECTÓNICAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA LUZ NATURAL.	50
ABSTRACT	3	2.5.3. LA OFICINA ECOLÓGICA.	53
INTRODUCCIÓN	5	CAPÍTULO 3.	
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES.	9	LA ILUMINACIÓN ARTIFICIAL EN LA ARQUITECTURA.	57
1.1. INVESTIGACIONES PREVIAS.	11	3.1. PRINCIPIOS DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL.	59
1.2. EL SECTOR ENERGÉTICO EN MÉXICO	17	3.2. TECNOLOGÍA EFICIENTE PARA OFICINAS.	62
1.2.1. BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA EN MÉXICO.	18	3.3. CONFORT VISUAL CON ILUMINACIÓN ARTIFICIAL.	69
1.3. ORGANISMOS QUE IMPULSAN EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN MÉXICO.	20	3.4. EL CONTROL DE LA ILUMINACIÓN ARTIFICIAL EN ESPACIOS. 70	
1.4. PROGRAMAS OFICIALES PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN INMUEBLES.	21	3.4.1. EL EJEMPLO DEL EDIFICIO “THE NEW YORK TIMES COMPANY”.	72
1.5. NORMATIVAS PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN EDIFICIOS PÚBLICOS.	24	CAPÍTULO 4.	
1.5.1. NOM-007-ENER-2004	24	ANÁLISIS ENERGÉTICO Y ARQUITECTÓNICO.	77
1.5.2. NOM-008-ENER-2001	25	4.1. DETERMINACIÓN DE CASOS DE ESTUDIO.	82
1.5.3. NOM-025-STPS-2008	26	4.2. DESCRIPCIÓN DE CASOS DE ESTUDIO: ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO Y ENERGÉTICO DE LOS EDIFICIOS.	84
1.6. OTRAS RECOMENDACIONES A NIVEL MUNDIAL.	28	4.2.1. EDIFICIO NO. 1.	84
CAPÍTULO 2.		4.1.2. EDIFICIO NO. 2.	86
LA ILUMINACIÓN NATURAL EN LA ARQUITECTURA.	31	4.2.3. EDIFICIO NO. 3.	88
2.1. LA LUZ NATURAL: CONCEPTOS BÁSICOS.	33	4.2.5. EDIFICIO NO. 5.	92
2.1.1. REQUISITOS DE ILUMINACIÓN.	34	4.3. RESUMEN DE LA DESCRIPCIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO.	93
2.2. CONFORT VISUAL.	35	CAPÍTULO 5.	
2.3. LA DISPONIBILIDAD DE LA LUZ NATURAL.	36	RESULTADOS: POTENCIAL DE AHORRO DE ENERGÍA POR USO DE LUZ NATURAL.	101
2.4. EL FACTOR DE LUZ DE DÍA	39		

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

5.1. PORCENTAJE DE AHORRO DE ENERGÍA EN ILUMINACIÓN.	103
5.2. MEDICIONES EN SITIO Y EN EL EXTERIOR. CASO DE ESTUDIO: EDIFICIO DE OFICINAS DEL DISTRITO FEDERAL.	105
5.2.1. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO.	106
5.2.2. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN.	107
5.3. ANÁLISIS DE MEDICIONES.	111
5.3.1. MEDICIONES GENERALES. SEMANA COMPLETA.	111
5.3.2. ANÁLISIS DE MEDICIONES PARA EL DÍA 5 DE ENERO DE 2015.	116
5.3.3. ANÁLISIS DE MEDICIONES PARA EL DÍA 7 DE ENERO DE 2015.	120
5.3.4. ANÁLISIS DEL FOTÓMETRO 2 DURANTE TODA LA SEMANA.	124
5.3.5. ANÁLISIS DEL FOTÓMETRO 3 DURANTE TODA LA SEMANA.	126
5.3.6. ANÁLISIS DEL FOTÓMETRO 5 DURANTE TODA LA SEMANA.	127
5.3.7. ANÁLISIS DEL FOTÓMETRO 4 Y 6 DURANTE TODA LA SEMANA.	129
5.3.8. ANÁLISIS DEL FOTÓMETRO 2 Y 3 (EXTERIOR E INTERIOR)	132
5.3.9. ANÁLISIS DE LOS NIVELES DE ILUMINANCIA EN EL EXTERIOR E INTERIOR (ILUMINANCIA GLOBAL HORIZONTAL)	136
5.4. OBSERVACIONES Y PROPUESTAS CON RESPECTO A LAS MEDICIONES EN EL CASO DE ESTUDIO.	139
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	141
REFERENCIAS.	149
ANEXOS	155

ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 1. DISMINUCIÓN DEL DESLUMBRAMIENTO DEBIDO A LA ILUMINACIÓN NATURAL. FUENTE: L'OBSERVATOIRE DES ÉNERGIES RENOUVELABLES (S/A)	35	IMAGEN 16. LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS. FUENTE: GOOGLE 2015.	63
IMAGEN 2. TRANSPORTADOR DE CIELO DESPEJADO.	42	IMAGEN 17. COMPACTAS FLUORESCENTES. FUENTE: GOOGLE 2015.	63
IMAGEN 3. TRANSPORTADOR DE CIELO NUBLADO.	42	IMAGEN 18. LUMINARIA FLUORESCENTE T12. FUENTE: GOOGLE 2015.	64
IMAGEN 4. FACTOR DE CORRECCIÓN.	44	IMAGEN 19. LÁMPARA FLUORESCENTE T8. FUENTE: GOOGLE 2015.	65
IMAGEN 5. NOMOGRAMA PARA EL CÁLCULO DEL C.R.I. (REPRODUCIDO POR BRE, 1970)44	44	IMAGEN 20. LUMINARIO FLUORESCENTE T5. FUENTE: GOOGLE 2015.	66
IMAGEN 6. LUZ NATURAL EN LAS PLANTAS INFERIORES DEL HOTEL MONTEMÁLAGA. FUENTE: ROJAS FERNÁNDEZ, JUAN MANUEL (2006)	46	IMAGEN 21. LÁMPARA FLUORESCENTE T5. FUENTE: GOOGLE 2015.	66
IMAGEN 7. ESPACIO CON LUZ NATURAL. FUENTE: DECOMUNDO (2013)	47	IMAGEN 22. TECNOLOGÍA LED. FUENTE: GOOGLE 2015.	67
IMAGEN 8. ILUMINACIÓN LATERAL. FUENTE: CENTRO CULTURAL GABRIELA MISTRAL, CHILE.	49	IMAGEN 23. LÁMPARA LED. FUENTE: GOOGLE 2015.	68
IMAGEN 9. ILUMINACIÓN CENTRAL PARA UN LOCAL. FUENTE: DESCONOCIDO (2008)	50	IMAGEN 24. LUMINARIA LED PARA OFICINA. FUENTE: GOOGLE 2015.	68
IMAGEN 10. PISCINA EN MALLORCA. FUENTE: A2 ARQUITECTOS (2011)	50	IMAGEN 25. USO DE ENERGÍA EN ILUMINACIÓN EN EL EDIFICIO DEL NEW YORK TIMES EN 2009. FUENTE: LUTRON.	72
IMAGEN 11. PROPORCIONES DE VENTANA.	51	IMAGEN 26. ESTRATEGIAS DE DISEÑO PARA EL AHORRO DE ENERGÍA. FUENTE: LUTRON, 2015.	73
IMAGEN 12. MODELO DE SECCIÓN PARA UN EDIFICIO DE OFICINAS ECOLÓGICO. EDIFICIO PARA BRITISH ENERGY, DE FITZROY ROBISON & PARTNERS. FUENTE: F.R. & PARTNERS.	54	IMAGEN 27. EDIFICIO "THE NEW YORK TIMES COMPANY". FUENTE: LUTRON.	74
IMAGEN 13. CALIDAD EN EL ENTORNO DE TRABAJO. FUENTE: FOSTER+PARTNERS	55	IMAGEN 28. EDIFICIO "THE NEW YORK TIMES". VISTA NOCTURNA. FUENTE: LUTRON.	75
IMAGEN 14. BALASTRO ELECTRÓNICO. FUENTE: GOOGLE 2015.	61	IMAGEN 29. MÉTODO PARA LA OBTENCIÓN DEL POTENCIAL DE AHORRO DE ENERGÍA POR USO DE LUZ NATURAL.	80
IMAGEN 15. LÁMPARA HALÓGENA. FUENTE: GOOGLE 2015.	62	IMAGEN 30. INTERIOR DE UNA OFICINA TÍPICA EN EL EDIFICIO 1.	85
	62	IMAGEN 31. FACHADA PRINCIPAL DEL CASO DE ESTUDIO.	85
		IMAGEN 32. TECNOLOGÍA INSTALADA EN EL INTERIOR.	86
		IMAGEN 33. OFICINA EN EL INTERIOR DEL EDIFICIO 2.	86
		IMAGEN 34. FACHADA PRINCIPAL DEL CASO DE ESTUDIO.	87
		IMAGEN 35. DOMO EN EL INTERIOR DEL EDIFICIO.	87
		IMAGEN 36. LUMINARIAS T5 3x14 W	88

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

IMAGEN 37. LUMINARIAS T5 3X28 W	88
IMAGEN 38. TECNOLOGÍA INSTALADA.	88
IMAGEN 39. FACHADA PRINCIPAL.	89
IMAGEN 40. INTERIOR DEL CASO DE ESTUDIO 3.	90
IMAGEN 41. LUMINARIA T8 2X32	90
IMAGEN 42. LUMINARIO T5 3X28.	90
IMAGEN 43. INTERIOR DEL CASO DE ESTUDIO.	91
IMAGEN 44. ESPACIO INTERIOR DEL CASO DE ESTUDIO.	91
IMAGEN 45. DOMO UBICADO EN EL ESTUDIO CASO.	91
IMAGEN 46. LUMINARIO INSTALADO.	91
IMAGEN 47. TECNOLOGÍA INSTALADA.	91
IMAGEN 48. FACHADA PRINCIPAL EDIFICIO 5.	92
IMAGEN 49. INTERIOR DEL EDIFICIO 5.	93
IMAGEN 50. INTERIOR DEL EDIFICIO 5.	93
IMAGEN 51. UBICACIÓN DEL INSTITUTO DE GEOFÍSICA Y EL CASO DE ESTUDIO. FUENTE: GOOGLE EARTH.	105
IMAGEN 52. NIVEL EN DONDE SE REALIZÓ LA MEDICIÓN.	106
IMAGEN 53. ESPACIO INTERIOR EN EL TERCER NIVEL.	107
IMAGEN 54. FOTÓMETRO LI-COR (LI-210)	107
IMAGEN 55. CAJA DE SEGURIDAD Y ADQUISIDOR DE DATOS CAMPBELL SCIENTIFIC INC. CR1000.	108
IMAGEN 56. FOTÓMETRO 3 LI-210 EN SITIO.	108
IMAGEN 57. FACHADA PRINCIPAL DEL CASO DE ESTUDIO.	108
IMAGEN 58. DETALLE DE QUIEBRAVISTAS EN EL INTERIOR.	108
IMAGEN 59. PLANTA ARQUITECTÓNICA DEL CASO DE ESTUDIO.	109
IMAGEN 60. FOTÓMETROS 2 Y 3.	110
IMAGEN 61. FOTÓMETRO 4.	110
IMAGEN 62. FOTÓMETRO 6.	110
IMAGEN 63. FOTÓMETRO 5.	110
IMAGEN 64. FOTÓMETROS 2 Y 3 A LAS 10 AM DEL 7 DE ENERO DE 2015.	124
IMAGEN 65. ÁREA DE CRUCETAS A LAS 10 AM DEL 7 DE ENERO DE 2015.	124

IMAGEN 66. FOTÓMETRO 5 A LAS 10 AM DEL 7 DE ENERO DE 2015.	124
IMAGEN 67. OFICINA EN DONDE SE COLOCÓ EL FOTÓMETRO 5.	127
IMAGEN 68. FOTÓMETRO 6 EN ESCRITORIO.	129
IMAGEN 69. FOTÓMETRO 4 EN FACHADA DE CRISTAL.	129

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. DPEA REQUERIDO POR LA NOM-007-ENER-2004	25
TABLA 2. DATOS DE FACHADA DE LA NOM-008-ENER-2001	26
TABLA 3. NIVELES MÍNIMOS DE ILUMINACIÓN (LUXES) FUENTE: NOM-025-STPS-2008	27
TABLA 4. ILUMINANCIA RECOMENDADA POR LA CIBSE.	28
TABLA 5. TRANSPORTADORES PARA CÁLCULO DE FLD	45
TABLA 6. FACTORES DE CORRECCIÓN PARA INTERIORES DE CUARTOS.	45
TABLA 7. ETAPAS LLEVADAS A CABO EN EL MÉTODO.	81
TABLA 8. DATOS DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO 1.	85
TABLA 9. LUMINARIAS INSTALADAS EN FACHADAS CON APORTACIÓN DE LUZ NATURAL.	85
TABLA 10. DATOS DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO 2.	86
TABLA 11. LUMINARIAS POR FACHADAS CON INCIDENCIA DE LUZ NATURAL.	87
TABLA 12. DATOS DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO 3.	89
TABLA 13. LUMINARIAS EN ÁREAS DE FACHADAS.	89
TABLA 14. MATERIALES DE LA ENVOLVENTE.	90
TABLA 15. LUMINARIAS TOTALES EN EL CASO DE ESTUDIO.	91
TABLA 16. MATERIALES DE LA ENVOLVENTE (EDIFICIO 5)	92
TABLA 17. LUMINARIAS EN FACHADAS ACRISTALADAS.	92

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

TABLA 18. RESUMEN DE DATOS GENERALES DE LOS CASOS DE ESTUDIO.	93
TABLA 19. DATOS DE ENVOLVENTES. COMPARATIVA ENTRE DATOS DEL ANÁLISIS DE LA NORMA Y LEVANTAMIENTO.	95
TABLA 20. TOTAL DE LUMINARIAS EN FACHADAS ACRISTALADAS.	96
TABLA 21. DEMANDA Y CONSUMO EN ÁREAS CON APORTACIÓN DE LUZ NATURAL.	96
TABLA 22. % DE RELACIÓN ENTRE CONSUMOS.	97
TABLA 23. RELACIÓN DE ENVOLVENTE ACRISTALADA CON RESPECTO A LA ENVOLVENTE SÓLIDA.	98
TABLA 24. % DE ESPACIOS CON LUZ NATURAL	98
TABLA 25. CONSUMO DE ACUERDO A DEN.	98
TABLA 26. DIFERENCIAS ENTRE CONSUMOS	103
TABLA 27. PORCENTAJES DE AHORRO ENERGÉTICO.	104
TABLA 28. DESCRIPCIÓN DE LOS FOTÓMETROS UTILIZADOS	107
TABLA 29. PROMEDIOS POR HORA EL 5/01/15	113
TABLA 30. VALORES LUMÍNICOS PROMEDIO DEL 5/01/15.	116
TABLA 31. VALORES PROMEDIO POR HORA PARA EL 07/01/15	120
TABLA 32. PÉRDIDA DE ILUMINANCIA DEL EXTERIOR AL INTERIOR.	134
TABLA 33. PORCENTAJE DE PÉRDIDA DEL EXTERIOR AL INTERIOR.	138

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. CONSUMO FINAL POR ENERGÉTICO. FUENTE: BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA 2013, SENER.	18
GRÁFICO 2. CONSUMO FINAL DE ENERGÍA POR SECTOR. FUENTE: BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA 2013, SENER.	18

GRÁFICO 3. CONSUMO TOTAL DE LOS SECTORES RESIDENCIAL, COMERCIAL Y PÚBLICO. FUENTE: BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA 2013, SENER.	19
GRÁFICO 4. ILUMINANCIA GLOBAL EN SEMANA DE ABRIL.	38
GRÁFICO 5. ILUMINANCIA GLOBAL EN SEMANA DE NOVIEMBRE.	39
GRÁFICO 6. DEMANDA EN FACHADA TOTAL Y CON LUZ NATURAL.	97
GRÁFICO 7. COMPARATIVA DE CUBÍCULOS CON LUZ NATURAL Y M2 DEL EDIFICIO.	98
GRÁFICO 8. MEDICIÓN DEL 5 AL 9 DE ENERO DE 2015. TODOS LOS FOTÓMETROS.	112
GRÁFICO 9. ILUMINANCIA PROMEDIO POR HORA. SEMANA COMPLETA.	114
GRÁFICO 10. NIVELES MÍNIMOS DE ILUMINANCIA POR HORA.	115
GRÁFICO 11. MEDICIÓN PARA EL 5/01/15. TODOS LOS FOTÓMETROS.	117
GRÁFICO 12. ILUMINANCIA PROMEDIO POR HORA PARA EL 05/01/15	118
GRÁFICO 13. ILUMINANCIA MÍNIMA A CADA HORA PARA EL 05/01/15	119
GRÁFICO 14. MEDICIÓN PARA EL 7/01/15. TODOS LOS FOTÓMETROS.	121
GRÁFICO 15. ILUMINANCIA PROMEDIO POR HORA PARA EL 07/01/15	122
GRÁFICO 16. ILUMINANCIA MÍNIMA A CADA HORA PARA EL 07/01/15	123
GRÁFICO 17. NIVELES LUMÍNICOS DEL FOTÓMETRO 2. TODA LA SEMANA.	125
GRÁFICO 18. NIVELES LUMÍNICOS DEL FOTÓMETRO 3. TODA LA SEMANA.	126
GRÁFICO 19. NIVELES LUMÍNICOS DEL FOTÓMETRO 5. TODA LA SEMANA.	128

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

GRÁFICO 20. NIVELES LUMÍNICOS DEL FOTÓMETRO 4. TODA LA SEMANA.	130
GRÁFICO 21. NIVELES LUMÍNICOS DEL FOTÓMETRO 6. TODA LA SEMANA.	131
GRÁFICO 22. ILUMINANCIA EXTERIOR E INTERIOR. TODA LA SEMANA.	132
GRÁFICO 23. ILUMINANCIA PROMEDIO POR HORA (EXTERIOR E INTERIOR)	133
GRÁFICO 24. NIVELES MÍNIMOS DE ILUMINANCIA POR HORA (EXTERIOR E INTERIOR)	135
GRÁFICO 25. COMPARATIVA ENTRE ILUMINANCIA GLOBAL HORIZONTAL EN EL EXTERIOR E ILUMINANCIA HORIZONTAL EN EL INTERIOR.	136
GRÁFICO 26. COMPARATIVA ENTRE ILUMINANCIA EN EL EXTERIOR Y EN EL INTERIOR (PROMEDIOS)	137

RESUMEN

En la actualidad, el tema de ahorro de energía es una de las principales preocupaciones a nivel mundial y nacional. En el mundo, aproximadamente un tercio de la energía usada es consumida en edificios. El Balance Nacional de Energía 2013, realizado por la Secretaría de Energía, atribuye que en México, el consumo final de energía sector residencial, comercial y público es del 18%.

Derivado de ello, surge la inquietud por el aprovechamiento y explotación de los recursos renovables en los edificios como forma de ahorro de energía.

Para esta investigación se estableció la posibilidad de ahorrar energía con el uso del sol, específicamente con la iluminación natural que este brinda. Esto como un beneficio al medio ambiente y con el propósito de paliar y disminuir el gasto energético que implica el uso de la luz artificial. Si bien, éste último tipo de iluminación seguirá siendo necesario, es importante poder conjuntarlo con el uso de la iluminación natural.

En esta tesis se plantea una metodología para obtener el potencial de ahorro de energía en iluminación al hacer uso de la luz natural en edificios públicos del Distrito Federal. Se presentan los resultados derivados de la metodología propuesta, en la que se analizaron cinco casos de estudio, todos ellos edificios de oficinas públicas ubicados en la Ciudad de México y con características similares en cuanto a envolvente arquitectónica y tecnología lumínica instalada.

Se realizó un análisis arquitectónico, en donde se ubicaron las áreas con incidencia de luz solar y la potencia de carga en dichas áreas. Posteriormente se efectuaron mediciones en uno de los casos de estudio, para conocer los niveles de iluminación que inciden en cada espacio y determinar si cumplen con los requerimientos de las normativas mexicanas y que se cuente con la cantidad de iluminación requerida para las actividades visuales dentro de las oficinas.

Finalmente, estos resultados confirmaron que existe un ahorro de energía al combinar el uso de la luz natural con el uso de la luz artificial, por lo que es importante continuar con su estudio y aplicación. Con esto se demuestra que el uso de la iluminación natural es una óptima forma de ahorrar energía, y con ello se expone que el recurso carece de la explotación adecuada en los edificios.

ABSTRACT

At present, the issue of energy saving is one of the main concerns at the global and national level. Worldwide, about a third of the energy used is consumed in buildings. The National Energy Balance 2013 by the Energy Secretariat attributes that in Mexico, the final energy consumption residential, commercial and public sector is 18%.

Derived from this, the concern of the development and exploitation of renewable resources in buildings as a way of saving energy arises.

For this research the possibility to save energy by using the sun, specifically with natural lighting that this provides is established. This, as a benefit to the environment and in order to mitigate and reduce energy expenditure involving the use of artificial light. While the latter type of lighting is still necessary, it is important to join it with the use of natural lighting.

This thesis presents a methodology for the potential energy savings in lighting to make use of natural light in public buildings in Mexico City. The results from the proposed methodology are presented, in which five case studies analyzed, all public office buildings located in Mexico City and with similar characteristics in terms of architectural envelope and lighting technology installed.

An architectural analyzes, where the areas with incidence of sunlight and the load power in these areas was performed. Later measurements were made in one of the case studies, to meet the lighting levels affecting each area and determine if they suffice the requirements of Mexican regulations and that has the amount of lighting required for the visual activities within offices.

Finally, these results confirmed that there is an energy savings by combining the use of natural light through the use of artificial light, so it is important to continue with their study and application. This demonstrates that the use of natural lighting is an excellent way to save energy, and it is stated that the appeal lacks adequate exploitation in buildings.

INTRODUCCIÓN.

INTRODUCCIÓN.

La presente investigación surge por la inquietud del aprovechamiento y explotación de los recursos renovables como forma de ahorro de energía. Uno de estos recursos es el sol, cuya fuente luminosa es capaz de satisfacer las necesidades de las personas y contribuir al ahorro de energía.

Ambas fuentes luminosas son importantes, pero a pesar de que se han hecho esfuerzos en lo referente a tecnología en iluminación artificial con el propósito de reducir el consumo de electricidad, la luz natural no tiene los mismos niveles lumínicos que la artificial. Por otra parte, la iluminación natural proporciona fomenta a una mayor productividad y rendimiento.

A la fecha hay poca explotación de este recurso debido a la desinformación y en parte a la falta de cultura de la sociedad. Sumado a esto se presenta el poco o nulo conocimiento de la disponibilidad de este medio en los espacios arquitectónicos. Esta problemática puede observarse en las edificaciones, ya que existe una preferencia por el uso de iluminación artificial al de la luz natural, incluso en horarios donde la primera no es necesaria.

Aunado a esto, el tema de ahorro de energía es una de las principales preocupaciones a nivel mundial y nacional. En el mundo, aproximadamente un tercio de la energía usada es consumida en edificios; en el 2010, la Unión Europea determinó que los edificios son los responsables de consumir el 40% de la energía producida, así como ser el foco del 36% de las emisiones de CO₂. En Canadá, E.U.A. y México, la operación de edificios comerciales y habitacionales representa alrededor de 20, 30 y 40% respectivamente, del consumo básico de energía.

De acuerdo al Balance Nacional de Energía 2013, realizado por la Secretaría de Energía, se atribuye que en México el consumo final de energía sector residencial, comercial y público es del 18%. La Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GIZ) en conjunto con el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) realizó un estudio para dar recomendaciones sobre eficiencia energética en el sector PyME, en él menciona que en las instalaciones tipo oficina del centro del país, la iluminación es el consumidor de electricidad que tiene mayor impacto.

Así mismo, es necesario recalcar que el estudio de los edificios del sector terciario resulta de suma importancia, ya que se han vuelto parte substancial de la matriz energética del mundo, además de que la edificación sustentable reduce 30% del uso de la energía y el 35% de las emisiones de carbono.

En las oficinas de gobierno, las luminarias permanecen encendidas al menos 12 horas del día en promedio, incluso cuando no es preciso; lo que provoca el aumento de los consumos en electricidad, mismos que pueden ser evitados y/o reducidos.

Dados los fundamentos mencionados y la accesibilidad a dichos inmuebles, se decidió enfocar la investigación a este sector; con el propósito de establecer los ahorros que se pueden obtener en este país. Por lo que se plantearon las siguientes preguntas:

¿Hay potencial de ahorro de energía con el aprovechamiento de la luz natural en oficinas de gobierno del Distrito Federal? ¿Cuál es la disponibilidad de luz natural en el Distrito Federal? ¿Cuál es el consumo que puede ser ahorrado por la utilización de este recurso natural? ¿La luz natural en el interior de los edificios, es eficaz para el desarrollo de las actividades?

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

Como hipótesis de investigación se planteó que la luz natural tiene la posibilidad de generar un ahorro de energía en iluminación del 30% si se aprovecha en las áreas donde haya incidencia de ésta. Así mismo, se buscó probar que los niveles lumínicos en el interior de los espacios de oficinas cumplen con los niveles mínimos requeridos y establecidos por la normativa mexicana que rige estos parámetros.

Por tal razón, el objetivo principal de esta investigación fue estimar el potencial de ahorro de energía en iluminación en inmuebles gubernamentales del Distrito Federal por medio del empleo de la luz natural. Los objetivos particulares que se establecieron para esta pesquisa fueron:

- * Plantear una muestra de edificios para observar las características arquitectónicas y energéticas en cada uno de ellos, que determinen los posibles ahorros de energía.
- * Estimar el potencial de ahorro en iluminación con el uso de luz natural.
- * Indicar los niveles de iluminación en el Distrito Federal, de acuerdo a las mediciones en sitio y en el exterior.
- * Demostrar que la luz natural en el interior de los edificios es eficaz y dentro de los parámetros que establecen las normativas mexicanas de iluminación.

Cabe destacar que la muestra está planteada con base a la información de los edificios que la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) proporcionó para el desarrollo de esta investigación, misma que se encuentra dividida en cuatro etapas principales.

En la primera parte se recolectó la información general de los edificios (uso, ubicación, estado físico, estado energético, áreas generales, etc.), de la información analizada se determinó una muestra final que consiste en cinco inmuebles.

En la segunda etapa se realizó el análisis físico y energético de cada inmueble, para observar el comportamiento y las características de los mismos. Así también se realizaron los levantamientos de fachadas acristaladas y la tecnología instalada en cada espacio en el que hay incidencia de luz natural.

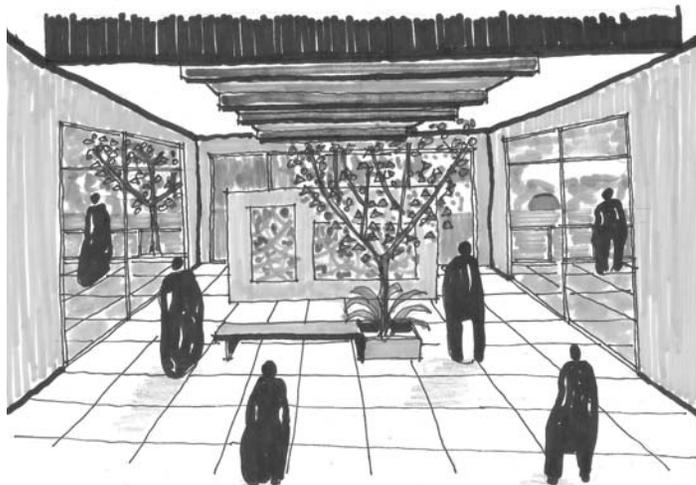
En la tercera etapa se efectuaron mediciones en uno de los casos de estudio. La finalidad era comprobar los niveles de iluminación en el interior de los espacios, y posteriormente compararlos con los registros de la iluminación exterior, mismos que fueron proporcionados por el Laboratorio de Interacción con el Medio (LIM) del Posgrado de Arquitectura, en conjunto con el Observatorio de Radiación Solar del Instituto de Geofísica de la UNAM.

Después de haber obtenido ambos resultados, se obtuvo el ahorro energético por el uso de luz natural y la confirmación de que la iluminación natural dentro de las oficinas cumple con la norma.

Con esta investigación se buscó demostrar que el uso de la iluminación natural es una de las formas de ahorrar energía, y con ello exponer que el recurso carece de la explotación adecuada en los edificios.

Esto a primera vista parece obvio, pero no hay estudios en México que demuestren cuál es la disponibilidad y el consumo eléctrico que puede ser ahorrado. Al conocer dicha disponibilidad se podrá aprovechar el potencial que hay en el país y con ello se logrará un ahorro en los recursos.

Sin duda, el tema de la iluminación natural es uno de los campos que pueden ser explotados para paliar la problemática de la contaminación y derroche de energía, al mismo tiempo que beneficiarán a la Tierra en términos de sustentabilidad.



Arq. Bethania Hernández Barrera

Capítulo 1. ANTECEDENTES.

Capítulo 1. ANTECEDENTES.

Sin duda hay un sinnúmero de investigaciones previamente realizadas en torno al ahorro de energía en los edificios. En este apartado se realiza una recopilación de los estudios que se consideraron relevantes para poder conocer lo que existe en torno a este tema. Específicamente se buscaron pesquisas que abordaran el tema del ahorro de energía por medio de iluminación natural en edificios de oficinas.

A continuación se enuncian las que se discurrieron como más representativas y que servirán como referencia. Cabe destacar que la mayor parte de estas investigaciones fueron desarrolladas en Europa, existe muy poca información del tema de iluminación natural y su aprovechamiento para el ahorro de energía para América y, desgraciadamente, mucho menos para México.

Así mismo, en una segunda parte se abordan temas sobre el estado energético del país, y en específico del sector terciario. Esto para conocer el consumo nacional de la energía eléctrica, así como la problemática de ahorro de energía en México. Derivado de estos puntos se realiza un análisis de los programas de ahorro en inmuebles públicos y las normativas oficiales enfocadas a soluciones a nivel nacional.

1.1. Investigaciones previas.

Santamouris (Grecia, 2002) considera que el mejoramiento de los edificios existentes es uno de los caminos con mayor potencial para la incorporación de las tecnologías de energías renovables y las medidas de eficiencia energética en edificios. En muchos países europeos es considerablemente mayor la reutilización de edificios que la construcción de otros nuevos.

Por lo que realiza un proyecto de investigación financiado por la Comisión para la comisión ambiental (*Commission for Environmental Cooperation*), al cual tituló "OFFICE"¹, que trata de la adaptación pasiva de los edificios de oficinas para mejorar su eficiencia energética y las condiciones de trabajo en el interior. El proyecto fue coordinado por la Universidad de Atenas, con la participación de organizaciones e institutos de investigación de ocho países europeos: Francia, Italia, Alemania, Suiza, Reino Unido, Noruega, Suecia y Dinamarca.

El objetivo del proyecto era desarrollar estrategias de reconversión globales, herramientas y directrices de diseño con el fin de promover la aplicación eficaz y el costo-beneficio de las medidas de reconversión, efectividad biológica y la energía solar pasiva en los edificios de oficinas. En el marco del proyecto, 10 edificios de oficinas ubicados en diferentes zonas climáticas de Europa fueron estudiados ampliamente.

Se realizaron auditorías y monitoreo de las actividades energéticas, experimentos específicos, así como una evaluación del potencial de los escenarios de reconversión propuestos para cada edificio. El objetivo del proyecto era combinar el conocimiento y la experiencia adquirida a través de las acciones recientes de la investigación sobre el desarrollo de la calefacción solar pasiva, refrigeración pasiva y técnicas del uso de la luz del día, para rehabilitar los edificios de oficinas con intervenciones arquitectónicas y de ingeniería.

Específicamente para iluminación propone lo siguiente:

La instalación de sistemas de iluminación de ahorro de energía y el uso de la luz del día: este conjunto de intervenciones tiene como objetivo reducir el consumo de energía eléctrica para la iluminación mediante la introducción de sistemas de iluminación de bajo consumo y reducir las horas de funcionamiento de la iluminación artificial mediante la

¹"Oficina"

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

utilización máxima de la luz del día. En donde concluye que se puede reducir hasta el 66% en el consumo de energía para la iluminación artificial.

Daskalaki (Grecia, 2002) comenta que a pesar de las diferencias observadas entre los edificios de oficinas en toda Europa, es posible definir una tipología, con la clasificación de los edificios existentes en grupos que presentan características comunes relacionadas con la energía. Como el clima es uno de los principales parámetros de comportamiento que afectan los niveles de la energía de un edificio, la efectividad de una intervención de adaptación es fuertemente dependiente de la región climática de referencia. Los edificios los clasifica en diferentes tipos dependiendo del grado de exposición, la masa térmica, la fachada y de la estructura interna. De acuerdo con la clasificación adoptada, los edificios de oficinas pueden ser:

- Instalación libre o cerrada: en función de su ubicación en el tejido urbano.
- Pesado o ligero: dependiendo del tipo de estructura y materiales de construcción.
- La piel o núcleo dependiente: de acuerdo con la importancia relativa de la envolvente exterior y los sistemas instalados en su rendimiento energético.
- Plano abierto: que consiste en grandes espacios y divisiones interiores mínimas, así como comunicación a través de corredores.

De acuerdo a la clasificación que brinda, concluye que los edificios con una instalación libre, con piel dependiente y plano abierto son los que tienen el consumo más bajo de energía. En un edificio representativo se encontró que tenía un consumo de energía anual total de cerca de 70 kWh/m² en todas las regiones climáticas. Este tipo de construcción presenta un consumo de energía significativamente más bajo que el promedio de uso de energía de los otros tipos. El uso

final de energía del consumo total de energía incluye: 48% para la calefacción, 36% para la refrigeración y el 16% restante para la iluminación.

Así mismo, Bodart & De Herde (Bélgica, 2002) evalúan el impacto de un ahorro de energía de iluminación en el consumo global de energía en edificios de oficinas. Esta evaluación proviene de un enfoque integrado que combina la luz natural y los aspectos térmicos. El estudio se basa en los resultados de simulaciones realizadas mediante el acoplamiento de una herramienta de simulación de iluminación natural ADELIN y TRNSYS (software de simulación térmica). Estas simulaciones permitieron determinar los principales parámetros que juegan sobre el consumo de la iluminación.

Se concluyó que la iluminación natural puede reducir el consumo de luz artificial del 50 a 80%. El ahorro de la energía primaria global proviene no sólo de la reducción del consumo de iluminación, sino también de la reducción de la iluminación de las cargas internas del acristalamiento que por lo general se utiliza en edificios de oficinas. El primer objetivo de este estudio fue verificar si la gestión de la iluminación en función de la luz natural tiene una influencia en el consumo mundial de la construcción, bajo el clima belga. El segundo objetivo de este estudio fue la comparación de varias configuraciones de fachada, varios vidrios, en términos de iluminación y el consumo de energía global.

Los resultados sugieren que el potencial de ahorro de energía mediante la integración de la disponibilidad de iluminación natural en la gestión de la iluminación eléctrica es alta. Consideran que hubiera sido interesante comparar los resultados de la simulación con mediciones reales en edificios de oficinas, ya que no se ha hecho por Bélgica y encontraron poca información sobre este tema. Por tanto, está claro que el potencial global de ahorro de energía procedente de la combinación de la luz natural es muy alto. Estos ahorros

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

proviene de la disminución de consumo de luz artificial, pero también de la disminución de la disipación de calor de las lámparas.

En este mismo estudio, los autores evalúan la literatura existente y encuentran que para edificios de oficinas, con ventanas clásicas (sin sistema de iluminación natural específica) Szerman (1993) da los siguientes valores (calculados mediante simulaciones): 77% de ahorro de energía de iluminación y el 14% del ahorro total de energía. Zeguers (1993) habla de 20% de ahorro de energía en iluminación. Embrechts & Van Bellegem (1997) dicen que un sistema de regulación de iluminación individual puede ofrecer entre 20-40% de ahorro en el consumo de luz. Opdal & Brekke (1995) compararon las medidas y los resultados de cálculos y obtuvieron 40% de ahorro de iluminación (simulaciones) y 30% de iluminación de ahorro de energía (mediciones). En su caso, no se encontró ninguna diferencia de consumo de calefacción y refrigeración procedentes de la gestión de la iluminación. Zonneveldt & Rutten (1993) hablan de una reducción del consumo de iluminación hasta en un 30%. Rutten, habla de 46% de ahorro de iluminación procedentes de la gestión de la iluminación artificial como una función de la luz del día, para el edificio de estacionamiento de Holanda.

Çakmanus (Turquía, 2005) planteó un estudio sobre eficiencia de energía en edificios del sector público, tomándose como ejemplo uno que fue inaugurado en 1988 en Ankara. Este planteamiento se debió al consumo de energía excesivo en Turquía, en donde observaron que mientras en Europa el consumo en edificios residenciales eran de 100 kWh/m² por año, en Turquía era de 200 kWh/m², debido a la falta de regulaciones en las normas. Además de esta observación, un estudio mostraba que el 40% de la energía que se consumía podía ser ahorrada, si se usaba eficientemente. Por ello se propusieron que con el impulso y la renovación de edificios existentes, se podría incrementar la

eficiencia energética de éstos, además de que era una influencia hacia la sustentabilidad. Y se pensó que el tema de la energía y la eficiencia debería ser parte integral de los proyectos de renovación.

Para el ejemplo de este edificio, se analizaron las condiciones en las que se encontraba: especificaciones arquitectónicas, condiciones climáticas, sistemas mecánicos existentes, el consumo anual de energía, etc. Después se evaluó el uso eficiente de la energía así como las medidas arquitectónicas que se habrían de considerar; los sistemas y equipos eficientes; la automatización en sistemas eléctricos y de aire acondicionado; los sistemas de plomería, etc. Para finalmente dar conclusiones y posibles medidas para el *retrofit*², mismas que incluían la sustitución de ventanales, el uso de sistemas de automatización, la renovación de sistemas de refrigeración y aire acondicionado; mejora del sistema de plomería, entre otros. Al final, el estudio mostró un ahorro de 4,900,000 kWh por año; los ahorros económicos, además del tiempo de recuperación de la inversión en un promedio de 5 años, que por consecuencia, contribuían a la economía del país y a la reducción de emisiones de CO². Este es un gran ejemplo del ahorro que se puede lograr en el sector público.

Así mismo existen normas para lograr la eficiencia energética en los edificios. En el 2008, Tianzhen Hong hace una comparativa de la norma de China “*Eficiencia Energética de los Edificios Públicos*” con el estándar *ASHRAE 90.1-2004* para identificar discrepancias en la cobertura de código y el rigor, y recomienda algunas medidas de conservación de energía que pueden ser evaluadas en el diseño de los edificios públicos para lograr ahorros de energía más allá de la norma. La preocupación se deriva de que los edificios públicos en China consumen una cantidad significativa de energía, y se prevé que aumente a más del 7% al año hasta 2020.

² Término utilizado también para decir: Reconversión.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

El potencial de ahorro energético en los edificios públicos se estima en alrededor del 50%, si la energía es eficiente; derivada del diseño de la envolvente del edificio, la iluminación y los sistemas HVAC³. Por lo tanto, el desarrollo y la aplicación de una norma de eficiencia energética de los edificios públicos ayudará a plantear estrategias necesarias para disminuir el consumo. En iluminación y otras aplicaciones, tales como equipos de oficina y equipos de construcciones, se espera que la intensidad energética aumente con niveles de iluminación elevados y un mayor uso de oficina y otros equipos.

A su vez, Büllow-Hubë (2008) investigó la capacidad de luz de día y la electricidad usada en oficinas localizadas en Gothenburg, Suecia, a través de simulaciones usando programas validados como Rayfront/RADIANCE y DAYSIM. El estudio incluía oficinas abiertas con 3 diferentes fachadas (30, 60 y 100% de ventanas en muros). Asumiendo un DPEA de 12 W/m², el consumo anual de electricidad usado para iluminación estaba calculado en 28 kWh/m² año, si las luces estuvieran apagadas por 9 horas al día, 5 días a la semana.

Este estudio demostró por medio de la simulación que es posible cortar la electricidad usada para la iluminación de las oficinas en un 50% (de 23 a 11 kWh/m² año) usando tecnología existente, en comparación con un edificio con apagadores manuales. Estas fuentes indican que es posible llegar a ahorros de entre 45-65% dependiendo del tipo de espacio, de la estrategia de control, y esto, con tecnología existente. Loe también presentó cálculos detallados, mostrando que el 50% de ahorro es posible cuando una instalación tiene tareas específicas y la iluminación del edificio es aprovechada y controlada para proveer de iluminación solo cuando se necesite.

³ Heating, Ventilation, Air Conditioning (Calefacción, ventilación y aire acondicionado) por sus siglas en inglés.

Ihm, Nemri & Krarti (Corea del Sur, 2008) validan las predicciones de un método de análisis simplificado para evaluar el potencial de la luz del día para ahorrar consumo de energía eléctrica en la iluminación. En concreto, los impactos sobre el rendimiento de iluminación natural son determinados por varias combinaciones de geometría del edificio, tamaño de la ventana, y el tipo de acristalamiento en varios estados y ubicaciones internacionales. Las predicciones del método simplificado se validan utilizando mediciones obtenidas de pruebas de campo en un sistema de control de iluminación natural.

A través de sensores y controladores de iluminación diurna, se puede reducir e incluso eliminar el uso de la iluminación artificial requerida para proporcionar los niveles de iluminación suficientes dentro de los espacios de oficinas. Las simulaciones, así como estudios de campo han revelado que el uso de controles de iluminación natural pueden resultar en ahorros de energía de iluminación que van del 30% al 77%

Este método de cálculo simplificado estima la reducción en el uso total de energía de iluminación usando la luz del día con controles de dimeo para edificios de oficinas. El método se puede aplicar en edificios de oficinas en los EE.UU., así como en Egipto. El método es fácil de usar y puede ser utilizado como una herramienta de pre-diseño para evaluar el potencial de ahorro de luz del día en el uso de electricidad asociada con la iluminación artificial de edificios de oficinas.

De acuerdo a Borg (Suecia, 2009) una oficina existente en Suecia, usa alrededor de 23 kWh/m² año para iluminación eléctrica, cuando las instalaciones modernas y actuales usan 11 kWh/m² año. Si algunos sensores de luz de día fueran integrados a la instalación, el consumo de energía anual para luces bajaría hasta 5 kWh/m² año.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

Dubois & Blomsterber (Suecia, 2011) presentan usos claves de la energía y exploran el potencial de ahorro para alumbrado eléctrico en edificios de oficinas, así como las estrategias para ahorrar energía en oficinas, incluyendo sistemas de control en el norte de Europa con información específica de Suecia. Globalmente, la iluminación es un tema importante para reducir el consumo de energía. En Suecia, por ejemplo, las facturas en iluminación son el 10% del total de energía consumida en el país, y esta área ofrece un potencial de ahorro de energía considerable.

En los edificios comerciales, la energía constituye generalmente, del 20 al 45% de la demanda de electricidad. Un reciente inventario de 123 edificios de oficinas de diferente antigüedad, hecho por la Agencia de Energía de Suecia reveló una intensidad en promedio de 21 kWh/m² para iluminación de oficinas y un promedio de densidad de iluminación de 10.5 W/m². En 1990, la iluminación eléctrica era de 30 kWh/m² año en Suecia; una reducción de alrededor de 9 kWh/m² ocurrió en 20 años. Las estrategias propuestas para reducir energía usada por iluminación eléctrica en oficinas incluyen:

1) Estrategias directamente relacionadas con la instalación de iluminación (electricidad):

- Mejoramiento en tecnología de las lámparas.
- Mejoramiento en tecnología de balastos.
- Mejoramiento en tecnología de luminarias.
- Uso de iluminación ambiental.
- Mejoramiento en el factor de mantenimiento.
- Mejoramiento en el factor de utilización de instalaciones.
- Reducción del mantenimiento de los niveles de iluminancia.
- Reducción del tiempo de encendido de apagadores.

- Ocupación de sensores y/o dimeo manual/automático.

2) Estrategias relacionadas con el uso de luz natural:

- Efecto de la latitud y orientación.
- Efecto de las características de la ventana.
- Efecto de dispositivos para sombra.
- Efecto de la reflectancia en superficies internas.
- Efecto de la altura del techo.
- Efecto de la altura de las divisiones en los muros.

La revisión revela que con reemplazo de luminarias obsoletas (T12 lámparas fluorescentes) por luminarias modernas y eficientes (lámparas T5 con balastos), se puede proveer más del 40% de ahorro de energía. Un 40% de ahorro adicional puede ser obtenido usando una combinación de luminarias eficientes, así como iluminación natural, apagado y monitoreo de lámparas, haciendo posible un total del 80% de ahorros de energía comparados con las luminarias antiguas.

Para Ma, Cooper, Daly & Ledo (Australia, 2012) el mejoramiento de los edificios existentes ofrece oportunidades significativas para reducir el consumo global de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto está siendo considerado como uno de los principales enfoques para lograr la sostenibilidad en el entorno construido. Aunque hay una amplia gama de tecnologías de retro adaptación fácilmente disponibles, los métodos para identificar las más rentables medidas eficaces de ampliación de proyectos en particular siguen siendo un gran desafío técnico. Así mismo menciona que:

“...la construcción de los edificios y su funcionamiento contribuyen a una gran proporción de uso final total de energía en todo el mundo. En el sector de la construcción, la mayoría

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

de la energía se consume en los edificios existentes, mientras que la tasa de reemplazo de los edificios existentes de la nueva construcción es sólo alrededor de 1.0 a 3.0% anual. Por lo tanto, el rápido aumento de la eficiencia energética de los edificios existentes es esencial para una reducción de tiempo en el uso mundial de la energía y la promoción de la sostenibilidad ambiental”.

Tagliabue, Buzzetti & Arosio (Italia, 2012) analizan un único espacio de oficina con tres diferentes configuraciones de las aberturas situadas en diferente orientación y posición (ventana expuesta al sur, ventana expuesta al norte y ventanas claras) Se evalúan tres casos para la optimización de la iluminación natural, el confort visual, el consumo de electricidad, la calefacción y la demanda de consumo. Sostienen que la luz del día puede reducir fuertemente la demanda eléctrica para la iluminación artificial, pero el uso de grandes superficies transparentes en la orientación sur/oeste podrían aumentar el consumo de energía de refrigeración. Es posible evaluar todos los factores de luz natural para disminuir la dependencia energética de la iluminación artificial con el fin de reducir el consumo eléctrico.

El trabajo muestra un proceso detallado para optimizar la configuración de la envolvente para espacios de oficina para mejorar la eficiencia energética en la construcción, el confort visual y la calidad de espacio de trabajo con iluminación natural. Es posible destacar que al tener en cuenta los parámetros de confort visual de las ventanas norte y las oficinas iluminadas con tragaluz, se presentan mejores condiciones de factor de luminancia, iluminancia y la luz del día, sin problemas específicos de deslumbramiento.

Concluyen que la distribución de la iluminación natural en el espacio interior es más homogénea que con la solución del tragaluz, sin embargo el nivel de iluminancia no puede alcanzar los niveles de confort para realizar tareas visuales, lo que empeora el consumo eléctrico para la iluminación artificial.

La solución del tragaluz muestra un buen desempeño en términos de consumos térmicos, con una reducción de casi el 30% en comparación con el caso de las ventanas del sur y del 1% en comparación con el caso de las ventanas norte.

Sin embargo, cuando se consideran los consumos en general, la mejor solución es el caso de la ventana del norte con un ahorro de energía de alrededor de 25% en comparación con el del tragaluz y de alrededor de 4% con el caso de la ventana del sur. En la ubicación estudiada y con el nivel de iluminación necesario, para el lado norte con un porcentaje acristalamiento de aproximadamente 40% de la fachada (y 20 % de la superficie del suelo) se pueden garantizar correctos parámetros de confort visual sin fuertes efectos negativos sobre el consumo de energía.

Durante la última década, muchos gobiernos y organizaciones internacionales han puesto gran esfuerzo en la mejora de la eficiencia energética en los edificios existentes. El gobierno federal de los Estados Unidos, por ejemplo, ha proporcionado asistencia financiera importante para apoyar la modernización de estos. En Australia, el programa *Commercial Building Disclosure* (CBD), que entró en vigor el 1 de noviembre de 2010, obliga a los propietarios de grandes edificios de oficinas comerciales en Australia a proporcionar información de eficiencia energética a los compradores o arrendatarios.

En el presupuesto estatal 2009-2010, el gobierno de Queensland ha invertido 8 millones de dólares para equipar progresivamente los edificios gubernamentales existentes para aumentar su eficiencia energética. En 2010, el gobierno del Reino Unido hizo una importante apuesta para mejorar la eficiencia energética de los 7 millones de hogares británicos en 2020 con el objetivo de reducir las emisiones de carbono en un 29%. La Agencia Internacional de Energía (AIE) ha puesto en marcha un conjunto de proyectos del anexo para promover la eficiencia energética de los edificios existentes.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

Estos esfuerzos proporcionan orientación normativa, la asistencia financiera y apoyo técnico para la ejecución de medidas de eficiencia energética en los edificios existentes. La adaptación del edificio o renovación están siendo considerados como uno de los principales enfoques para lograr un menor consumo de energía en la construcción y las emisiones de gases de efecto invernadero. (Gobierno de Australia, 2010)

1.2. El sector energético en México.

Para tener un panorama general de la situación energética en nuestro país, es necesario conocer algunos aspectos importantes que destacan en este sector, como son los siguientes:

- Los hidrocarburos son la principal fuente de energía producida en el país: en 2006 representaron 60.2% de la energía producida en ese año. Al 2012, se reportó el 89%, casi un 30% más. (Fundación Este País, 2008)
- En segundo lugar, el sector que consume más energía es el transporte, sobre todo gasolinas.
- Una tercera característica del sector energético en México es el alto nivel de exportación de fuentes de energía primarias, sin procesamiento o transformación, como el petróleo, y la elevada importación de fuentes de energía secundarias, ya transformadas y con valor agregado, como las gasolinas.
- Un cuarto elemento que caracteriza al sector de energía del país es la disminución de las reservas probadas de petróleo crudo, mismas que con los niveles actuales de producción y sin mejoras en la tecnología disponible, se estima que duren poco menos de 10 años.

- Finalmente, un quinto aspecto a destacar sobre el sector energético en México es el desafío que supone llevar energía eléctrica a todos los hogares del país: ha habido avances en los últimos años, pero en 2005 aún había más de 2.5 millones de personas viviendo en hogares sin energía eléctrica.

Las fuentes de energía se pueden clasificar en primarias y secundarias. Las primeras se refieren a “aquellas formas de energía tal como se obtienen de la naturaleza, ya sea en forma directa, como en el caso de la energía solar o la leña, o después de un proceso de extracción, como el petróleo”. Las fuentes de energía secundarias son aquellas que se obtienen por la transformación de fuentes de energía primarias para producir energéticos dirigidos principalmente al consumo final, como la gasolina o el diesel.

El carbón es el combustible de mayor utilización para la generación de electricidad en el mundo. (Energy Information Administration, 2013) Desde hace décadas, su amplia disponibilidad, estabilidad en sus precios, así como su alto poder calorífico, le han dado particular ventaja comparativa como combustible primario para generar energía eléctrica. No obstante, en 2008 se registraron incrementos en los precios de 70 a 130% respecto a las cotizaciones de 2007 en mercados europeos y asiáticos, lo cual, aunado a las políticas de mitigación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en muchos países, ha incrementado la competitividad de otros combustibles como el gas natural e incluso la energía nuclear. (Velazco Contreras, 2013)

En el caso de México, algunas de las posibles políticas de diversificación apuntan hacia el crecimiento de la participación de las fuentes renovables, así como en un posible escenario, a la expansión de la capacidad nucleoelectrónica con el objetivo de balancear la concentrada participación del gas natural y seguir reduciendo el consumo

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

de combustibles derivados del petróleo en plantas antiguas que operan en ciclo convencional.

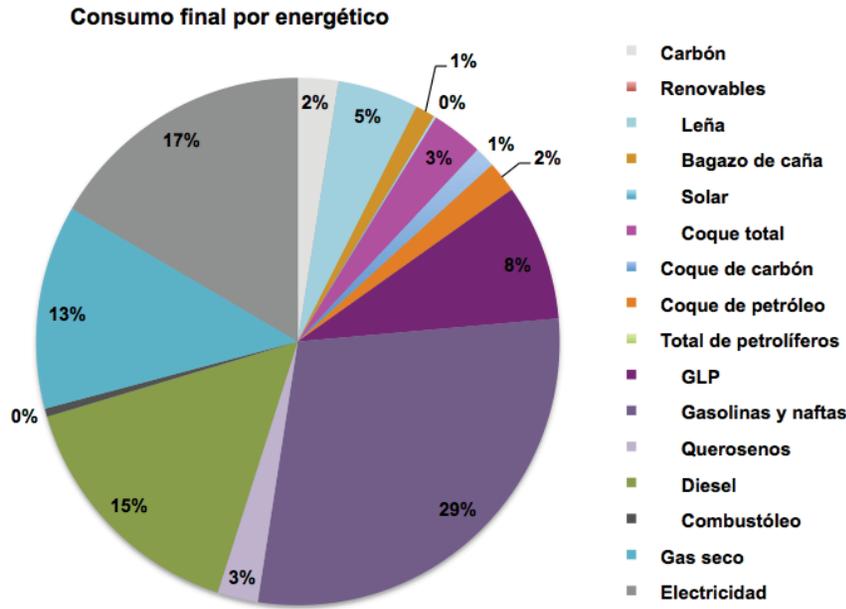


Gráfico 1. Consumo final por energético.
Fuente: Balance Nacional de Energía 2013, SENER.

Se estima que durante el periodo 2007- 2025, la fuente primaria de mayor crecimiento en la generación eléctrica serán las energías renovables que pasarán de 18.4% a 23.4%, lo cual complementará la participación mayoritaria del carbón que se mantendrá en 39.6% y al gas natural con 20.4% hacia ese último año. (Prospectiva del sector eléctrico 2010-2025, 2010)

**1.2.1. Balance Nacional de energía en México.
1.2.1.1. Consumo nacional de la energía eléctrica.**

En México, la Secretaría de Energía (SENER) es la encargada de reportar los datos de consumos finales de energía. Al 2013,

el consumo final de energía por energético fue de 4941.41 Petajoules⁴ (PJ), en donde la electricidad ocupa el segundo puesto con 846.57 PJ del total de la energía, lo que equivale al 17% del total de los energéticos. En la gráfica 1 se puede apreciar dicha información.

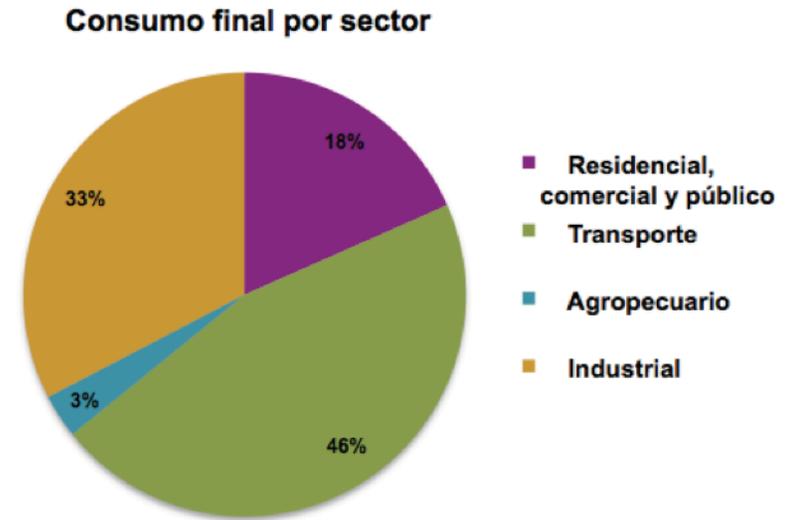


Gráfico 2. Consumo final de energía por sector. Fuente: Balance Nacional de Energía 2013, SENER.

⁴ Un petajoule es una unidad de más de 277 millones de kilowatts hora (KWh). De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM) sobre el Sistema General de Unidades de Medida, la cantidad de energía y calor debe medirse en joules. Un joule es la cantidad de energía que se requiere para levantar un objeto un metro en línea recta o la cantidad de energía que se libera cuando se deja caer un objeto desde un metro de altura.
Fuente: NOM-008-SCFI- 2002, Sistema General de Unidades de Medida.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

1.2.1.1. Consumo en el sector residencial, comercial y público.

Así mismo, se reportó que en cuanto al consumo final de energía por sector; el residencial, comercial y público ocupan el segundo puesto con un 18%, seguido del transporte que ocupa un 46% (Esto se aprecia en el gráfico 2)

En lo que respecta al sector residencial, comercial y público, estos consumieron 909 PJ en el 2013, en donde la electricidad representó el 22% de estos sectores, el residencial ocupa el 82% (742.74 PJ), el comercial el 14% (133.04 PJ) y el público el 4% (33.42 PJ), tal como se aprecia en el gráfico 3.

En el subsector residencial existen esfuerzos encaminados para hacer un uso eficiente de la energía eléctrica, para el subsector comercial, la variedad de tipos y usos de los edificios establece una amplia variedad en cuanto a sus necesidades de energía: edificios de uso administrativo, hospitales, escuelas centros comerciales, hoteles, etc., requieren en cada caso de la energía en diferente forma, cantidad e intensidad en función de sus actividades y formas de uso final.(Escobedo Izquierdo M. A., 2005)

Es por ello que se requiere ampliar los esfuerzos a mejorar la eficiencia los edificios que pertenecen a los demás subsectores, incluyendo a los de oficinas gubernamentales.

Una limitante que existe es la información acerca del número del número de inmuebles que existen en el sector público. En la actualidad, el Instituto de Administración y Avalúos de Bienes Nacionales (INDAABIN) es un órgano desconcentrado de la Secretaría de la Función Pública, antes (CABIN), el cual debería tener conocimiento de todos los inmuebles propios del sector público para el caso de los inmuebles rentados. Sin embargo no se tiene conocimiento sobre la información contenida en su base de datos.

Arq. Bethania Hernández Barrera

Consumo de energía por sector residencial, comercial y público.

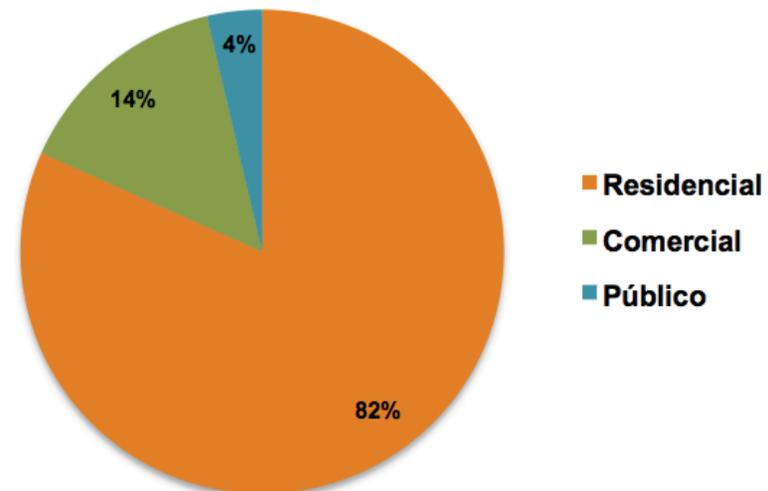


Gráfico 3. Consumo total de los sectores residencial, comercial y público. Fuente: Balance Nacional de Energía 2013, SENER.

El Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) menciona que: “en el mundo aproximadamente un tercio de la energía usada es consumida en edificios; en los Estados Unidos el nivel de consumo en este sector es del orden del 36% de la energía total primaria consumida, y se estima que dicho sector consume un 65% del total de la electricidad generada en este país. Por otro lado, se ha demostrado que los edificios de uso administrativo tienen un potencial de ahorro de energía comprendido entre 30 y 50% sustituyendo las tecnologías actuales por eficientes”.(Escobedo Izquierdo M. A., 2005)

1.2.1.2. Uso final en iluminación

El área de oportunidad de iluminación es el principal contribuyente para el ahorro energético representando el 40%;

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

comprende las necesidades de iluminación a lo largo de los sectores residencial, comercial, servicios e industrial, así como dentro de las dependencias y entidades del país.(Velazco Contreras, 2013)

En edificios públicos, se calcula que en promedio los ahorros potenciales de energía son superiores al 20% de la facturación total del inmueble, si se combinan las medidas operacionales y las tecnológicas. Se estima, asimismo, que dejarían de emitirse a la atmósfera varios miles de toneladas de contaminantes a la atmósfera.

En 1991, la Environmental Protection Agency (EPA), promovió el uso eficiente en los sistemas de iluminación en edificios comerciales por medio del programa "Green Lights". Este resultó con gran éxito ya que se dieron cuenta que una iluminación eficiente en los edificios comerciales reducía significativamente las emisiones por el uso de energía que provenía de dichos edificios. Con la reducción de contaminantes que implicó el programa "Green Lights", la EPA fue más allá de los sistemas de iluminación, para obtener mayores ahorros, buscando la eficiencia energética en todo el edificio.

Para ello realizaron simulaciones del desempeño de los edificios y se demostró que se podría reducir hasta en un 30% el consumo de energía, a través de mejoras en la eficiencia energética. Para probar la hipótesis resultante de las simulaciones, se seleccionaron algunos edificios y se realizaron mediciones durante un año. Los resultados del estudio mostraron que a pesar de utilizar el mismo método en todos los edificios, en algunos se obtenían ahorros de hasta el 50% y en otros tan sólo del 12%. Ante la variabilidad de los resultados, no se pudo llegar a una conclusión, por lo que fue necesario realizar un método de comparación del desempeño de los edificios. De esta manera el programa "Green Lights" se

convirtió en el programa *Energy Star* para edificios.(De Buen Rodríguez, 2010)

Sin embargo, en las investigaciones antes explicadas no se tomó en cuenta la luz natural, sino la tecnología eficiente. Dados estos antecedentes es posible determinar que al combinar dichos sistemas con el uso de la luz natural, puede haber un ahorro mucho mayor, mismo que se busca encontrar y comprobar para el Distrito Federal en esta investigación.

1.3. Organismos que impulsan el uso eficiente de la energía en México.

En 1977, la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial (SEPAFIN), expidió un manual de técnicas para el uso eficiente de la energía en la industria, que fue la traducción de una obra estadounidense; sus impactos fueron mínimos. En ese mismo año se planteó un programa interno de uso racional de la energía en empresas con proyección internacional, pero el programa quedó en etapas iniciales, debido al bajo costo de los energéticos.

Sin embargo, en el Gobierno Federal de 1976 a 1982 surge la necesidad de hacer un uso más eficiente de la energía, el plan de energía se establecía para el periodo de 1980 a 2000. El plan fue editado en 1980 pero no establecía metas correctas. Sin embargo, este año fue el parteaguas para comenzar con las acciones entre instituciones y empresas públicas y privadas difundir la necesidad de utilizar eficientemente la energía. (SENER, 2004) De esto surgen diversos organismos que buscan apoyar al sector energético, entre los que destacan los siguientes:

- **Secretaría de Energía (SENER):** En 1994, la SEMIP se transforma en Secretaría de Energía (SENER), y se le confiere la facultad de conducir la política energética

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

del país, con lo que fortalece su papel como coordinadora del sector energía al ejercer los derechos de la nación sobre los recursos no renovables. En el año 2003 se establecen estrategias y acciones de reestructuración y redimensionamiento de la Secretaría. Con esta nueva estructura y con la aplicación de estrategias de innovación y calidad, modernización, racionalización y optimización de recursos, profesionalización del capital humano y el aprovechamiento de nuevas tecnologías, es como la Secretaría de Energía orienta su quehacer al diseño de políticas públicas energéticas y a la conducción estratégica de las actividades de su sector coordinado, a fin de garantizar el suministro de energéticos de manera eficiente, con calidad, seguro, rentable y respetuoso del medio ambiente.(SENER, 2004)

- **Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE):** es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Energía. Tiene por objeto promover la eficiencia energética y constituirse como órgano de carácter técnico, en materia de aprovechamiento sustentable de la energía.

Por eficiencia energética se entiende a todas aquellas acciones que conlleven a una reducción económicamente viable de la cantidad de energía necesaria para satisfacer las necesidades energéticas de los servicios y bienes que requiere la sociedad, asegurando un nivel de calidad igual o superior y una disminución de los impactos ambientales negativos derivados de la generación, distribución y consumo de energía. Quedando incluida, la sustitución de fuentes no renovables por fuentes renovables de energía.(CONUEE, 2013)

- **Comisión Federal de Electricidad (CFE):** Es la empresa encargada de prestar el servicio público de energía eléctrica con criterios de suficiencia, competitividad y sustentabilidad, fomentando el desarrollo del país y la preservación del medio ambiente.(Comisión Federal de Electricidad, 2014)
- **Petróleos Mexicanos (PEMEX):** Petróleos Mexicanos es la mayor empresa de México, el mayor contribuyente fiscal del país, así como una de las empresas más grandes de América Latina. Cuya visión es maximizar el valor de los activos petroleros y los hidrocarburos de la nación, satisfaciendo la demanda nacional de productos petrolíferos con la calidad requerida, de manera segura, confiable, rentable y sustentable.
- **Fideicomiso privado de apoyo al programa de ahorro de energía del sector eléctrico (FIDE):** Es un fideicomiso privado, sin fines de lucro, constituido el en 1990, por iniciativa de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), en apoyo al Programa de Ahorro de Energía Eléctrica; para coadyuvar en las acciones de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica.

Otros organismos importantes son:

- Instituto Mexicano del Petróleo (IPM)
- Comisión Reguladora de Energía (CRE)
- Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ)
- Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE)

1.4. Programas oficiales para el ahorro de energía en inmuebles.

Derivado de la preocupación de preservar los recursos del país, y de buscar la conservación en la energía, se comenzó

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

con el fomento a diversos programas para el ahorro de energía. Aquellos que están orientados al sector público ofrecen un gran potencial de generación de ahorros económicos y beneficios ambientales derivados del uso eficiente de la energía al ser éste uno de los mayores usuarios de energía en el país. Asimismo, las acciones de eficiencia energética realizadas en el sector público muchas veces impulsan acciones similares en el sector privado transformando los mercados de productos y servicios para la eficiencia energética. (CONUEE)

Los primeros esfuerzos de ahorro de energía en el país tienen su origen a principios de los ochenta con el Programa Nacional para el uso Racional de la Energía Eléctrica (PRONUREE) con el que la Comisión Federal de Electricidad (CFE) buscaba diseminar información en torno al ahorro de energía y las alternativas energéticas con las que contaban diferentes usuarios. Las actividades de dicho programa se redujeron a campañas escolares y domésticas así como seminarios y conferencias y aunque no se cuenta con resultados concretos, sentó las bases para los esfuerzos posteriores.

A principios de 1989, la Administración Federal entrante expone como prioridades la desregulación de la economía y la modernización del sector energético. En el ámbito institucional el PRONUREE se convierte en el Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (PAESE) y se crea la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONAE) En 1990, con el fin de apoyar financieramente al PAESE, se crea el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE).

De 1992 a 1995, la CONAE, llevó a cabo estudios energéticos en inmuebles, en donde se detectaron importantes oportunidades de ahorro de energía; a partir de esto, en 1996, realizó el programa denominado “Cien Edificios

Públicos”, que se orientó fundamentalmente a aplicar diagnósticos energéticos profundos en los consumos que, por concepto de iluminación, registraban los edificios estudiados, incorporando en sus acciones a los propios operadores de los inmuebles, después de lo cual la CONAE sugería medidas para aprovechar los potenciales de ahorro y fungía como aval técnico ante la banca de desarrollo en caso de que la dependencia en cuestión no contara con los recursos para llevar a cabo dichas medidas.⁵

En 1998, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) solicitó un programa de ahorro a la contraloría de la Secretaría de Energía para ser incorporado al Presupuesto de Egresos de la Federación en los términos del Acuerdo que establece el Programa de Austeridad Presupuestaria de la Administración Pública Federal. Por su parte, la Secretaría de Energía requirió a la CONAE una recomendación en este rubro. Procedente y con la experiencia adquirida con la ejecución del programa “Cien Edificios Públicos”, se diseñó y planeó un programa de carácter obligatorio de mayor alcance en inmuebles del sector público, denominado “Programa de Ahorro de Energía en Inmuebles de la Administración Pública Federal”. El diseño del programa que se llevaría a cabo en 1999, planteaba retos diversos. Por un lado, se requería que la CONAE actualizara y desarrollara herramientas tecnológicas y mecanismos de operación automatizados.

Por otro lado, la experiencia del programa “Cien Edificios Públicos” indicaba que debía involucrarse a los altos funcionarios de las dependencias para asegurar la aplicación de las acciones, así como capacitar a los operadores de los inmuebles para alcanzar el objetivo del programa de reducir los consumos de energía eléctrica en los inmuebles de las dependencias y entidades de la APF. (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, 1999)

⁵Programa Cien Edificios Públicos, Reporte de avances y resultados. CONAE, 1998.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

En el año 2000, se planteó el Programa Nacional de Ahorro de Energía Eléctrica para Edificaciones Públicas, cuya intención era reducir 20% del consumo en las edificaciones públicas, tomando en cuenta que para el 2030 se necesitará un reacondicionamiento de los edificios de oficinas, representando 225 millones de m² del total de la edificación.(Secretaría de Energía, 2011)

El 31 de mayo de 2007 se publicó en el Diario Oficial de la Federación, el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012. Establece como una de sus estrategias promover el uso eficiente de la energía para que el país se desarrolle de manera sustentable, a través de tecnologías que ofrezcan eficiencia energética y ahorros a los consumidores; así también tiene como objetivo promover el uso y producción eficientes de la energía.

El Programa Sectorial de Energía 2007-2012, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 21 de febrero de 2008, establece en su apartado III, la eficiencia energética, energías renovables y biocombustibles y entre sus objetivos el promover el uso y producción eficientes de la energía, toda vez que el uso eficiente de la energía concilia las necesidades de la sociedad con el cuidado de los recursos naturales, en tanto que la eficiencia energética busca ofrecer el mismo servicio con un menor consumo de energía. Además de impulsar la reducción del consumo de energía en el sector residencial y edificaciones mediante la incorporación de criterios de eficiencia energética en las normas de edificación y construcción de viviendas e impulsar la construcción de edificios verdes o energéticamente sustentables.

El 29 de noviembre de 2009 se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF) la primera versión del Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, dando cumplimiento a la entonces recién publicada Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, la

cual estuvo disponible en el DOF el día 28 de noviembre de 2008, como resultado de la Reforma Energética del mismo año.

El Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2009-2012 se enfocó en los consumidores finales de la energía, en siete áreas de oportunidad: iluminación, transporte, edificaciones, equipos del hogar e inmuebles, cogeneración, motores industriales y bombas de agua. De acuerdo a la CONUEE, una lección aprendida de este primer esfuerzo es que para mejorar la eficiencia energética y lograr capturar los potenciales de ahorro de energía se debe prestar atención no sólo a la política, sino también a la creación de arreglos institucionales y mecanismos de coordinación que garanticen los recursos y la participación de todos los interesados en las acciones prioritarias para el país.(Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2009-2012)

Igualmente, el Diario Oficial de la Federación, publicó el 13 de agosto de 2012, “Los lineamientos de eficiencia energética para la Administración Pública Federal”, en los que da a conocer, entre otros aspectos, lo siguiente:

“Promover el uso eficiente de la energía para que el país se desarrolle de manera sustentable, a través de la adopción de tecnologías que ofrezcan mayor eficiencia energética y ahorros a los consumidores; establecer un programa de ahorro de energía en las Dependencias y Entidades de la Administración Pública Federal, dentro de un proceso de mejora continua, en inmuebles, flotas vehiculares e instalaciones; impulsar el uso eficiente de la energía, así como la utilización de tecnologías que permitan disminuir el impacto ambiental generado por los combustibles fósiles tradicionales, entre otras.”(Diario Oficial de la Federación, 2012)

Para el 2013, el plan anual de trabajo Comisión Nacional para el Uso eficiente de la Energía (CONUEE)

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

incluye entre otras cosas:

- Fortalecer el cumplimiento cabal de las NOM aplicables a edificios residenciales y comerciales.
- Apoyar la integración y difusión de información y herramientas que impulsen el uso eficiente de energía y la utilización de energía renovable en edificios.
- Impulsar y apoyar el desarrollo de cursos, diplomados, especialidades y maestrías para promover la formación de recursos humanos capacitados en la materia.
- Fortalecer los sistemas de información y de índices energéticos relativos a edificios comerciales.
- Fortalecer las acciones que promuevan el uso de materiales y equipos eficientes, así como la arquitectura bioclimática, en la construcción o remodelación de edificaciones.

1.5. Normativas para el ahorro de energía en edificios públicos.

“Las Normas Oficiales Mexicanas de eficiencia energética (NOM-ENER) son regulaciones técnicas de observancia obligatoria, cuyo objeto es promover el uso racional de los recursos energéticos a través del uso de tecnologías eficientes, sin embargo y a pesar de que existen los mecanismos para vigilar su cumplimiento, se ha observado que en muchas instalaciones de edificios residenciales no se cumple con estas normas tanto en sus equipos y/o sistemas, lo que evita los beneficios inmediatos por la aplicación.”(Velazco Contreras, 2013, pp. 37-38)

En México existen 26 normas a la fecha, que promueven la eficiencia energética en el país. Entre las que destacan, normas para equipos: NOM-001-ENER-2000 (Eficiencia energética de bombas verticales tipo turbina con motor externo eléctrico vertical), NOM-003-ENER-2011

(Eficiencia térmica de calentadores de agua para uso doméstico y comercial), NOM-004-ENER-2008 (Eficiencia energética de bombas y conjunto motor-bomba, para bombeo de agua limpia, en potencias de 0.187 kW a 0.746 kW), NOM-006-ENER-1995 (Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación). Normas para edificaciones no residenciales: NOM-007-ENER-2004 (Eficiencia energética en sistemas de alumbrado en edificios no residenciales), NOM-008-ENER-2001 (Eficiencia energética en edificaciones, envoltente de edificios no residenciales), NOM-015-ENER-2012 (Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos. Límites, métodos de prueba y etiquetado); y normas para edificios residenciales: NOM-020-ENER-2011 (Eficiencia energética en edificaciones, Envoltente de edificios para uso habitacional)

Para los fines de la presente investigación, se recurrirá al análisis de las normas: NOM-007-ENER-2004 y NOM-008-ENER-2001, ya que está relacionadas e inmersas en el tema.

1.5.1. NOM-007-ENER-2004

La NOM-007-ENER-2004, *Eficiencia energética en sistemas de alumbrado en edificios no residenciales*, tiene como finalidad:

- A. Establecer niveles de eficiencia energética en términos de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA)⁶ que deben cumplir los sistemas de alumbrado de edificios no residenciales nuevos, ampliaciones y modificaciones de los ya existentes, con el propósito de que sean proyectados y construidos haciendo un uso eficiente de la energía eléctrica, mediante la

⁶Densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA). Índice de la carga conectada para alumbrado por superficie de construcción; se expresa en W/m².

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

optimización de diseños y la utilización de equipos y tecnologías que incrementen la eficiencia energética

- B. sin menoscabo de los niveles de iluminación requeridos.
- C. Establecer el método de cálculo para la determinación de la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) de los sistemas de alumbrado de edificios nuevos no residenciales, ampliaciones y modificaciones de los ya existentes con el fin de verificar el cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana. (SENER, 2004)

Tipo de edificio	DPEA (W/m ²)
Oficinas	14
Escuelas y demás centros docentes	16
Establecimientos comerciales	20
Hospitales	17
Hoteles	18
Restaurantes	
Bares	16
Cafeterías y venta de comida rápida	19
Restaurantes	20
Bodegas	13
Recreación y Cultura	
Salas de cine	17
Teatros	16
Centros de convenciones	15
Gimnasios y centros deportivos	16
Museos	17
Templos	24
Talleres de servicios	
Talleres de servicios para automóviles	16
Talleres	27
Carga y pasaje	
Centrales y terminales de transporte de carga	13
Centrales y terminales de transporte de pasajeros, aéreas y terrestres	16

Tabla 1. DPEA requerido por la NOM-007-ENER-2004

El campo de aplicación de esta norma comprende los sistemas de alumbrado interior y exterior de los edificios no

residenciales nuevos con carga total conectada para alumbrado mayor o igual a 3kW; así como a las ampliaciones y modificaciones de los sistemas de alumbrado interior y exterior con carga conectada de alumbrado mayor o igual a 3kW de los edificios existentes. Los edificios cubiertos por esta norma son:

- a. Oficinas
- b. Escuelas y demás centros docentes
- c. Establecimientos comerciales
- d. Hospitales
- e. Hoteles
- f. Restaurantes
- g. Bodegas
- h. Recreación y Cultura
- i. Talleres de servicio
- j. Centrales de pasajeros

Los valores de DPEA que deben cumplir los sistemas de alumbrado interior se especifican en la tabla 1.

Para ampliaciones o modificaciones de edificios no residenciales ya existentes, la aplicación de esta norma queda restringida exclusivamente a los sistemas de alumbrado de dicha ampliación o modificación y no a las áreas construidas con anterioridad.

1.5.2. NOM-008-ENER-2001

La Norma Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001, *Eficiencia Energética en Edificaciones, Envoltante de Edificios No Residenciales*, tiene como objetivo principal:

- Limitar la ganancia de calor de las edificaciones a través de su envoltante, con objeto de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento.(Secretaría de Energía, 2001)

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

Para esta investigación, el aspecto de ganancia de calor no es necesario, sin embargo esta norma se tomará en cuenta únicamente debido a que rige el porcentaje de fachada transparente máxima permitida en los edificios. La norma establece que dicha envolvente acristalada no deberá exceder del 40% del total del inmueble.

Como se explica en la tabla 2, la norma considera las siguientes especificaciones para las componentes de la envolvente. (Revisar tablas y apéndices directamente en la norma)

Normativas que regulan los niveles de iluminación requeridos en distintos espacios.

Techo			
Parte	Porcentaje del área total %	Coefficiente global de transferencia de calor K (W/m² K)	Coefficiente de Sombreado CS
Opaca	95	Tabla 1, Apéndice A	-----
Transparente	5	5,952	0,85

Pared			
Parte	Porcentaje del área total %	Coefficiente global de transferencia de calor K (W/m² K)	Coefficiente de Sombreado CS
Fachada opaca	60	Tabla 1, Apéndice A	-----
Fachada transparente	40	5,319	1
Colindancia opaca	100	Tabla 1, Apéndice A	-----

Tabla 2. Datos de fachada de la NOM-008-ENER-2001

A su vez, existen distintos reglamentos que buscan determinar cuáles son los niveles de iluminación óptimos para el desarrollo de diferentes actividades. A continuación se analizará la normativa establecida en México, es importante examinarla ya que esta servirá de parámetro para establecer los niveles requeridos en las oficinas públicas del Distrito Federal y poder validar las mediciones realizadas.

1.5.3. NOM-025-STPS-2008

La Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, *condiciones de iluminación en los centros de trabajo*, tiene como objetivo:

Establecer los requerimientos de iluminación en las áreas de los centros de trabajo, para que se cuente con la cantidad de iluminación requerida para cada actividad visual, a fin de proveer un ambiente seguro y saludable en la realización de las tareas que desarrollen los trabajadores. La presente Norma rige en todo el territorio nacional y aplica en todos los centros de trabajo.

La presente norma presenta una tabla en la que se presentan los niveles de Iluminación para tareas visuales y áreas de trabajo.

Los niveles mínimos de iluminación que deben incidir en el plano de trabajo, para cada tipo de tarea visual o área de trabajo, se establecen en la tabla 3. Para el caso de oficinas, se requiere un mínimo de 300 luxes.

Asimismo, esta norma no sólo establece los niveles de iluminación, sino que los evalúa. La norma menciona lo siguiente en el apéndice A:

Quando se utilice iluminación artificial, antes de realizar las mediciones, se debe de cumplir con lo siguiente:

- a) Encender las lámparas con antelación, permitiendo que el flujo de luz se estabilice; si se utilizan lámparas de descarga, incluyendo lámparas fluorescentes, se debe esperar un periodo de 20 minutos antes de iniciar las lecturas. Cuando las lámparas fluorescentes se encuentren montadas en luminarias cerradas, el periodo de estabilización puede ser mayor;

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

b) En instalaciones nuevas con lámparas de descarga o fluorescentes, se debe esperar un periodo de 100 horas de operación antes de realizar la medición, y

c) Los sistemas de ventilación deben operar normalmente, debido a que la iluminación de las lámparas de descarga y fluorescentes presentan fluctuaciones por los cambios de temperatura.

Tarea Visual del Puesto de Trabajo	Área de Trabajo	Niveles Mínimos de Iluminación (luxes)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Exteriores generales: patios y estacionamientos.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Interiores generales: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
En interiores.	Áreas de circulación y pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén; plataformas; cuartos de calderas.	100
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.	Servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y palería.	200
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble de inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas, acabado con pulidos finos.	Proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulidos finos.	1,000
Alto grado de especialización en la distinción de detalles.	Proceso de gran exactitud.	2,000
	Ejecución de tareas visuales: <ul style="list-style-type: none"> • de bajo contraste y tamaño muy pequeño por periodos prolongados; • exactas y muy prolongadas, y • muy especiales de extremadamente bajo contraste y pequeño tamaño. 	

Tabla 3. Niveles mínimos de iluminación (luxes)
Fuente: NOM-025-STPS-2008

Cuando se utilice exclusivamente iluminación natural, se debe realizar al menos las mediciones en cada área o puesto de trabajo de acuerdo con lo siguiente:

a) Cuando no influye la luz natural en la instalación ni el régimen de trabajo de la instalación, se deberá efectuar una medición en horario indistinto en cada puesto o zona determinada, independientemente de los horarios de trabajo en el sitio;

b) Cuando sí influye la luz natural en la instalación, el turno en horario diurno (sin periodo de oscuridad en el turno o turnos) y turnos en horario diurno y nocturnos (con periodo de oscuridad en el turno o turnos), deberán efectuarse 3 mediciones en cada punto o zona determinada distribuidas en un turno de trabajo que pueda presentar las condiciones críticas de iluminación de acuerdo a lo siguiente:

- * Una lectura tomada aproximadamente en la primera hora del turno;
- * Una lectura tomada aproximadamente a la mitad del turno, y
- * Una lectura tomada aproximadamente en la última hora del turno.

c) Cuando sí influye la luz natural en la instalación y se presentan condiciones críticas, efectuar una medición en cada punto o zona determinada en el horario que presente tales condiciones críticas de iluminación. (SECRETARÍA DEL TRABAJO Y PREVISIÓN SOCIAL, 2008)

Los puntos de medición deben seleccionarse en función de las necesidades y características de cada centro de trabajo, de tal manera que describan el entorno ambiental de la iluminación de una forma confiable, considerando: el proceso de producción, la clasificación de las áreas y puestos de trabajo, el nivel de iluminación requerido con base a la

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

tabla, la ubicación de las luminarias respecto a los planos de trabajo, el cálculo del índice de áreas correspondiente a cada una de las áreas, la posición de la maquinaria y equipo, así como los riesgos informados a los trabajadores. (Revisar tablas y apéndices directamente en la norma)

La Ciudad de México cuenta con un reglamento de construcción donde se establece el criterio para la utilización de la iluminación natural a partir del dimensionamiento de las ventanas. El reglamento establece que las ventanas no deberán tener un área menor al 17.5% del total del área del espacio a iluminar.

1.6. Otras recomendaciones a nivel mundial.

En México, la norma anteriormente analizada es la que rige los niveles de iluminación. Sin embargo, hay otras recomendaciones a nivel mundial; dos de las más importantes se describirán en este apartado. Las recomendaciones de iluminancia británicas, son similares a los de la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), además de las recomendaciones de la Sociedad de Ingeniería de Iluminación de Norteamérica (IESNA). En cualquier diseño específico, las normas de ese país deben ser consultados. La mayoría de las naciones desarrolladas, como Australia, Brasil, China, Francia, Alemania, Japón, etc. tienen publicadas sus propias normas de iluminación.

a) Normas británicas de iluminación.

Estas normas se publican por el Chartered Institute of Building Service Engineers (CIBSE) La publicación especial en la que aparecen las recomendaciones de iluminancia es el Código de Iluminación Interior del año de 1994, modificado en 1997. El método de uso es determinar el nivel de iluminancia media recomendada, llamada la iluminación mantenida estándar, ya sea de la extensa lista detallada de las tareas

específicas en la publicación mencionada anteriormente; o sólo el tipo representativo de la tarea definida. Después de haber establecido esta recomendación, el diseñador entonces lo modifica (si es necesario) mediante el diagrama de flujo, que aumenta o disminuye la iluminancia recomendada para adaptarse al tamaño de la tarea, el contraste, la duración y el riesgo de error.

La tabla 4 representa las iluminancias recomendadas por la CIBSE.

Oficinas y tiendas		
	Iluminancia requerida (luxes)	Notas
Oficinas		
Oficinas generales	500	La iluminación local debe ser apropiada
Estaciones de cómputo	300-500	Dimear o colocar interruptores para permitir adecuar la iluminación.
Salas de conferencia, oficinas ejecutivas	300-501	Las superficies verticales pueden ser especialmente importantes.
Salas de cómputo y cuartos de preparación de datos	500	
Salas de llenado	300	
Salas de dibujo		
Generales	500	
Restiradores	750	La iluminación local puede ser apropiada.
Salas de diseño y cómputo	300-500	Iluminación especial es requerida.
Salas de impresión	300	

Tabla 4. Iluminancia recomendada por la CIBSE.

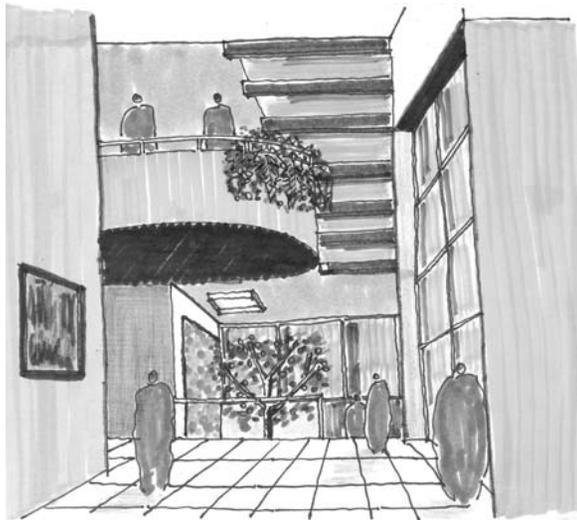
Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

Como se puede observar en dicha tabla, para las áreas de oficina, la CIBSE recomienda 500 luxes como mínimo para realizar las actividades, a diferencia de la Norma 025 que solamente solicita 300 luxes.

b) Recomendaciones Americanas de iluminancia (IESNA)

La Sociedad de Ingenieros en Iluminación de Norte América (Illuminating Engineering Society of North America, IESNA) realiza un sistema de 1981 que está modelado, hasta cierto punto, después de recomendaciones de la CIE. En lugar de una sola recomendación de iluminancia que caracteriza las primeras tablas de la IESNA, este sistema ofrece una gama de luminancia determinada por la dificultad de la tarea (contraste, tamaño) dentro de los cuales una iluminancia específica se selecciona con base a tres factores: edad del observador, la importancia de velocidad y/o exactitud, y la reflectancia del fondo en el que se ve la tarea. El procedimiento funciona de la siguiente manera:

1.-Una categoría de iluminancia se selecciona inicialmente, en virtud de una descripción general de la actividad involucrada o, si se conoce, en una actividad específica en un entorno específico.



Capítulo 2. LA ILUMINACIÓN NATURAL EN LA ARQUITECTURA.

Capítulo 2. LA ILUMINACIÓN NATURAL EN LA ARQUITECTURA.

Resulta valioso entender por qué se debe continuar con el impulso del uso de luz natural en este país. México tiene grandes posibilidades de captación y ocupación de la luz del sol, tal y como lo han comprobado exploraciones previamente analizadas, mismas que se considerarán en este capítulo.

A pesar de que se promueve mucho el ahorro de energía y el evitar la utilización de iluminación artificial, todavía existe un largo camino que recorrer en cuanto a este tema. Por lo que en este apartado se tratarán varios aspectos que se deben saber sobre la iluminación natural.

Valeriano (2010) menciona que: “la relación ente la salud física y psicológica con la arquitectura se aborda bajo el concepto de que cualquier espacio arquitectónico es una envolvente que contiene las interacciones de varios fenómenos físicos, entre ellos la luz. Por lo tanto, el diseño de esta envolvente deberá propiciar que estas interacciones produzcan en las personas sensaciones positivas (confort, seguridad) y que no afecten su salud.”

Además de esto, también se explica cómo realizar un diagnóstico desde el punto de vista arquitectónico. No se debe olvidar que la arquitectura y diseño del edificio tienen gran influencia en el aprovechamiento de la luz, así como en el confort destinado a los usuarios.

En esta investigación se realizarán distintos análisis arquitectónicos de los edificios que forman parte de los estudios caso. El propósito de dichos análisis es identificar las áreas en las que hay aprovechamiento de iluminación natural,

y por ende, las que tiene mayor potencial de explotar el recurso solar como forma de apoyo y ahorro a la energía.

2.1. La luz natural: conceptos básicos.

Szokolay (1980) dice que el sistema luminoso más simple consta de una fuente de luz y una corriente de luz emitida desde esta fuente, que fluye a través del espacio (flujo) y la caída sobre una superficie, iluminándola. Si un observador se introduce en el sistema, la luz puede alcanzar su ojo tanto desde la fuente y de la superficie iluminada, y de este modo, una impresión de brillo y luminosidad es creada.

Las cuatro cantidades fotométricas medibles son:

I: *Intensidad luminosa de la fuente.* La unidad es una candela (cd), que se define como la intensidad de un cuerpo negro de $1/60 \text{ cm}^2$ de superficie, cuando se calienta a la temperatura del punto de fusión del platino.

Φ : *Flujo luminoso.* La unidad es el lumen (lm), definido como el flujo emitido por una cd uniforme de fuentes puntuales dentro de 1 sr (estereorradián o unidad de ángulo sólido). Así, el flujo total emitido por una fuente es de 4 lúmenes.

E: *Iluminancia*⁷. La medida de la iluminación de una superficie. Es la cantidad de flujo luminoso (lm) que incide sobre una unidad de área (m^2), es decir lm/m^2 , que equivale a la unidad de iluminancia en el Sistema Internacional de Unidades; el lux. También, iluminancia (I) es la densidad o concentración de flujo luminoso sobre una superficie, ($1 \text{ lm}/\text{m}^2 = 1 \text{ lux}$). Una intensidad de 1cd emite un flujo luminoso total de 4p lumens. A una distancia “d”, este flujo luminoso se distribuirá sobre una esfera de radio “r”, es decir, una superficie de $4d^2$.

⁷El símbolo viene de la palabra “éclairage”, que significa iluminación en francés.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

L: La *luminancia* es la medida del brillo de una superficie. Su unidad es la cd/m^2 . Es la medida de la brillantez o luminosidad de la superficie (I). Si una fuente luminosa de intensidad de 1cd tiene un área de 1 m^2 (es decir, 1 cd distribuida en 1 m^2), su luminancia es de $1\text{cd}/\text{m}^2$, que es la unidad oficial del Sistema Internacional de Unidades para la iluminancia. La luminancia también indica el valor de la sensación de luminosidad que el ojo humano tiene de una superficie.

También, el parámetro de luminancia se refiere a la cantidad de fotométrica y brillantez de la sensación visual subjetiva. Por lo tanto, la luminancia reflejada de una superficie está en función de la iluminancia sobre la superficie, así como de la reflectancia de la propia superficie.

No es posible convertir cantidades fotométricas directamente en unidades de energía, o viceversa, ya que el efecto luminoso de energía radiante depende de su longitud de onda. Una medida de este último en Watts se puede convertir en lúmenes por medio de una longitud de onda, que se basa en las propiedades del ojo humano.

Otras definiciones importantes son las siguientes:

- * **Irradiancia:** es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética. Densidad de flujo radiante W/m^2 .
- * **Irradiancia Global Horizontal:** es la radiación solar total; es decir, es la suma de la irradiancia normal directa (IND), irradiancia difusa horizontal (IDH) y la radiación terrestre reflejada; sin embargo, como el terreno que refleja la radiación suele ser insignificante en comparación con la irradiancia directa y difusa, se considera para efectos prácticos, que la radiación global se dice es la suma sólo la radiación directa y difusa: $\text{GHI} = \text{DHI} + \text{DNI} * \cos(Z)$
Donde: Z es el ángulo cenital solar.

- * **Irradiancia solar difusa:** Es la radiación solar, aislada por vapor de agua, polvo y otras partículas que hay en la atmósfera.
- * **Irradiancia solar directa:** Radiación que llega en línea recta desde el sol.

2.1.1. Requisitos de iluminación.

El primer requisito es la adecuación de la iluminación. Este es un requisito cuantitativo, que depende de la naturaleza de la tarea visual: los contrastes y finura de detalle presente en el objeto para ser visto y la velocidad con la que el objeto visto, cambia. Las posibles consecuencias de los errores se deben considerar en este punto: son errores en la percepción a ser tolerados, permitidos, ¿o no?

En la práctica, los niveles de iluminancia recomendados o prescritos se rigen no sólo por las consideraciones anteriores, sino también por factores socioculturales y económicos. Los hábitos y expectativas de los usuarios, la disponibilidad de recursos y juicios de valor respecto a las prioridades, causan grandes variaciones en las recomendaciones lumínicas. (Szokolay, 1980, p. 90)

Una iluminancia adecuada no representa necesariamente una buena iluminación. La calidad o la idoneidad de la iluminación también deben ser consideradas. Esto incluye los siguientes aspectos:

1. Distribución de luminancia, que no haya deslumbramiento.
2. Direccionalidad: una alta relación es requerida para revelar la forma y la textura. La luz difusa, por ejemplo, tiene una baja relación entre el vector de la luz, por lo que provoca una sensación más agradable, sin sombras.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

3. Apariencia y rendimiento de color.
4. Los efectos psicológicos o estéticos, es decir, el carácter: la iluminación puede reforzar y mejorar el carácter arquitectónico de un espacio, pero también puede contrarrestar, cambiar o destruirlo. La luz puede ser manejada puramente funcional, pero también puede ser un elemento importante desde el punto de vista artístico.

2.2. Confort visual.

En cuanto al confort visual, este se encuentra directamente relacionado con la calidad de la luz natural.

Para Arias Orozco (2000) la viabilidad de facilitar las actividades visuales como leer un libro o realizar una tarea de gran agudeza visual mediante la utilización únicamente de iluminación natural, pueden ser analizadas por factores físicos tales como el confort visual y el ahorro energético sustancial. Existen numerosos parámetros y tablas que indican los límites máximos, mínimos y recomendables de la iluminación requerida para las diferentes tareas específicas.

También hay otros factores que pueden perturbar el nivel de confort visual deseado; con lo son las reflexiones de elementos arquitectónicos y el grado de deslumbramiento que provocan. Estos pueden influir en el desarrollo visual. Aunque es muy difícil determinar los efectos de los sistemas de iluminación en la productividad y el rendimiento laboral, puede hacerse una aproximación a los parámetros que se deben utilizar.

Preciado (2011) menciona lo siguiente: “Cuando se habla de confort se refiere al significado de sentirse bien o a la falta de incomodidad en un ambiente dado. Se debe hacer una distinción entre parámetros del confort, datos que pueden ser evaluados de las características energéticas del ambiente, y

factores del confort, que dependen del usuario y su influencia en la apreciación de los parámetros. El confort depende de la relación entre los dos (parámetros y factores), y a pesar de que el diseño arquitectónico es esencialmente responsable de los efectos de los parámetros, los factores de usuario (edad, tipo de actividad, etc.) deben ser tomados en cuenta para asegurar que el diseño cumple con su objetivo.”

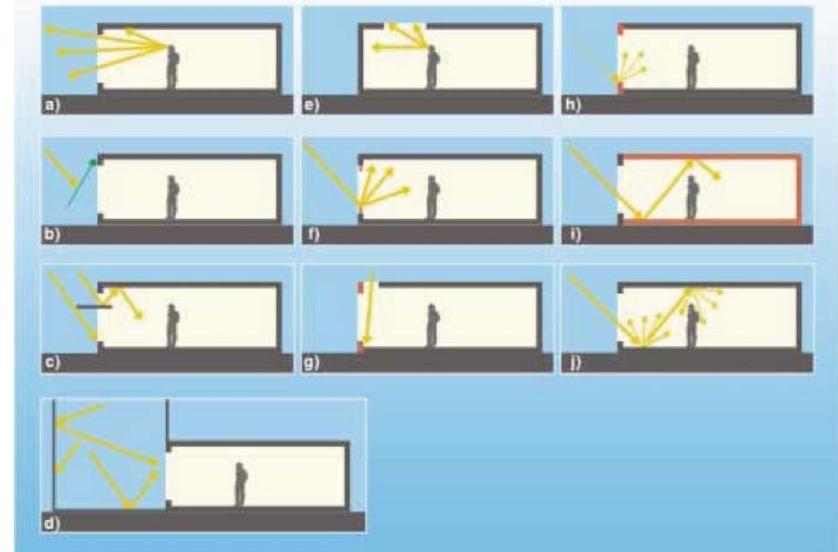


Imagen 1. Disminución del deslumbramiento debido a la iluminación natural. Fuente: L'Observatoire des énergies renouvelables (s/a)

El confort visual depende de la facilidad o dificultad de realizar las actividades que nos interesan. El primer requisito para cumplir dicho objetivo es que debe haber la cantidad adecuada de luz (iluminancia) para así poder percibir sencillamente lo que se observa. Por lo que este es el primer parámetro.

El deslumbramiento, es el segundo parámetro del confort. Este es el efecto desagradable causado por un excesivo contraste de luminancias en el campo visual. Como

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

regla general este efecto es debido a la existencia de una pequeña superficie de gran luminosidad (luminancia) en un campo de visión con valor promedio cuantiosamente más bajo, regularmente como resultado de una lámpara o una ventana.

La Commission Internationale de l'Eclairage⁸ lo define así:

“Una condición de la vista en la que hay malestar o reducción de la capacidad para ver los objetos, o ambos a la vez, debido a una inconveniente distribución de la luz o acentuados contrastes en espacio”.

El deslumbramiento puede ser causado por un efecto de saturación o por contraste excesivo. Se puede distinguir el deslumbramiento molesto y el deslumbramiento perturbador dependiendo de la magnitud del efecto. Si dentro de un determinado campo de visión hay contrastes excesivos de luminancia, la eficiencia visual puede ser reducida o, al menos, el malestar puede ser causado. Ambos son efectos contrastes, y nos hablan de deslumbramiento molesto o deslumbramiento perturbador, como sea el caso. (Szokolay, 1980, p. 148)

Si la relación de luminancia (L_{max} / L_{min}) dentro de un campo visual es mayor que aproximadamente 15 (algunas fuentes sugieren 10) se reducirá la eficiencia visual y se podrá sentir un malestar.

Clasificar los contrastes es una manera de reducir el deslumbramiento. Si la luminancia de la tarea visual en un escritorio se toma como 100%, su inmediata circundante no debe ser inferior a 50% y el resto del campo visual no menos de 20%

⁸CIE (por sus siglas en francés): *Commission Internationale de l'Eclairage*, es decir: Comisión Internacional de la Luz.

Es por ello que el deslumbramiento es un fenómeno subjetivo. Se puede considerar como una respuesta (R), donde el estímulo (E) es la relación de luminancia L_1/L_2 . El ojo se ajusta a la luminancia media del campo de visión. Con grandes contrastes esto puede llevar a las zonas menos luminosas no ser visible (en la exposición), y las zonas excesivamente brillantes causando malestar (sobreexposición)

El confort visual depende de las luminancias en el campo de visión. Una iluminación de 100,000 lux puede ser agradable en un campo con un paisaje verde, pero el resplandor será intolerable en una playa con arena blanca. (Szokolay, 1980)

El desempeño de las tareas visuales puede ser difícil bajo las últimas condiciones; por ejemplo, si uno está leyendo un documento, la luz solar incidente sobre el mismo haría su luminancia excesiva. Si está a la sombra del papel, será más oscuro que el fondo o el medio ambiente, y esto reducirá la visibilidad. (Szokolay, 1980, p. 99)

En la imagen 1 se pueden observar diez diferentes tipos de ventanas que propone el Observatorio Francés de Energías Renovables, en donde se indica que la forma de dichas ventanas tiene inferencia en la reflectancia en las superficies, y por ende en la manera de que se evite el deslumbramiento.

2.3. La disponibilidad de la luz natural.

Una de las características más importantes de la luz natural es su constante variabilidad ya que la fuente que la origina es el sol. (Valeriano Flores, 2010, p. 20)

Debido a la extrema variabilidad de las condiciones de iluminación al aire libre, el diseño de iluminación sólo puede establecerse por métodos estadísticos. Los registros continuos de mediciones por horas de iluminación al aire libre forman un

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

cielo sin obstáculos que permitiría la construcción de una gráfica con las curvas de la variación horaria de la luz para un día típico de cada mes, o de isopletas de iluminancia. Estos muestran la variación anual y por hora de iluminancia por isolux en una fecha determinada. A partir de los mismos datos de la desviación media y estándar puede ser establecida. (Szokolay, 1980, p. 99)

Inicialmente, se debe saber que la disponibilidad de la luz natural en un lugar y tiempo determinado depende de los siguientes factores:

1. **Posición del sol:** Está determinado por la latitud del sitio, el día y la hora.
2. **Los elementos del clima.**
3. **Entorno físico natural y artificial:** condiciones del terreno, altitud, relieve, vegetación, edificaciones próximas y sus materiales.

La posición del sol se expresa en términos de su altitud sobre el horizonte y su ángulo de azimut. Este ángulo se define como el ángulo en plano horizontal medido desde el norte. Tanto el azimut como la altitud se expresan en grados. A este conjunto de conocimientos se le conoce como geometría solar y permite conocer con precisión la ubicación del sol dependido de la hora, la fecha y la ubicación geográfica.

Conocer la posición el sol así como su movimiento aparente dependiendo de la localidad, son requisitos indispensables para poder hacer estudios sobre iluminación natural, diseños solares pasivos y diseños de dispositivos de control solar. (Valeriano Flores, 2010, p. 21)

En lo referente a los elementos del clima, éstos son más difíciles de conocer por su naturaleza cambiante y

únicamente se estiman bajo un procedimiento estadístico basados en información histórica de los factores que prevalecen en una localidad. Por lo tanto el factor ambiental tiene que ser considerado basándose únicamente en los datos climáticos disponibles en estaciones meteorológicas para cada ciudad en particular.

El clima es el resultado de la variación de sus factores y elementos, así como de las combinaciones que de esta variación resultan. Estos elementos del clima son: la temperatura, precipitación pluvial, humedad, dirección y velocidad del viento, composición y pureza del aire, radiación solar, nubosidad, visibilidad, presión atmosférica.

Es importante analizar estos elementos debido a que la cantidad de luz natural que llega a la superficie terrestre depende de la acción simultánea de las interacciones de estos elementos. Por este motivo se pueden presentar drásticas modificaciones a los niveles de iluminación dependiendo de las condiciones climáticas. (Valeriano Flores, 2010, p. 21)

En cuanto al entorno físico natural y artificial, se toman en cuenta las características del terreno y construcciones que pueden reducir la iluminación por medio de obstrucciones y sombras, en determinados periodos del día o del año. En este punto es importante mencionar que las obstrucciones no solo impiden la incidencia solar directa sino también pueden obstruir parte de la bóveda celeste y a su vez reducir la iluminación que de forma difusa puede llegar al interior de los espacios.

La iluminación exterior está en gran medida una función de las condiciones meteorológicas. Las condiciones atmosféricas tienen influencia en la cantidad de iluminancia en el cielo.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

En la gráfica 4 se pueden observar 6 días de abril en el Distrito Federal, en los que el comportamiento solar es constante, con pocas variaciones importantes en cada día, por lo que se puede afirmar que fue una semana despejada. Principalmente el día 6 de abril, la gráfica indica que fue un día completamente despejado y sin nubes.

En el caso de la gráfica 5, se analizaron 6 días del mes de noviembre (también en el Distrito Federal) A primera vista se pueden observar las grandes variaciones presentadas en la gráfica; al hacer un análisis más detallado, se percibe que el comportamiento en la atmósfera fue muy aleatorio, por lo que se determina que fue una semana con periodos de nubosidad.

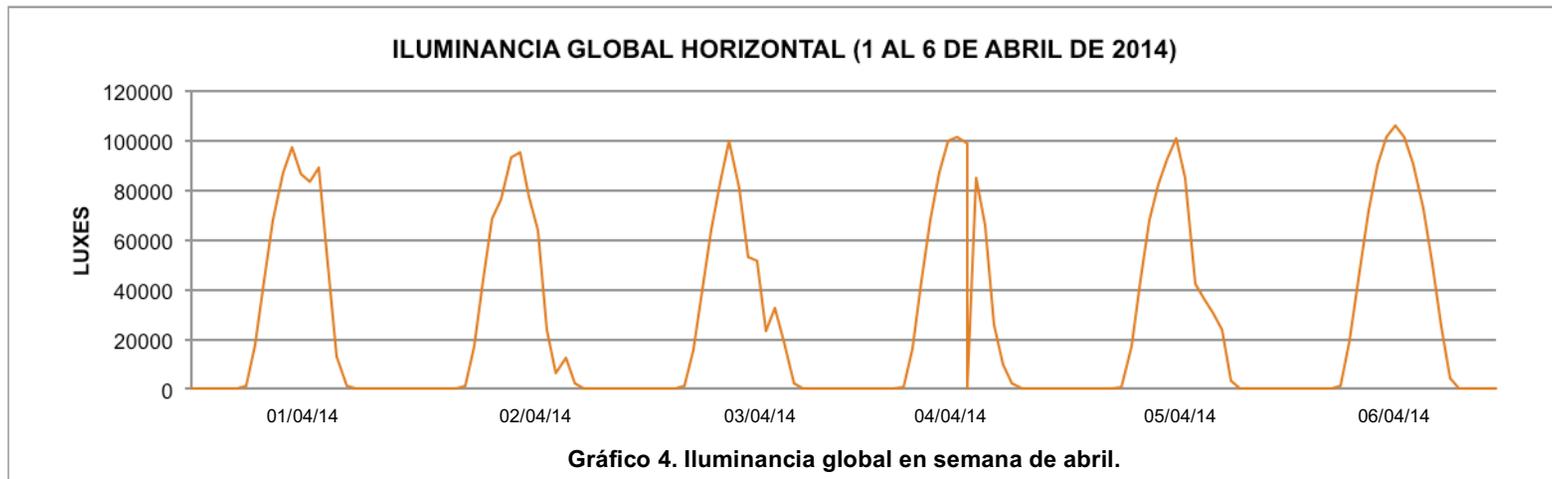
Estos dos ejemplos confirman que el clima se encuentra directamente relacionado con la cantidad de

como primavera y otoño, e incluso con distintos tipos de horario (horario de verano y horario de invierno)

Además de servir de referencia para obtener las horas en las que hay iluminación natural en el exterior en esta ciudad y realizar una comparación con los niveles que se registran en el interior.

En condiciones de cielo despejado la luminancia del sol es de alrededor de 160 mcd/m^2 (megacandela/m²), pero el cielo puede tener un color azul profundo (típico de los cielos tropicales claros) con una luminancia tan baja como $1,000 \text{ cd/m}^2$. Las nubes blancas aisladas en un cielo como pueden mostrar luminancias de hasta $30,000 \text{ cd/m}^2$.

Szokolay (1980) explica que la luz del exterior (o luz



iluminancia en el exterior, por lo que deben ser tomadas en cuenta en cualquier análisis de este tipo.

Se presentaron estas dos gráficas, ya que en el capítulo 5 se utilizarán para determinar los niveles de iluminancia en la Ciudad de México en estaciones opuestas

natural) tiene dos componentes principales: el que llega directamente del sol y se conoce como la luz del sol (o "la luz del rayo solar") en términos más técnicos a este concepto se conoce como: "Componente directo". La otra parte se dispersa por la atmósfera originando la tonalidad característica al cielo.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

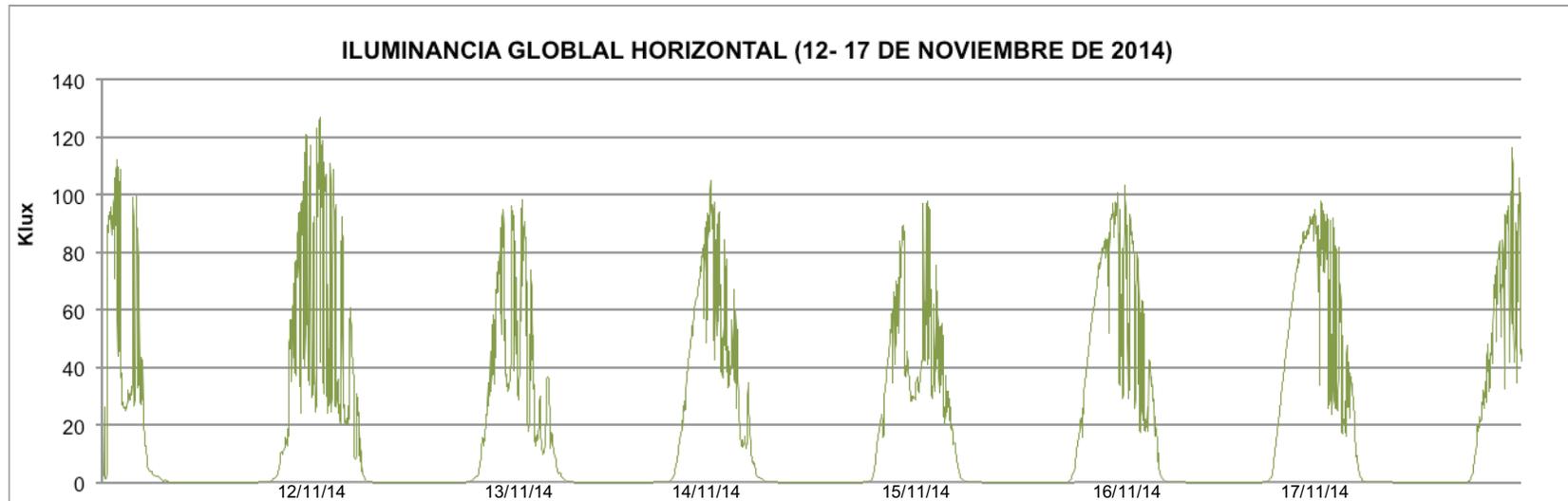


Gráfico 5. Iluminancia global en semana de noviembre.

Por este motivo se considera a la bóveda celeste como una fuente de luz natural y se conoce como “*Componente difuso*”.

La unión de los componentes difuso y directo da como resultado la iluminancia global.

2.4. El factor de luz de día

Como ya se mencionó anteriormente, la luz del día es la luz procedente de la totalidad del cielo, que actúa como un difusor de la luz que llega desde el sol. La luz que llega directamente del sol cuando no hay cobertura de nubes se denomina luz solar.

El tema ahora es el estudio del flujo de luz en los edificios y el desarrollo de técnicas de predicción. La predicción de la luz del día será una herramienta importante en el diseño de las fachadas acristaladas.

Mientras que con la iluminación artificial de la propia fuente está dentro del control del diseñador, con la iluminación natural la fuente se da espontáneamente. El control es posible sólo en la transmisión de la misma. Para el diseño de la iluminación eléctrica, los servicios de consultores pueden ser empleados, pero las variables que afectan a la luz del día, tales como el tamaño y la posición de las ventanas, decoraciones interiores, etc. son para el control exclusivo para el arquitecto.

La luz del día se puede manejar cuantitativamente de dos maneras:

- Mediante el uso de cantidades luminosas (flujo, iluminancia), es decir, asumiendo un conjunto de valores al aire libre y el cálculo de la iluminancia interior resultante;
- Mediante el uso de valores relativos (el factor de la luz del día), es decir, calculando la relación de la iluminancia en un punto en el interior conforme a la del aire libre. Esta relación

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

es constante para una situación dada en condiciones muy variables de iluminación exterior.

El factor de la luz del día se define como la relación de la iluminancia debida a la luz del día en un punto en el interior en el plano de trabajo a la iluminancia exterior simultánea en un plano horizontal, obtenido a partir de un hemisferio sin obstáculos del cielo cubierto. Por lo general se expresa como un porcentaje:

$$\text{FLD}(\%) = \frac{E_{\text{int}}}{E_{\text{ext}}} \times 100\%$$

Existen distintos métodos de predicción de la luz del día. Entre los que destacan los siguientes:

- 1) El método de flujo total.
- 2) El método de flujo dividido: transportadores.
- 3) Tablas simplificadas de luz de día.
- 4) Gráficas de luz de día.
- 5) Diagrama de Waldram.
- 6) Mascarilla de puntos.
- 7) Estudios en modelos.

Uno de los métodos más sencillo es el método de flujo dividido o de transportadores, por lo que se explicará cómo se obtiene.

2.4.1. Método de flujo dividido: transportadores.

El método presentado por Szokolay, explica que el sistema puede ser refinado distinguiendo los diferentes caminos por los cuales la luz puede alcanzar un punto dentro de una habitación. El flujo se divide de tres maneras:

- a) La luz desde el cielo visible en el punto considerado, expresado como el componente cielo (C.C.)

- b) La luz reflejada por superficies opuestas, expresado como el componente reflejado exterior (C.R.E.)

- c) La luz que llega a un punto a través de un número infinito de posibles caminos, entrando a través de la ventana, pero alcanza el punto sólo después de la reflexión de las superficies internas, expresado como el componente reflejado interior (C.R.I.)

La suma de los tres componentes da el factor de luz de día:

$$\text{FLD} = \text{C.C.} + \text{C.R.E.} + \text{C.R.I.}$$

La separación de los tres componentes se justifica por el hecho de que cada factor puede ser influenciado, a su vez, por diferentes factores. (Szokolay, 1980, p. 106)

✿ El componente de cielo:

El componente cielo (C.C.) es generalmente el más grande de los tres. Su magnitud depende de la zona de cielo visible desde el punto considerado, y en el caso de la distribución de la luminancia en el cielo nublado, también depende de la posición de esta zona, que es, ya sea que esté cercana al horizonte, donde la luminancia es menor, o cerca de la cenit, donde la luminancia es mayor.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

Utilizando el principio de ángulo sólido proyectado, el Building Research Establishment (BRE)⁹ ha desarrollado un conjunto de transportadores que dan una lectura directa del factor de la luz natural en porcentajes. Su uso se ilustra en el ejemplo en los siguientes párrafos. Hay diez transportadores, cinco para un cielo con una iluminancia uniforme y cinco para el cielo nublado:

Tipo de fachada	Cielo uniforme (transportador no.)	Cielo nublado (transportador no.)
Ventanas verticales	1	2
Acristalamiento horizontal	3	4
Acristalamiento a 30°	5	6
Acristalamiento a 60°	7	8
Aberturas no vidriadas	9	10

Tabla 5. Transportadores para cálculo de FLD

Para el cálculo del C.C. con los transportadores, es preciso realizar los siguientes pasos:

Tomar la sección de un área perpendicular al plano de la ventana. Marcar el plano de trabajo y el punto considerado (O). Conecte este punto hasta ambos límites de la ventana (OR) y (OP). Tomar una plantilla del transportador elegido y colocar éste con su centro en el punto O y su base en el plano de trabajo. Leer los valores en líneas O y OP cruzan la escala

angular. La diferencia entre los dos valores da la componente inicial cielo.

En la tabla 5 se presentan el no. de transportador que debe ser utilizado para determinar el componente de cielo, de acuerdo al tipo de ventana y al tipo de cielo en el que se quiera obtener.

a) Determinar componente inicial cielo.

Mientras que el transportador está en la posición, también leer los ángulos de elevación de las líneas OR y OP, en la escala interna del transportador. Se deberá encontrar la altitud media sumando los dos ángulos y dividiendo la suma por 2.

En la imagen 2 se presenta el transportador para obtener el componente de cielo en condiciones de cielos completamente nublados, este es el peor escenario ya que como su nombre lo indica, será el cielo en el que se presente poca iluminancia.

La imagen 3 es la referida al transportador para obtener el componente de cielo cuando hay cielo despejado, aplicado cuando las condiciones en el exterior son favorables.

b) Determinación del factor de corrección.

Lo anterior sería el componente de cielo para una ventana de longitud infinita. Para encontrar el factor de corrección para una ventana determinada, tomar un plano de la misma habitación y marcar en ella el punto considerado (O).

Conectar este punto a los dos lados de la abertura de la ventana (ON y OM). Coloque el transportador con su centro en el punto O, con la base paralela a la ventana y la escala 2 hacia la ventana. Interpolar un semicírculo imaginario entre los designados 0 °, 30 ° y 90 °, que corresponde a la altitud media previamente determinada.

⁹Building Research Establishment (BRE), por sus siglas en inglés, traducido como Estación de Investigación de Construcción.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

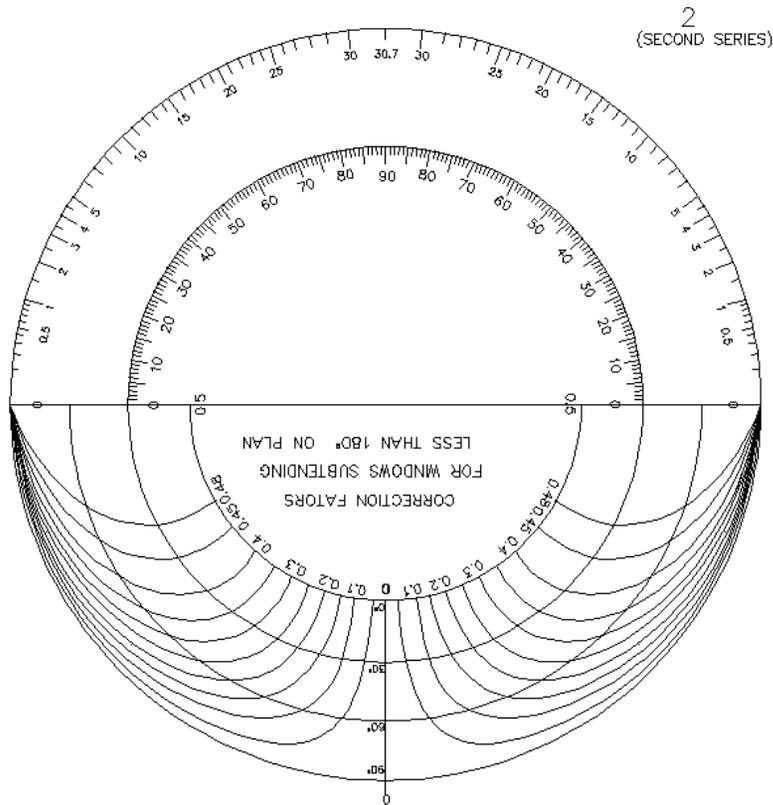


Imagen 2. Transportador de cielo nublado.

Cuando este semicírculo imaginario se cruza en las líneas ON y OM leer los valores a lo largo de las curvas en la escala interior, Interpolando si es necesario. El factor de corrección será:

a) La suma de las dos lecturas, si se toman a cada lado de la línea central.

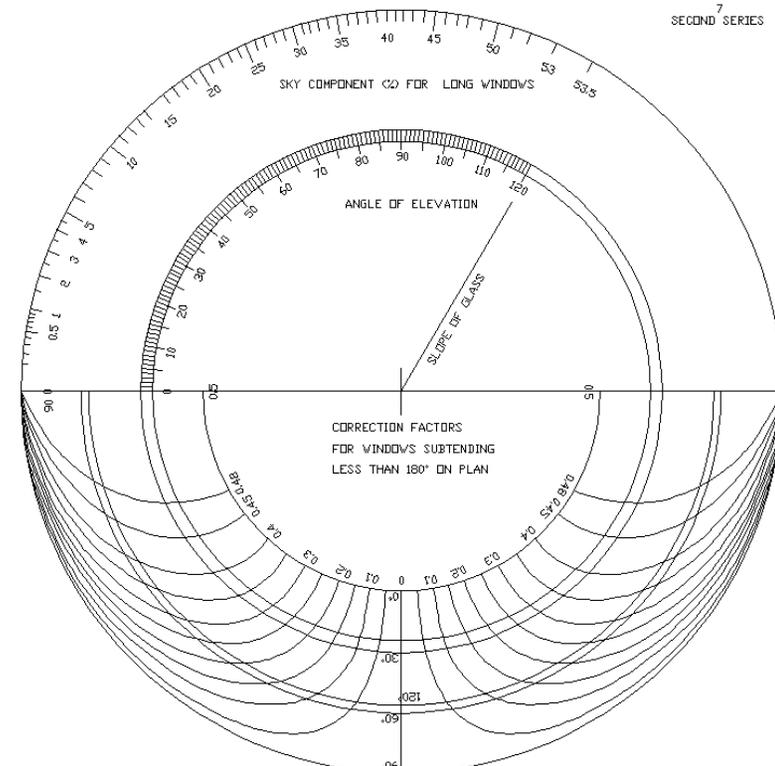


Imagen 3. Transportador de cielo despejado.

b) La diferencia entre las dos lecturas, si se toman tanto en el mismo lado de la línea central.

El producto de la componente de cielo inicial y este factor de corrección darán el componente cielo. Tres factores más de corrección tendrán que ser aplicados:

- 1) *M*: factor de mantenimiento,
- 2) *G*: factor de vidrio,

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

3) *B: barras o factor de encuadre,*

Estos tres factores son aplicables a los tres componentes del FLD, no sólo al C.C.; por lo tanto, puede ser más conveniente aplicarlos a la suma de los tres componentes.

c) Componente reflejado exterior.

Si hay una obstrucción frente a la ventana, a continuación, el límite inferior para el componente de cielo será una línea trazada desde el punto O a la cima de esta obstrucción. El sector entre esta la línea (OB) dará el C.R.E. Seguir el mismo procedimiento que para el componente de cielo. Multiplique el resultado por la reflectancia de la obstrucción (si se conoce) o por 0.2 si se utilizaran los transportadores CIE-cielo. El uso de los transportadores uniformes, tomar la mitad del valor de reflectancia o 0.1 como el factor multiplicador.

d) Componente reflejado interior:

El C.R.I. se puede determinar con bastante precisión de la fórmula de interreflexión del BRE. La forma simplificada de esto es:

$$IRC = 0.85 W / A (1-p) \times (C P_{tw} + 5 P_{cw})$$

Donde:

W= ventana de área (m²) **A**= superficie total (techo + piso + paredes incluyendo ventanas)

p= reflectancia promedio de la zona A,

P_{tw}= reflectancia promedio de piso y las tres paredes debajo del plano en el nivel medio de la ventana (con exclusión de la pared de la ventana)

P_{cw}= reflectancia promedio de techo y la parte superior (restante) de las tres paredes anteriores,

C= coeficiente dependiendo de obstrucciones externas, como se indica a continuación:

Para efectos prácticos, la exactitud de los nomogramas de C.R.I. son adecuados. El nomograma reproducido da la C.R.I. promedio para las habitaciones con iluminación lateral. Otras dos nomogramas están disponibles, uno para el C.R.I. mínimo en habitaciones iluminadas laterales y uno para el C.R.I. medio en habitaciones iluminadas en la parte superior.

Cuando el C.R.I. es grande en relación con el C.C., es aconsejable utilizar la fórmula que el nomograma.

Al utilizar el nomograma se deben llevar a cabo los siguientes pasos:

1. Encontrar la proporción de área de la ventana con el área total superficie (techo + piso + paredes, incluyendo la ventana). Busque este valor en la escala A.
2. Hallar la reflectancia promedio. Esto puede ser calculado como una media ponderada, pero si la reflectancia del techo es de alrededor de 70% y la del piso alrededor de 15%, el cuadro que se incluye con el nomograma dará un valor aproximado. Para utilizar esta tabla, encontrar la relación de área de la pared (incluyendo la ventana) a la superficie total (como arriba) y localizar este valor en la primera columna. La reflectancia promedio puede ser leída de la tabla, de acuerdo con la reflectancia pared situada en el encabezamiento. Busque este valor en la escala 3.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

3. Colocar una regla a través de estos dos puntos. Su intersección con la escala de C da el C.R.I.
4. Si hay una obstrucción fuera, el ángulo de altitud de su borde superior se encuentra en la escala D.
5. Coloque un borde recto desde este punto de escala D a través del punto en la escala C previamente determinado y el C.R.I. corregido se encuentra donde ésta arista recta corta con E.

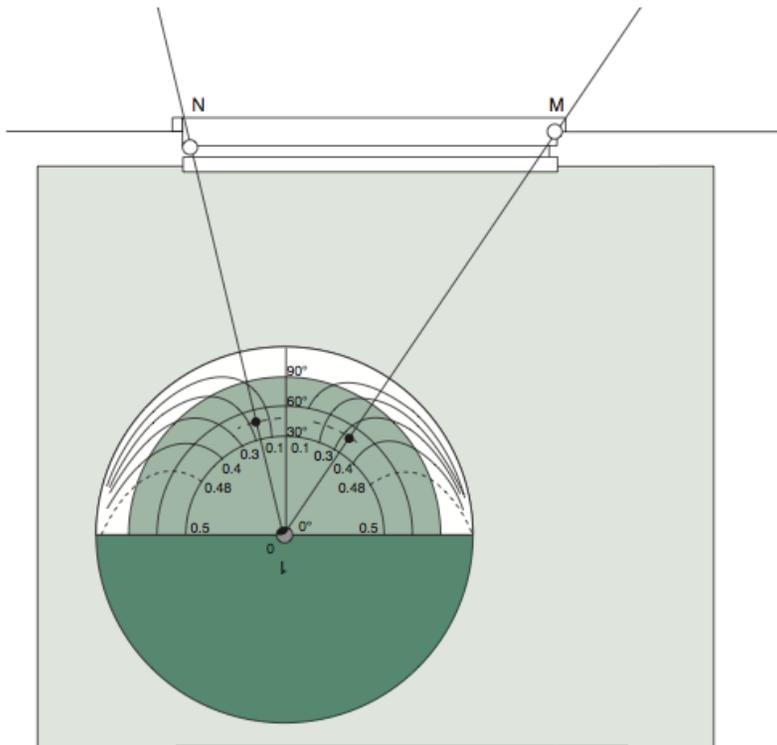


Imagen 4. Factor de corrección.
Fuente: imagen tomada de Szokolay

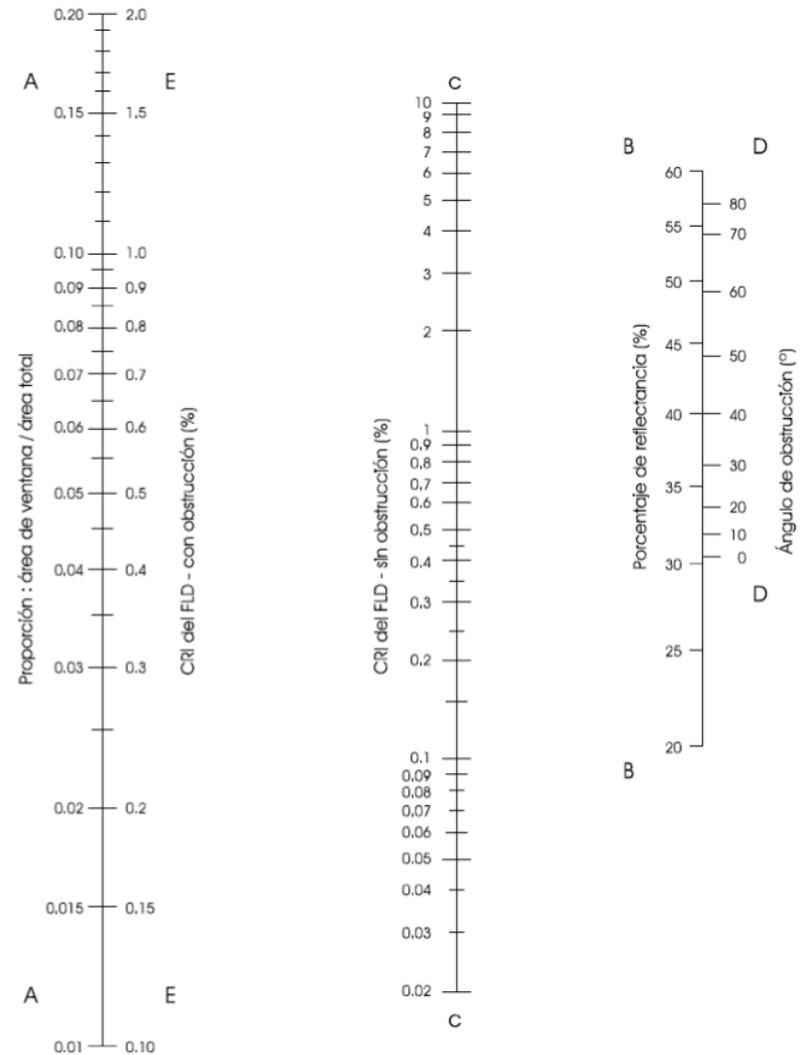


Imagen 5. Nomograma para el cálculo del C.R.I.
(Reproducido por BRE, 1970)

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

Un factor de corrección se aplicará a la C.R.I. para permitir el deterioro de las decoraciones (D-Factor). Esto dependerá de la ubicación y la sala de uso.

Ubicación	Uso del cuarto	
	Limpio	Sucio
Limpio	0.9	0.7
Sucio	0.8	0.6

Tabla 6. Factores de corrección para interiores de cuartos.

Los factores de corrección previamente mencionados (M, G, B) son también aplicables al C.R.I., pero se pueden aplicar a la suma de los tres componentes.

e) Contornos factor de luz natural:

Si la distribución general de la luz del día en una habitación se predijo, el mejor método es establecer una red y calcular el C.C. y el C.R.E. para cada uno de los puntos de retícula. El C.R.I. promedio puede entonces ser encontrado y se añade a cada valor, después de ello, se pueden agregar el M, G y B. Interpolando entre los valores del punto de retícula, un conjunto de contornos factor de luz natural se puede extraer, lo que indica la distribución de la luz del día.

f) Iluminación de techo:

En el caso de la iluminación de techo, tomar el transportador más cercano a la pendiente dada de acristalamiento (vertical, 60 °, 30 ° u horizontal), y la escala de la posición 1 en la sección, de manera que la línea de "pendiente de vidrio" esté apuntando de la misma manera que la pendiente del acristalamiento. En el caso de dos

acristalamientos inclinados, será necesario usar el transportador en la posición normal para un lado y revertir del otro lado.

Con este método es posible predecir la iluminación natural en distintos espacios, en este caso, se validarán los espacios objeto del caso de estudio de la presente investigación.

2.5. El diseño arquitectónico y lumínico.

El cambio climático, la contaminación mundial, así como los grandes gastos económicos en el consumo de energía, son las principales razones por las que se han buscado estrategias y alternativas para combatir dichos problemas.

El uso de la luz natural es una de las mejores opciones que pueden beneficiar a paliar lo anterior. El aprovechamiento de la luz natural es una alternativa para ayudar a reducir los consumos y gastos en electricidad.

Resulta ilógico que en la actualidad no se aproveche la luz natural como fuente de iluminación. En muchas ocasiones se puede observar que se tienen encendidas las luces en horarios laborales diurnos, en vez de hacer uso de la luz del Sol. Esto ocurre en gran medida en los edificios administrativos, escolares y comerciales.

Preciado (2011) menciona lo siguiente:

“El uso de la luz natural es una alternativa válida para la iluminación de interiores y su aporte es valioso no sólo en relación a la cantidad sino también a la calidad de la iluminación.”

Con relación a la iluminación artificial, la iluminación natural presenta, entre otras, las siguientes ventajas:

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

* Proviene de una fuente de energía renovable. Es proporcionada por el Sol en forma directa o a través de la bóveda celeste.

* Puede implicar un ahorro de energía. Una iluminación natural bien diseñada puede cumplir con los requerimientos de iluminación interior de edificios de uso diurno.

* Puede proporcionar niveles de iluminancia más elevados en las horas diurnas que los obtenidos por medio de fuentes de iluminación artificial.

* La luz solar directa introduce menos calor por lumen que la mayoría de las fuentes de iluminación eléctrica (excepciones: LED de luz blanca y lámpara de sodio en baja presión)(Preciado Olvera, 2011)

* En cuanto a aspectos psicológicos, la luz natural mejora el rendimiento de las personas, además de beneficiar al estado anímico y a la salud.

Otro factor positivo en la racionalización del diseño de la iluminación ha sido el trabajo de la IESNA. Sus actividades de investigación, estandarización y publicación han hecho mucho para colocar el diseño de iluminación sobre una base científica



Imagen 6. Luz natural en las plantas inferiores del hotel Montemálaga. Fuente: Rojas Fernández, Juan Manuel (2006)

estable, y a su vez, conservar sus aspectos artísticos esenciales. Es precisamente esta combinación de ciencia y arte que hace que la iluminación sea una disciplina de tipo arquitectónica.(McGuinness, Stein, & Reynolds, 2003, p. 1049)

Resulta importante recalcar que la luz natural ha sido considerada como un aspecto puramente estético y por otro lado, como un requerimiento funcional que debe ser cumplido.(Valeriano Flores, 2010)

Pero el estudio de la luz natural abarca otros aspectos también imprescindibles. El diseño de una buena iluminación debe examinar los aspectos estéticos y técnicas que reduzcan la dependencia de la luz artificial. La fusión entre cantidad y calidad de luz natural es el medio por el cual se puede alcanzar una de las metas de toda arquitectura: forma y función; es decir, aspectos artísticos y prácticos.

Existen muchos factores a considerar en el diseño de iluminación, Stein y Reynolds enumeran algunos de los que consideran más importantes y los separan en dos grandes grupos:

De forma cuantitativa:

1. La luz natural y su incorporación e integración con la luz artificial.
2. La interrelación entre los aspectos energéticos de la luz artificial y natural, calefacción y refrigeración.
3. El efecto de la iluminación en la configuración espacial interior y viceversa.
4. En caso de requerirse, la manera de generar y utilizar iluminación artificial así como sus características.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

5. Los requerimientos visuales de los usuarios y las actividades que desarrollan.
6. Los efectos de la brillantez y su influencia en la claridad visual.



Imagen 7. Espacio con luz natural.
Fuente: Decomundo (2013)

De forma cualitativa:

1. La ubicación, interrelación y los efectos psicológicos de los juegos de luz y sombras, así como la brillantez y los reflejos.
2. El uso del color, su combinación con la luz y las superficies, así como los efectos que se producen en sus interacciones.

3. Los efectos artísticos que se pueden producir, los juegos de luces y sombras así como los cambios de tono e intensidad inherentes de la luz natural.
4. Los efectos psicológicos y fisiológicos de la iluminación, particularmente en espacios que son utilizados en periodos prolongados.

El diseño de iluminación natural adecuada en espacios interiores reduce los costos de energía de la iluminación eléctrica y aire acondicionado. La luz del día afecta directamente el bienestar humano y la productividad. Los beneficios de la luz natural han atraído cada vez más atención, y los arquitectos y diseñadores están considerando la iluminación natural en el diseño de los nuevos edificios.

Sin embargo, muchos edificios existentes no han sido diseñados teniendo en cuenta la luz del día, lo que provoca una mala iluminación y un alto consumo de energía. Por lo tanto, es esencial para explorar la posibilidad de mejorar el diseño de la iluminación natural en los edificios existentes mediante el desarrollo de directrices para transformarlos en entornos eficientes y productivos.

El uso de la luz natural tiene el potencial de mejorar tanto la eficiencia energética y la calidad ambiental en el interior de los edificios y esto es un aspecto importante en muchos sistemas de certificación de edificios verdes.

Bodart & De Herde (2002) realizaron un estudio de edificios de oficinas en Bélgica, en donde mencionan que en este país, la iluminación podría constituir un 25-35% del consumo total de energía. La iluminación artificial en el consumo de energía total varía entre 40 y 50%, cuando la luz natural no está involucrada en la gestión de la iluminación. Al considerar la disponibilidad de luz natural, este valor se reduciría.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

Por lo que, como se dijo anteriormente, está claro que el potencial global de ahorro de energía procedente de la combinación de la luz natural y artificial es muy alto. Estos ahorros provienen de la disminución de consumo de luz artificial, pero también de la disminución de la disipación de calor de las lámparas.

Por lo tanto, una considerable cantidad de energía puede ser ahorrada por un sistema de iluminación de diseño apropiado. Hay estudios en la literatura que explican el diseño de sistemas de iluminación de bajo consumo, con la integración de la luz del día, incluyendo: el uso de LED con base a ocupación detección o la incorporación de sistema de la luz del día como tubo de luz (lumiducto) o la aplicación de concentrador solar de fibra óptica.

Arias (2000) expresa que la estimación del ahorro energético anual atribuido al aprovechamiento de la iluminación natural se basa en la predicción del porcentaje anual en que el sistema de iluminación artificial no es utilizado.

Este porcentaje está en función de la estrategia de control de la iluminación eléctrica utilizada, los horarios de trabajo, los datos locales de clima, así como de la iluminación natural disponible medida en un punto específico del edificio. Otros aspectos que intervienen en dicha estimación son las siguientes:

- El estándar laboral anual, que se define como 365 días por cualquiera de las 12 jornadas de trabajo más usuales. En este estándar se incluyen combinaciones de los tres horarios de inicio laboral (turno matutino: 7:00, 8:00 y 9:00), así como los de finalización (turno vespertino: 16:00, 17:00, 18:00 y 19:00) en ciudades mexicanas.
- El Factor de luz diurna (FLD)

- Para las estimaciones de ahorro energético es necesario considerar otros factores de igual importancia, tales como el tipo de materiales y acabados utilizados en los muros y techos, los requerimientos de detalle visual según la tarea, los obstáculos exteriores, etcétera.

No se debe subestimar la capacidad de iluminación natural para reducir los costos de energía de iluminación. La luz de día puede hacer una contribución sustancial a la iluminación de los edificios, reduciendo la dependencia de la iluminación artificial. Los principales factores que afectan a la luz del día de un interior son la profundidad de la habitación, el tamaño y la ubicación de las ventanas, el sistema de acristalamiento y cualquier obstrucción externos.

Estos factores suelen depender de las decisiones tomadas en la etapa de diseño inicial. A través de la planificación adecuada en una etapa temprana, es posible producir un edificio que es eficiente de la energía, así como tener una apariencia agradable interna.

El acristalamiento puede, sin embargo, imponer severas restricciones sobre la forma y el funcionamiento de un edificio. Si se toman decisiones erróneas de diseño en relación a las ventanas, es posible crear un edificio en el que los ocupantes estén incómodos, y en el que el consumo de energía sea alto. Por lo tanto, el acristalamiento debe tratarse con cuidado. (Beggs, 2009, pp. 298-299)

Por lo que, a manera de conclusión, se puede decir que mediante las estrategias adecuadas de iluminación, es posible conseguir un ahorro energético sustancial. Las horas-sol anuales con las que se cuenta en gran parte del territorio nacional permiten asegurar que en los horarios laborales normales se podría prescindir de cualquier tipo de luminarias artificiales.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

2.5.1. Sistemas de iluminación natural.

Arquitectónicamente hablando, es necesario continuar con el diseño y adecuación de espacios con el aprovechamiento de la luz natural. Como ya se mencionó en párrafos anteriores, la falta de diseño y en muchos casos, de simple observación y orientación de los edificios, provoca la carencia de la utilización de este recurso, lo que se traduce no solo en nullos o pocos ahorros económicos, sino también en la falta de confort a los usuarios.

Por ello, es básico que como arquitectos, diseñadores y/o constructores, se conozcan los sistemas de iluminación natural; para que a partir de ellos, se tomen en cuenta para diseñar, crear espacios habitables y hacer uso del recurso solar, ya que a pesar de que estar en contacto con estos sistemas, en muchas ocasiones no se orientan adecuadamente y por lo tanto, no cumplen con su función.

Los sistemas de iluminación natural son el conjunto de componentes que en un edificio se utilizan para iluminar con luz natural. La cantidad, calidad y distribución de la luz interior depende del funcionamiento conjunto de los sistemas de iluminación, de la ubicación de las aberturas y de la superficie de las envolventes. (Preciado Olvera, 2011)

Los sistemas de iluminación natural utilizados son:

1. *Iluminación lateral:* La luz llega desde una abertura ubicada en algún muro lateral (ventana), por eso es que la iluminancia del plano de trabajo cercano a la ventana tiene un nivel alto y aporta en forma importante a la iluminación general. Al alejarse de la ventana, el valor de la iluminación directa decrece rápidamente y la proporción relativa de la componente indirecta (reflejada y difusa) se incrementa.

Pero, la cantidad y distribución de la luz que ingresa

lateralmente a través de una abertura en un muro depende fundamentalmente de la orientación del muro donde la misma está instalada, esto es porque, por lo general, las ventanas orientadas al Sur (hemisferio Norte) reciben el sol (iluminación directa) desde el amanecer hasta el atardecer, las orientadas al Este solo permiten el ingreso de la radiación directa desde el amanecer hasta el mediodía; las ubicadas hacia el Oeste desde el mediodía hasta el atardecer y las emplazadas hacia el Norte (hemisferio Norte) no reciben aporte de iluminación directa, solo reciben iluminación difusa y reflejada.



Imagen 8. Iluminación lateral. Fuente: Centro Cultural Gabriela Mistral, Chile.

En la imagen 8 se observa un ejemplo de un tipo de iluminación natural, con ventanas laterales que permiten la entrada de luz natural.

La incidencia solar en fachadas verticales orientadas al sur, es la causante del deslumbramiento, este aspecto se puede controlar con un alero fijo o con sombra vegetal, bloqueando la radiación directa sobre las áreas vidriadas en los meses de verano, ingresando por lo tanto sólo iluminación difusa a los interiores.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

En el invierno, es cuando se requiere el ingreso del sol en el edificio para ganancia térmica, esto se da naturalmente, ya que el Sol tiene ángulos bajos y el alero que sombreaba en verano (ángulo solar alto) permite el total asolamiento de la superficie vidriada. Para impedir el deslumbramiento y molestias visuales, que produce el ingreso del sol directo en invierno a través de



Imagen 9. Iluminación cenital para un local. Fuente: Desconocido (2008)

la ventana ubicada en la fachada sur, se puede difundir el rayo solar mediante estantes de luz interiores o difusores que redirijan o difundan la luz solar directa para iluminar, una vez que ya ingreso al local para calentar, acumulándose en los elementos constructivos con masa (muros, techo y piso)

2. *Iluminación cenital:* Este tipo de iluminación es la que predomina en los lugares en los que predominan los cielos nublados. El plano de trabajo es iluminado directamente desde la parte más luminosa de estos tipos de cielos, el cenit. La proporción de iluminación indirecta generalmente no excede el 25%. Tal y como se observa en la imagen 9.

3. *Iluminación combinada:* En la iluminación combinada hay aperturas en muros y en techos. En el interior de un edificio cuya envolvente no está claramente dividida en muros y techos, se la considera como iluminación combinada. En el caso de la imagen 10, se presenta una piscina ubicada en Mallorca en el que se combinan sistemas lumínicos, tanto iluminación lateral como iluminación cenital.



Imagen 10. Piscina en Mallorca. Fuente: A2 Arquitectos (2011)

2.5.2. Diagnóstico y estrategias arquitectónicas para el aprovechamiento de la luz natural.

Después de tener claro cuáles son los sistemas principales de iluminación natural, es necesario aplicar diversas técnicas de diseño que permitan aprovechar la luz. Lo ideal es que desde antes de que los inmuebles se construyan, los diseñadores prevean esta situación, ya que las intervenciones posteriores provocan gastos económicos y adecuaciones que no siempre son sencillas de adaptar a los edificios existentes.

En este apartado se abordan las “estrategias arquitectónicas”, este término se refiere a aquellas acciones y/o propuestas que permiten aprovechar la luz natural. Pero deben ser planificadas para evitar deslumbramientos o incomodidades en la visibilidad de los usuarios; deben ser planteadas de acuerdo a las condiciones físicas y geográficas del edificio, al tipo de uso del mismo, así como a las necesidades de las personas que desarrollarán sus actividades en él.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

Para el caso de las construcciones actuales, es necesario realizar un diagnóstico general. Observar en dónde se pueden realizar adecuaciones que no representen una mayor inversión, aunado a evitar posibles daños en la estructura del edificio, es decir, en términos generales, que se puedan adecuar a lo que ya existe y obviamente, que generen un ahorro en el consumo eléctrico en iluminación.

Algunas de estas estrategias son las conocidas típicamente; pero hay algunas otras que implican una adecuación tecnológica al inmueble. Se mencionan las más importantes a continuación.

1) Ventanas:

Lo que resulta más fácil en cuestiones constructivas y económicas, es la iluminación lateral, misma que se realiza a través de muros laterales. El primer aspecto a tener en cuenta para este tipo de iluminación es la orientación del edificio. Sin embargo los problemas más recurrentes con este tipo de sistema son: la mala distribución que provoca la iluminación lateral, los deslumbramientos causados por la luz solar directa y la desventaja que solo captan la luz natural los espacios inmediatos a los muros laterales.

Ghisi (2004) presentó un método para predecir el potencial de ahorro energético en la iluminación mediante un concepto de "Ventana Ideal" (Ideal Window) cuando hay una integración efectiva la luz del día con el sistema de iluminación artificial. El trabajo de análisis de la energía se realizó mediante el programa Visual DOE para las condiciones climáticas de Leeds, en el Reino Unido, y Florianópolis, en Brasil.

Después de esto, se evaluó el potencial de ahorro de energía de iluminación para cada habitación utilizando un método basado en factores de luz natural. Se observó que el

potencial de ahorro de energía en la iluminación en Leeds varió de 10.8% a 44% en todos los tamaños de las habitaciones y los coeficientes de las habitaciones de una iluminancia externa de 5,000 lux, y en Florianópolis, el potencial osciló entre 20.6% y 86.2% para una iluminancia externa de 10,000 lux. La metodología que se presenta se puede aplicar a cualquier lugar en todo el mundo.

En la imagen11 se presentan las proporciones de ventana que se propusieron en esta metodología.

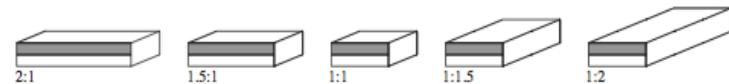


Imagen 11. Proporciones de ventana.

2) Bandejas reflectoras o estantes de luz:

Un estante de luz tiene el efecto de incrementar la componente reflejada y redireccionarla al cielorraso interior que trabaja como una fuente secundaria de luz natural. La ubicación de los estantes de luz con respecto al plano del edificio afecta su exposición al cielo, y por ende su reflexión de luz sobre el cielorraso.

La contribución de los estantes de luz a la iluminación interior está directamente afectada por la reflectancia del cielorraso. El muro posterior también afecta la iluminancia, porque su aporte está limitado por su exposición directa a la luz solar y, en un grado menor, a la luz reflejada desde el techo; la exposición directa del muro posterior del reflector horizontal es despreciable.(Estantes de luz y bandejas reflectoras, 2013)

3) Lumiductos:

Estos sistemas son utilizados cuando un espacio no

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

tiene posibilidades de recibir la luz natural porque no tiene ningún muro expuesto al exterior o bien porque se considera insuficiente la luz natural que ingresa. Tienen tres partes constitutivas:

- Un captador solar
- Un conductor de la luz solar
- Un emisor de luz al interior del espacio (o boca de salida)

Este sistema es sólo justificable en climas soleados y no responde con eficiencia a la luz natural difusa.

En el 2011, Ju Young Shin junto con su equipo de trabajo en Corea, realizó un análisis de un lumiducto (light pipe) este sistema es un dispositivo de iluminación natural simple que permite que la luz natural entre en espacios interiores o espacios subterráneos donde el acceso a las ventanas o tragaluces está restringido. El uso de un sistema de conducto de luz puede aumentar la iluminancia sin el uso de la iluminación artificial y por lo tanto reduciría el consumo de energía significativamente.

El potencial de ahorro debido a la utilización de un sistema de tubo de luz de energía se determina con la debida consideración de los diferentes métodos de control de iluminación artificial (dentro y fuera de control, control de dos etapas, de regulación de control), lo que demuestra un posible ahorro en la iluminación de consumo de energía de hasta el 30% en promedio.

4) Concentrador de luz natural por fibra óptica:

La fibra óptica es sumamente eficiente; funciona por reflexión total interna pero su elevado costo restringe su uso a aplicaciones decorativas de iluminación artificial. El mayor inconveniente está representado por la concentración requerida dada la escasa apertura de la fibra. Para ello se

requieren complicados heliostatos que concentren la luz natural. Recientemente se encuentran en estudio concentradores luminiscentes de luz natural emitida como luz fluorescente que es transportada por guías de material flexible de un costo menor a la fibra óptica.

5) Vidrio electrocrómico:

Este tipo de vidrio pierde transparencia cuando se le aplica una corriente eléctrica. Una lámina de este vidrio está constituida por dos capas de vidrio en las dos caras exteriores y, entre ellas, por una serie de capas de materiales transparentes que tienen la cualidad de hacer perder la transparencia de una de ellas al teñirse de un color (generalmente azul y verde).

Este fenómeno sucede cuando se le aplica una tensión eléctrica, y cuando la corriente se invierte el proceso también lo hace, recuperando así la transparencia. Es posible ajustar el grado de oscuridad hasta el nivel deseado. Las ventanas de ese tipo requieren una conexión eléctrica que se traduce en un cableado que comunica las ventanas con una toma de corriente.

El consumo de energía es de 0.1 W/ciclo/m^2 , lo cual es realmente bajo. La tensión eléctrica que se usa en este vidrio va de uno a tres volts y solo se usa energía eléctrica para cambiar de estado (tintado, transparente y fases intermedias) y no para mantenerlo. El vidrio puede estar programado para absorber sólo una parte del espectro de la luz, como los rayos infrarrojos.

6) Dispositivos de lentes y espejos:

Las lentes y espejos tienen buenas características transmisoras y mantienen el rayo de luz concentrado; permiten dirigir la luz del sol hacia el interior de los inmuebles a través

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

de un sistema de espejos y un controlador auto-programado para conocer la posición exacta diaria del sol. El sistema espera a que salga el sol en el horizonte, y una vez con un ángulo de 10° sobre el mismo, comienza a aprovechar esa luz conduciéndola hacia el interior a través de los dos lentes difusores.

El sistema de espejos se mantiene frente al sol durante todo el día, aprovechando esa luz hasta que el sol llegue a 10° en el horizonte en su ocaso, lo que permite aprovechar la luz del sol de 9.2 horas hasta 13 horas en algunas latitudes y tiempos del año. Al final del día, los espejos giran a la posición en la que esperaran al sol salir al día siguiente comenzando nuevamente el ciclo.

7) Páneles cortados con láser:

La superficie de cada panel cortado con láser (LCP)¹⁰ funciona como un espejo interno que desvía la luz que pasa a través del panel. Los cortes se realizan con el espaciado (D) a la anchura (W) y la luz con un ángulo de incidencia (i) se refracta en el material a un ángulo. La fracción (fd) indica la luz redirigida que se encuentra con la superficie de un corte con láser; la fracción restante [fu (1/41 - fd)] se transmite sin cambio de ángulo.

El LCP desvía la luz de alta elevación (generalmente >30°) y transmite la luz de baja elevación. En otras palabras, se desvía la luz solar de alta elevación, mientras que se transmite la luz cenital de baja elevación, o la luz del sol durante la mañana temprano, por las tardes y el invierno, cuando la ganancia solar se considera activa. Un muy alto porcentaje de la luz se desvía hacia arriba, lo que

reduce el deslumbramiento.(Labib, 2012)

La Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología estudió los cambios de iluminación natural en un edificio de oficinas situado en Scandvika, Noruega, después de instalar un LCP en la parte superior de la ventana en una sala de ensayo. También utilizaron una “sala de referencia” de igual tamaño a la “sala de prueba” con acristalamiento claro y sin protecciones solares. Bajo un cielo nublado, la sala de prueba mostró cambios mínimos en el nivel de luz y la distribución, sin embargo, bajo un cielo despejado, el LCP incrementó el nivel de luz y mejoró la distribución de la luz sobre el suelo durante casi todos los días del año.(Labib, 2012)

2.5.3. La oficina ecológica.

Brian Edwards (2011) plantea diversas cuestiones que deben tomarse en cuenta cuando se realiza un diseño de cualquier tipo de edificación, en busca de la utilización de la luz diurna. Estos aspectos son esenciales para crear espacios habitables y con un diseño lumínico apropiado. Sería grandioso poder plantear los diseños en las oficinas públicas con estos principios, ya que se adaptarían al uso y beneficiarían a la reducción de inversión en energía eléctrica.

¹⁰ Laser cut panel (LCP) por sus siglas en inglés, es un panel acrílico transparente delgado que tiene cortes paralelos hechos usando una máquina de corte por láser programado para hacer una serie de cortes en un ángulo perpendicular a la superficie. Fuente: Labib, 2012

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

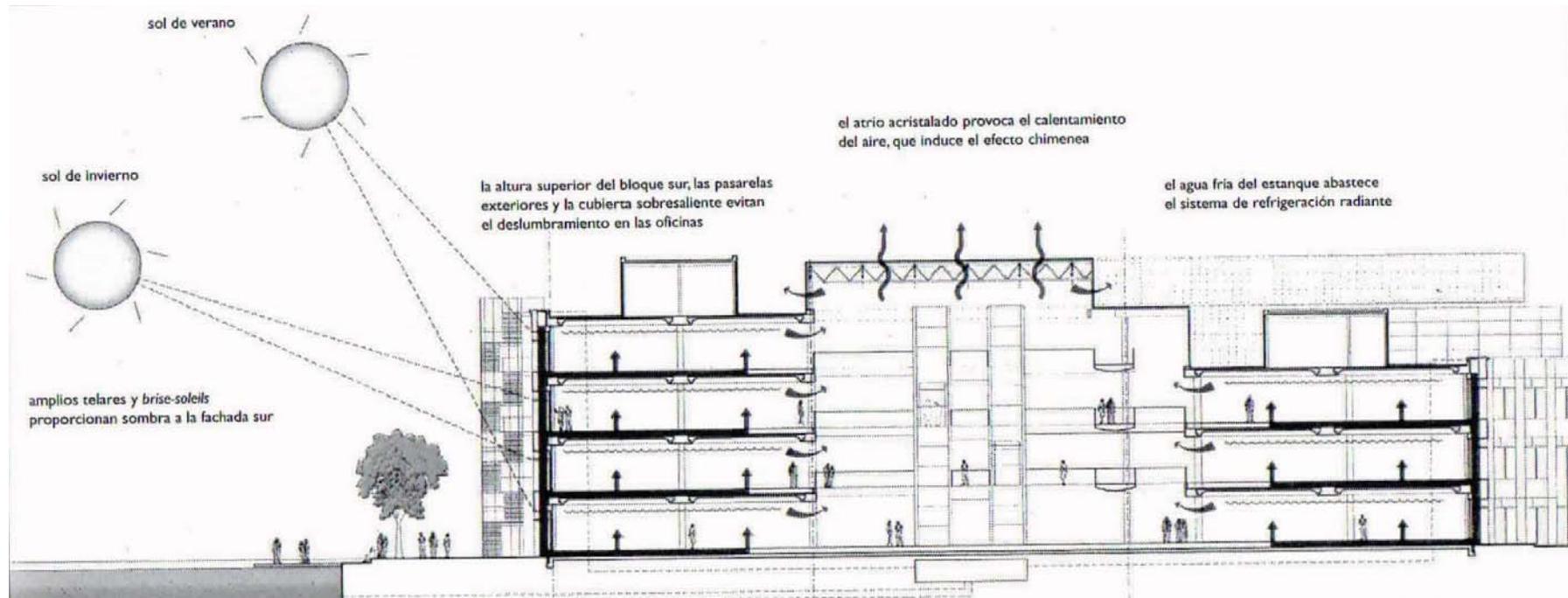


Imagen 12. Modelo de sección para un edificio de oficinas ecológico. Edificio para British Energy, de Fitzroy Robison & Partners. Fuente: F.R. & Partners.

Los aspectos que Edwards menciona son, entre otros, los siguientes:

- * Las plantas profundas (12-15 m) son las más convenientes para explotar al máximo la luz natural, además de facilitar la ventilación cruzada en otros aspectos térmicos.
- * El uso de atrios o vestíbulos acristalados beneficia en gran manera a los edificios.
- * El control de la luz solar por medio de pantallas externas y persiana internas.
- * El acceso de la luz diurna puede aumentarse mediante la instalación de repisas reflectantes en el exterior y el diseño de aleros en las ventanas, así como de la sección del techo.
- * La luz diurna no se propaga más allá de una distancia de 7 m (según el nivel de iluminación externa), por lo que la profundidad de una oficina queda limitada a 14 m (siempre y cuando cuente con ventanas en ambos lados)
- * Los techos altos facilitan la incidencia de luz.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

- * El bienestar psicológico y salud física que produce estar en contacto con espacios bien iluminados.
- * Las estructuras exteriores (doble piel) sirven como protección solar, reflexión de la luz, además de emplearse como acceso para el mantenimiento del edificio. (Edwards, Guía básica de la sostenibilidad. , 2011)

La imagen 12 presenta un modelo de una oficina ecológica, en la que se diseñaron las ventanas de manera que se previniera la incidencia del sol en verano e invierno; evitando así, deslumbramientos y dando sombra en la fachada sur del edificio.

En lo que se especifica a la **orientación**, hay tres particularidades importantes:

- * La orientación correcta de un edificio de oficinas es fundamental. En el sentido este/oeste para que las fachadas principales estén orientadas una al sur y la otra al norte.
- * Fachada sur: proteger con pantallas solares. Ajustar niveles de iluminación mediante persianas enrollables.
- * Fachada norte: puede tener acristalamiento transparente sin que se produzca ninguna de las complicaciones asociadas con la luz solar.

Por lo que es esencial conocer la orientación de los edificios a estudiar, y tomando como parámetros las áreas de ventanas que ya se tienen, se puede puntualizar más sobre el potencial y ahorros de energía.

Parte de la evaluación arquitectónica que se abordará posteriormente, es examinar detenidamente la cantidad de iluminancia que incurre en cada fachada y las horas en las

que hay luz solar. En este punto, se realizó un análisis arquitectónico de las condiciones actuales de los edificios.

Por ello se efectuaron visitas a cada uno de los edificios, para ubicar específicamente las fachadas acristaladas, ventanas, domos y cualquier otro elemento que permita la incidencia de luz natural; además de ello se revisaron las oficinas, cubículos, áreas abiertas, etc. y cualquier otro espacio cercano a dichos elementos para poder observar cuáles son las áreas potenciales para aprovechar la luz natural.

Estos factores de aprovechamiento de la luz natural van más allá de los aspectos arquitectónicos, ya que es importante no dejar de lado el comportamiento de los usuarios. Es posible que en algunos casos, a pesar de tener niveles aceptables de iluminancia, haya personas que requieran y/o prefieran el uso de las luminarias que el de la luz solar. Por lo que estos aspectos fungen como parte

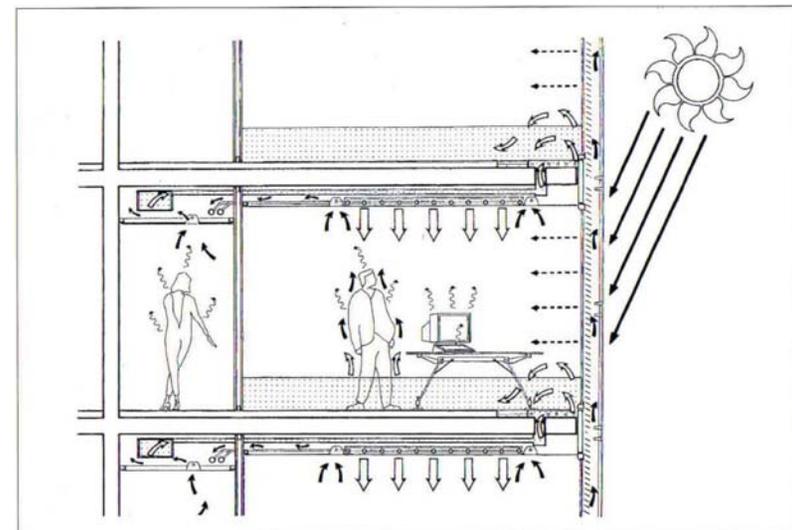


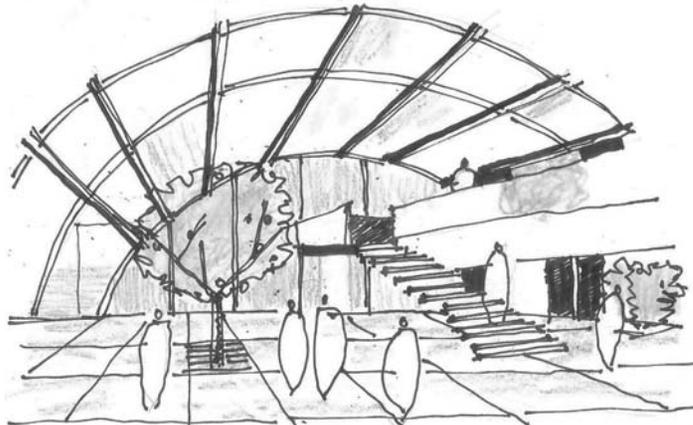
Imagen 13. Calidad en el entorno de trabajo. Fuente: Foster+Partners

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

importante del uso de los edificios.

Sumado a esta fase, se consideró importante tomar mediciones de niveles de iluminación en estas fachadas en horas críticas (antes de anoecer) y en áreas específicas. Esto con el objetivo de determinar si era posible seguir usando la luz natural en la tarde y por cuánto tiempo.

La imagen 13 muestra un ejemplo de una oficina diseñada con principios ecológicos, en los que se toma en cuenta la incidencia del sol, con el propósito de evitar deslumbramientos y crear una atmósfera de confort visual.



Capítulo 3. LA ILUMINACIÓN ARTIFICIAL EN LA ARQUITECTURA.

Capítulo 3.

ILUMINACIÓN ARTIFICIAL EN LA ARQUITECTURA.

Es necesario establecer la conexión que existe entre la luz natural y la luz artificial por lo que es de gran interés conocer cuáles son los factores más relevantes de la luz artificial. En este capítulo se describen los principios de la iluminación artificial así como sus principales características.

También es fundamental saber qué tipo de tecnología es la existente y la utilizada en oficinas, ya que igualmente formará parte del análisis de los estudios caso. En cuanto a este punto, podría parecer irrelevante saber qué tipo de luminarios existen, sin embargo es importante para conocer las características de las mismas y demostrar que la luz natural también proporciona beneficios; así que el análisis de las ventajas y desventajas refuerza en la toma de decisiones, además de esto, sirve como parámetro de referencia para ser comparado con la luz natural.

Aunado a dicho análisis, se explica el confort visual que proporciona la iluminación artificial. Finalmente se menciona el ahorro en electricidad que generan los sistemas de control y gestión de la energía, así como un ejemplo relevante en la arquitectura.

La arquitectura puede modificar las condiciones del entorno a manera de que beneficie a los usuarios de cada espacio, sin embargo la tecnología lumínica instalada también favorece al confort y al desarrollo de las actividades de las personas, por lo que no debe ser tomada en cuenta bajo un análisis y una elección adecuada de la misma.

3.1. Principios de iluminación artificial.

La energía consumida por iluminación artificial en los edificios es relevante, ya que forma parte de los usos finales. Pero es posible conseguir considerables ahorros de costos energéticos a través de buenos diseños, cuidado y mantenimiento de los sistemas de iluminación.(Beggs, 2009)

Un sistema de iluminación está formado básicamente por cuatro elementos:

1. Lámpara
2. Balastro
3. Luminario
4. Control

3.1.1. Lámparas.

Las principales características de una lámpara son:

1. Vida útil (VU)
2. Eficacia (Ef)
3. Mantenimiento de lúmenes (DLL)
4. Índice de rendimiento de color (CRI)
5. Temperatura de color (TCC)
6. Tiempo de encendido y reencendido
7. Costo inicial y costo de operación
8. Disponibilidad en el mercado

La eficacia indica el flujo que emite la lámpara por cada unida de potencia eléctrica consumida para su obtención; es decir es el flujo luminoso (lm) dividido entre la potencia eléctrica (W)(Escobedo Izquierdo A. , 2013)

El mantenimiento de lúmenes (DLL) es un proceso natural de envejecimiento que sufren todas las lámparas y se establece como el cociente de los lúmenes al 70% de la vida

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

nominal. Algunos fabricantes lo reportan al 40% de la vida normal.

El índice de rendimiento de color (CRI) es la capacidad que tiene una lámpara para reproducir fielmente los colores de los objetos. Se mide en una escala de 0 a 100.

La temperatura de color (TCC) se refiere a la apariencia o tonalidad de la luz que emite la fuente luminosa. La forma de percibir ciertos ambientes depende de la tonalidad de la luz de la lámpara.

El tiempo de encendido es el tiempo que tarda una lámpara en emitir el 90% de su flujo nominal. En el caso del tiempo de reencendido, es el que tarda una lámpara en dar el 90% de su flujo nominal cuando es apagada.

La aplicación de sistemas de iluminación energéticamente eficientes en oficinas modernas busca optimizar la calidad de la iluminación, el máximo ahorro de energía y satisfacer las necesidades ergonómicas de los trabajadores. Las características de la oficina moderna proporcionan una oportunidad para optimizar la iluminación de la oficina. La optimización de la iluminación de oficinas requiere un enfoque específico para cada área de trabajo de iluminación y control.(Beggs, 2009, p. 275)

Los avances tecnológicos incluyen lámparas, balastos y controles de iluminación, como la mejora de los sistemas de halogenuros metálicos con balastos de encendido por pulso, lámparas de halogenuros metálicos de descarga de alta intensidad, lámparas que producen una intensa luz blanca, etc.

La renovación de las instalaciones de iluminación, permite mejorar la calidad de la iluminación y el rendimiento de los trabajadores. Los recientes avances en la tecnología

ofrecen una oportunidad para la conservación de energía y para mejorar la productividad de los trabajadores, reducir los dolores de cabeza, la fatiga y el ausentismo.(Beggs, 2009, p. 279)

3.1.2. Balastos.

Los **balastos** son dispositivos que por medio de inductancias o resistencias solas o en combinación, limitan la corriente de las lámparas al valor requerido para su operación correcta y también cuando es necesario suministran la tensión y la corriente de arranque; en los balastos para lámpara fluorescentes de arranque rápido. También son los encargados de suministrar la tensión para calentamiento de cátodos.

El balastro en general tiene como funciones:

- Amortiguar las variaciones de la tensión de línea.
- En algunos tipos, reducir la radio interferencia producida normalmente por el conjunto lámpara-balastro.
- En circuitos ER proveer un calentamiento continuo a los filamentos de la lámpara.

Los balastos para lámparas fluorescentes se dividen en electromagnéticos (de baja energía, electromagnético convencional y alta eficiencia), híbridos y electrónicos.

Los electromagnéticos pueden ser de encendido precalentado, en donde se tiene un sistema de encendido que se inicia por medio de la aplicación de un voltaje alto sin que los electrodos hayan sido precalentados. (Escobedo Izquierdo A. , 2013)

También existen los balastos de encendido instantáneo, estos son de mayor tamaño y tienen la ventaja de no necesitar arrancadores.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

Los electromagnéticos ahorradores de energía están fabricados con alta tecnología y mejores materiales para reducir las pérdidas; operan las lámparas a potencia adecuada sin reducir la vida útil, trabajan a temperaturas internas bajas y se encuentran disponibles en el mercado.

Los balastos híbridos combinan un conjunto de núcleo- bobinas como los mencionados anteriormente, con un dispositivo de estado sólido.

En el caso de los balastos electrónicos, estos trabajan con alta frecuencia y bajas pérdidas (de 4 a 6 watts), ayudando a mejorar la eficacia de las lámparas; se pueden instalar directamente en lugar de los electromagnéticos porque son de las mismas dimensiones, su peso es menor. Trabajan a alta frecuencia, evitan el efecto estroboscópico y el *flicker*.¹¹ Hay de potencia de lámpara constante y de potencia variable. En la imagen 14 se muestra un balastro electrónico típico.



Imagen 14. Balastro electrónico. Fuente: Google 2015.

Algunos de los parámetros a considerar en la selección de balastos son:

- Protección térmica: a los balastos termo protegidos se les conoce como clase “p”
- Clasificación de sonido: existen 6 categorías que van de la “A” a la “F”, la de tipo “A” es la más

¹¹El término flicker se refiere al parpadeo que hace un luminario cuando no tiene la potencia suficiente para encender rápidamente.

silenciosa (20 a 24 db) y la “F”, la de mayor ruido (más de 49 db)

- Voltaje de alimentación elevado: mientras mayor sobretensión sea capaz de soportar el balastro, mejor.
- Voltaje de alimentación reducido: un voltaje de alimentación al balastro menor del nominal puede causar incertidumbre en el encendido de las lámparas, sobre todo en bajas temperaturas
- Distorsión armónica total (THD): un THD alto produce elevación de pérdidas en cables y transformadores.
- Frecuencia de operación en lámparas: operan en alta frecuencia. Las frecuencias demasiado altas pueden producir interferencia electromagnética e interferencia de radio (EMI y (RFI)
- Factor de balastro (FB): es el porcentaje de flujo lumínico nominal que puede esperarse al utilizar la lámpara con un balastro comercial específico.

Es importante revisar que el balastro tenga el sello FIDE, ya que es un estricto sistema de certificación implementado por el Fideicomiso para el Ahorro de la Energía Eléctrica; así como el sello NOM/ANCE, para garantizar la seguridad de los usuarios.

3.1.3. Luminarios.

La luminaria es la unidad de luz destinada a albergar una o varias lámparas. También puede alojar un equipo auxiliar para el funcionamiento de la fuente de luz. Es un dispositivo que distribuye, filtra o transforma la luz por una o más lámparas, que incluye todos los componentes necesarios para fijarlas y protegerlas y, donde corresponde, los equipos auxiliares.

Debe proveer las siguientes funciones:

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

- Distribuir adecuadamente la luz en el espacio.
- Evitar deslumbramiento o brillo excesivo.
- Satisfacer las necesidades estéticas y de ambientación del espacio.
- Optimizar el rendimiento energético, aprovechando la mayor cantidad de flujo luminoso suministrado por las lámparas.

Algunas medidas tecnológicas en la elección de luminarias son:

- El tamaño del luminario.
- El tipo de iluminación.
- Buscar que el nivel de iluminación se conserve (o mejore)

La mejor opción debe estar basada en obtener una menor demanda eléctrica y a la vez tener un mejor nivel de iluminación.

3.2. Tecnología eficiente para oficinas.

Existen distintos tipos de lámparas, entre las que destacan: lámparas incandescentes, fluorescentes, compactas fluorescentes, de vapor de mercurio, de halógenos metálicos, de sodio de alta y de baja presión, así como los más recientes avances en luminarias que utilizan la tecnología de led.

En la actualidad se ha dado impulso a la tecnología ahorradora en iluminación y a la sustitución de sistemas lumínicos obsoletos, por lo que es importante explicar las más destacadas. Asimismo, resulta conveniente realizar una descripción de la tecnología que es eficiente para los edificios de oficinas, por sus características y beneficios, y sobre todo por la utilización que se le da en estos inmuebles.

Los principales tipos de lámparas que predominan son:

* **Las lámparas halógenas:**

Son un tipo de lámpara incandescente, pero de alta eficiencia. La lámpara de halógeno se utiliza para reducir la evaporación del filamento de tungsteno. Éstas ofrecen un aumento del 40 al 60% en la eficiencia con una luz más brillante que las bombillas incandescentes convencionales. (Beggs, 2009, p. 292)

Un tipo de lámparas halógenas son las dicróicas, cuyo revestimiento controla la energía radiante. Sin embargo generan mayor cantidad de ultravioleta, un ejemplo de este tipo de lámparas se presenta en la imagen 15.



Imagen 15. Lámpara halógena.
Fuente: Google 2015.

* **Las lámparas compactas fluorescentes:**

Son más eficientes y duraderas que las lámparas incandescentes. Las lámparas fluorescentes compactas son sistemas que tienen un balastro miniatura diseñado como un

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

reemplazo directo de las lámparas incandescentes. Éstas proporcionan una cantidad y calidad similar de luz, mientras que requieren alrededor de 30% de la energía a diferencia de las lámparas incandescentes.



Imagen 16. Lámparas fluorescentes compactas. Fuente: Google 2015.

También duran hasta 10 veces más que las unidades incandescentes. Proporcionan un ahorro de energía de 60 a 75%, con sólo una ligera disminución en los niveles de luz. La típica lámpara tiene una vida nominal de 10,000 horas, lo que es aproximadamente 12 veces la vida de un foco incandescente estándar. Aunque tienen un precio inicial más alto, se pueden pagar por sí mismas en 1 a 2 años a través de los ahorros de energía y mantenimiento. (Hordeski, 2003, pp. 285-288)

Algunas características importantes son: este tipo de lámparas pueden ser aplicadas a proyectos nuevos o remodelaciones (retrofit), los sistemas separables tienen una ventaja (la vida del balastro es mayor en relación de 3 a 10), las lámparas autobalastadas (sistemas integrales) consisten en una lámpara y un balastro unidos en una base. En las

imágenes 16 y 17 se aprecian los distintos modelos de lámparas compactas fluorescentes que pueden encontrarse en el mercado.

Las ventajas con balastos electrónicos son:

- La eficacia del sistema es en promedio del 20%
- El tiempo de arranque es menor de un segundo.
- Reduce notablemente el flicker¹².
- Operan de manera silenciosa.
- Ligeros y reducidos en tamaño.



Imagen 17. Compactas fluorescentes. Fuente: Google 2015.

Las desventajas comunes son:

- Precio.
- Alto porcentaje de distorsión armónica total (TDH)
- La mayoría de los balastos electromagnéticos produce una TDH entre el 15 y 25%
- La distorsión de la onda senoidal también se asocia con una reducción en el factor de potencia. (Escobedo Izquierdo A., 2013)

¹²El término flicker se refiere al parpadeo que hace un luminario cuando no tiene la potencia suficiente para encender rápidamente.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

* Las lámparas fluorescentes:

La luminaria fluorescente, también denominada tubo fluorescente, aunque su efecto se basa exactamente en la fosforescencia, es una luminaria que cuenta con una lámpara de vapor de mercurio a baja presión y que es utilizada normalmente para la iluminación doméstica e industrial. Su gran ventaja frente a otro tipo de lámparas, como las incandescentes, es su eficiencia energética. (Escobedo Izquierdo A., 2013)

Las luces fluorescentes, a diferencia de las incandescentes, son más duraderas y consumen menos energía. Los tubos fluorescentes se utilizan en instalaciones industriales, comerciales y públicas. Los tipos de tubo recto más comunes son los T5, T8 y T12, disponibles hasta un largo de 2.5 m. Estos necesitan un balastro para funcionar, mientras que los modelos más antiguos requieren además un arrancador.

Clasificación:

La letra T se utiliza delante del número para indicar que el foco fluorescente es de tipo tubo. Seguido de la letra, se encuentra el número que indica el diámetro del tubo medido en fracciones de 1 pulgada (2.5 cm). El diámetro de los tubos fluorescentes está medido en octavos de pulgada. Por ejemplo, un tubo T5 tiene un diámetro de 5/8 de pulgada (1.62 cm), un tubo T8 tiene 1 pulgada de diámetro, o 8/8, y un tubo T12 tiene un diámetro de 1 pulgada y media, es decir 12/8 (3.8 cm) (Escobedo Izquierdo A., 2013)

* Tipo T12:

Desde su invención en 1930, los tubos fluorescentes T12 son los elegidos por las empresas de construcción. El bajo costo y la duración de 20,000 horas superan ampliamente

a las características de los focos incandescentes. Sin embargo, debido a que su balastro magnético es menos eficaz y el tubo es de mayor tamaño, han perdido popularidad en comparación con los tubos T8 con balastro electrónico. Los tubos T12 y T8 están disponibles en los mismos largos, sin embargo, el T12 común no opera adecuadamente con un balastro electrónico y viceversa. De acuerdo al Consejo Nacional de Iluminación (NLB por sus siglas en inglés), se prohibió la fabricación de balastros magnéticos en julio de 2010, aunque la mercadería en stock y los tubos T12 continúan vendiéndose. La imagen 18 presenta un ejemplo de este tipo de lámpara.



Imagen 18. Luminaria fluorescente T12.
Fuente: Google 2015.

* Tipo T8:

Los tubos fluorescentes T8 continúan aumentando su popularidad desde su introducción en Estados Unidos en 1981 y se convirtieron en los más utilizados en las empresas de construcción. La vida útil del tubo T8 iguala o excede la del T12 y, además, el tubo T8 utiliza menos energía. El tubo T8

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

utiliza un balastro electrónico que tiene menor consumo que el balastro magnético del tubo T12. Debido a que el balastro del tubo T8 utiliza un sistema de circuitos electrónicos, no se oyen zumbidos ni parpadea la luz como ocurre en los tubos T12 con balastros magnéticos. (Lámparas y luminarias, 2014)

Las luminarias fluorescentes T8 son una excelente opción para iluminación de oficinas, escuelas, hospitales, siendo prácticamente utilizada en infinidad de aplicaciones tanto en México como en otros países. Esta tecnología de tubos fluorescentes T8 se encuentra principalmente en 32 watts los cuales miden 1.22 m de largo y 59 watts con medida de 1.82 m de largo los cuales sustituyeron los antiguos tubos fluorescentes T12 tanto de 39 watts y 75 watts. La nomenclatura T8 viene de la palabra T=Tube y 8 lo cual se refiere al diámetro del tubo el cual es medido en octavos de pulgada siendo 8/8" igual a 1 pulgada de diámetro. (Lámparas y luminarias, 2014)

La utilización de balastros electrónicos en las luminarias fluorescentes T8 fomentan el ahorro de energía ya que consumen de línea la potencia nominal de las lámparas a diferencia de los balastros electromagnéticos los cuales tienen pérdidas por inducción lo cual los hace menos eficientes.

Adicionalmente a la ventaja de la utilización de los balastros electrónicos, las lámparas fluorescentes T8 al tener diámetro menor son más eficientes dando mayor cantidad de luz por cada watt consumido, mejor calidad de luz con mejor definición de colores, siendo esta más brillante y clara.

Algunas características son:

- Excelente ahorro de energía, más lúmenes por watt consumido.
- Niveles de iluminación mantenidos a lo largo de la vida de la lámpara.



Imagen 19. Lámpara fluorescente T8. Fuente: Google 2015.

- Diversidad de luminarias como son louver parabólico, acrílico prismático A12 o acrílico envolvente.
- Luminarias de 61cm x 61 cm; 61cm x 122cm para empotrar o envolventes para sobreponer.
- Excelente índice de rendimiento de color arriba de 86% (CRI)
- Duración arriba 20,000 horas.
- Amplia variedad de temperaturas de color.

Temperaturas de color variadas para combinar con otros sistemas de iluminación como lámparas incandescentes y lámparas halógenas. (Lámparas y luminarias, 2014)

* Tipo T5:

El tubo fluorescente T5, como el T8, utiliza un balastro electrónico. Allí termina la similitud entre ellos. El costo de un tubo T5, en especial el de alto rendimiento, es mucho más elevado que el de los tubos T8 y T12. Los tubos T5 son más cortos y no se ajustan a los dispositivos estándar. Por ejemplo, un tubo típico T5 tiene 46 pulgadas (115 cm) de longitud en lugar de 48 pulgadas (120 cm) como los T8 y los T12. Existen a la venta unos sets de conversión, con un balastro, que permiten que los tubos T5 se adapten a los dispositivos para tubos T8 y T12. Con los tubos T5 a la larga se ahorra dinero

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

ya que tienen más vida útil y producen más luminosidad con menos voltaje. El tubo T5 mantiene al máximo su luminosidad durante casi toda la vida útil.



Imagen 20. Luminario fluorescente T5. Fuente: Google 2015.

Las luminarias fluorescentes T5 son la nueva generación de iluminación para naves industriales, oficinas, centros comerciales y tiendas departamentales debido a que ofrecen excelente ahorro de energía en comparación con la iluminación tradicional HID como las lámparas de aditivos metálicos y luminarias de vapor de sodio alta presión. (Lámparas y luminarias, 2014)

Por lo que la última generación de lámparas fluorescentes que revolucionó el mercado de la iluminación debido a la diversidad de aplicaciones en las que se les puede utilizar. La imagen 20 y 21 muestran ejemplos de lámparas de este tipo. La nueva tecnología T5, en donde la "T" es la terminología de *tube* (Tubo en español) y el 5 equivale a 5/8 de pulgada de diámetro, por lo que con el tubo con un diámetro más delgado se eleva la eficiencia de la fuente lumínica dando paso a diferentes aplicaciones. Existen principalmente dos tecnologías para las lámparas Fluorescentes T5, la tecnología estándar y la HO (High Output). (Lámparas y luminarias, 2014)

La tecnología estándar se utiliza principalmente para

sustituir lámparas fluorescentes T8 o tecnologías obsoletas (Lámparas T12 principalmente). La tecnología HO evolucionó la manera de iluminar debido a que se empezó a utilizar en aplicaciones *High Bay* (arriba de los 4 mts de altura) dando lugar a adaptaciones que en el pasado eran exclusivas de las lámparas HID o de alta intensidad de descarga lámparas de vapor de sodio y lámparas de aditivos metálicos). Ahora se puede iluminar con las lámparas Fluorescentes T5 HO naves industriales, tiendas departamentales, centros comerciales y aplicaciones que requieran doble o triple altura con excelentes niveles de iluminación y lo más importantes con consumos de la mitad de lo que se tiene con iluminación tradicional HID.



Imagen 21. Lámpara fluorescente T5. Fuente: Google 2015.

Algunos de los beneficios adicionales de las lámparas fluorescentes T5 es la variación en la tonalidad de color o temperatura de color que se ofrece en las lámparas fluorescentes T5 las cuales van desde los colores cálidos como blanco cálido (3,000K) pasando por blanco frío (4,100K) hasta los colores fríos como luz de día (arriba de los 5,000K). Otra excelente cualidad de esta tecnología de iluminación es su índice de rendimiento de color (CRI) el cual está en el tope de las tecnologías siendo este del (86% arriba)

Características:

- Excelente ahorro de energía, más lúmenes por watt consumido.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

- Niveles de iluminación mantenidos a lo largo de la vida de la lámpara.
- Diversidad de luminarias y arreglos para cualquier aplicación.
- Excelente índice de rendimiento de color arriba de 86% (CRI)
- Duración arriba 20,000 horas.
- Amplia variedad de temperaturas de color.
- Temperaturas de color variadas para combinar con otros sistemas de iluminación como lámparas incandescentes y lámparas halógenas.

* Tecnología LED:

Los tubos T5, T8 y T12 de LED (siglas en inglés de diodo emisor de luz) reemplazan a los tubos que existen en el mercado y se utilizan en los dispositivos para tubos fluorescentes. La tecnología de LED es diferente a la de los tubos fluorescentes con ventajas y desventajas. La mayor desventaja es el precio; cuesta alrededor de 10 veces más. Las ventajas son las siguientes: duran hasta 80,000 horas, utilizan menos energía, operan sin balastos y no contienen el peligroso mercurio que tienen los tubos fluorescentes. Como todo producto nuevo, la reducción en su costo dependerá de la mejora en la tecnología y de la demanda del consumidor. (Lámparas y luminarias, 2014)

Los LED's convierten la electricidad en luz de color de manera más eficiente que las lámparas incandescentes, para la luz roja, su eficiencia es 10 veces mayor. Son robustos y compactos. La intensidad y los colores de luz LED han mejorado por lo que los diodos se utilizan ahora para grandes pantallas. (Ver imagen 22) (Hordeski, 2003, pp. 318-320)

Consumen sólo de 10 a 25 watts, en comparación con los 50 a 150 watts utilizados por un foco incandescente de brillo similar. Este ahorro de energía paga por el mayor costo de un LED en tan sólo un año. Esto debe ser considerado junto con los costos de mantenimiento.

Los LED's blancos de baja potencia con una eficiencia ligeramente mejor que las lámparas incandescentes están disponibles comercialmente, pero los dispositivos de alta potencia adecuados para la iluminación son todavía demasiado caros. En lugar de las lámparas, frágiles, calientes, llenas de gas que se queman con relativa rapidez y gastan la mayoría de su energía en forma de calor, los LED proporcionan luz interior de larga duración, de estado sólido.

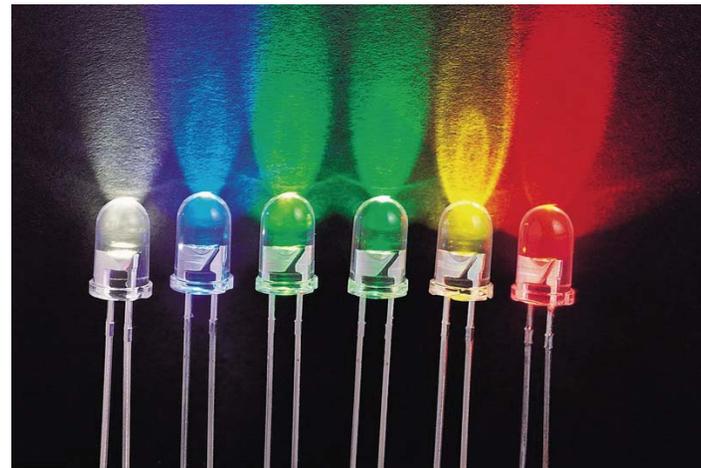


Imagen 22. Tecnología LED. Fuente: Google 2015.

Las lámparas LEDya son el presente y serán la iluminación del futuro sustituyendo a las lámparas fluorescentes T8 dando con esto un cambio en los diseños de las luminarias fluorescentes, debido a que la luz de éstas últimas necesitan de un espacio dentro de la luminaria para que la luz rebote o se refleje internamente para finalmente salir de la luminaria. Este rebote de la luz genera pérdidas en la cantidad de luz que sale de la luminaria, mismas que dependerán principalmente de dos cosas, la primera de cuantas veces la luz rebota de un lado al otro antes de salir de la misma y segundo la capacidad del material o reflector para

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

reflejar la luz que rebota en él.



Imagen 23. Lámpara LED. Fuente: Google 2015.

La forma en como esa luz sale de la luminaria se conoce como la curva fotométrica la cual puede variar de una luminaria a otra, teniendo como consecuencia que luminarias con curva fotométrica diferente iluminen o dirijan la luz de manera diferente.

La tecnología LED dirige la luz de manera directa y concentrada hacia los objetos a iluminar evitando tener esas pérdidas por reflectancia, dando como resultado que con una lámpara de menos watts pueda iluminar igual que con las lámparas tradicionales de mayor potencia. Adicionalmente al ahorro de energía de las lámparas LED, se tiene una tecnología sustentable la cual se basa en crear productos menos contaminantes, ecológicos, eficientes, reemplazables y reciclables. (Lámparas y luminarias, 2014)

Una ventaja que se obtiene al utilizar las lámparas LED es que se tienen menos pérdidas de energía en calor, dando como consecuencia que el consumo eléctrico sea menor que la tecnología convencional de las lámparas fluorescentes, las

cuales adicionalmente al calor que generan los tubos, producen calor de los balastos y esto se traduce que la energía eléctrica en lugar de convertirse en luz se pierde en calor.



Imagen 24. Luminaria LED para oficina. Fuente: Google 2015.

Otra de las grandes ventajas de las lámparas LED es su largo tiempo de vida ya que en su mayoría tienen tiempo de vida promedio de 80,000 horas teniendo con esto una duración de 4 a 5 veces más que la duración de las lámparas fluorescentes convencionales, teniendo como beneficio el costo de las lámparas que se cambiarían, la mano de obra para realizar dichos cambios además de que se disminuye de manera drástica los desperdicios de las lámparas fundidas y nuevamente se apoya a la ecología.

Existe una variedad de medidas, potencias y temperaturas de color en estas lámparas por lo que se puede cubrir casi cualquier aplicación dándole al usuario diferentes alternativas de ahorro de energía. En las imágenes 23 y 24 se presentan dos tipos de lámparas LED que existen en el

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

mercado actualmente.

Características:

- Máximo ahorro de energía eléctrica, en comparación con tecnologías convencionales.
- Máxima durabilidad hasta 80,000 horas.
- Componentes reemplazables en caso de alguna falla.
- Variedad de potencias y medidas para casi cualquier aplicación.
- Variedad en las temperaturas de color para tonalidades tanto cálidas como frías.

3.3. Confort visual con iluminación artificial.

La probabilidad de confort visual (PCV) es una calificación otorgada a una luminaria que indica el porcentaje de personas que se sienten cómodos con la luz y su reflejo.

Hordeski (2003), refiere que una luminaria con una PCV de 80 significa que el 80% de los ocupantes se sienten cómodos con la cantidad de luz de esa luminaria. Un mínimo de 70 PCV está aconsejado para espacios interiores generales, mientras que las luminarias con PCV's por encima de 80 se recomiendan en áreas informáticas y otros entornos intensivos en trabajo. Los ambientes o espacios con alta reflexión se caracterizan por la iluminación o la reflexión excesiva. A menudo, estas áreas brillantes se encuentran alrededor de las luminarias.

El confort visual por medio de la iluminación artificial también se caracteriza por otros aspectos, uno de ellos es la cantidad de iluminación; es la suma de luz proporcionada a un espacio. A diferencia de la calidad de luz, la cantidad de luz es fácil de medir y describir. La cantidad de iluminación está afiliada con watts, lúmenes y candelas.

La calidad de la iluminación es más subjetiva y tiene una gran influencia en las actitudes y acciones de los ocupantes. Los diferentes entornos se crean por un sistema de iluminación. Los usuarios deben ser capaces de ver con claridad y sin reflejos, sombras excesivas o cualquier otro aspecto incómodo de la zona iluminada.

Aunque el comportamiento de los usuarios también depende del diseño de interiores y otros factores, la calidad de la iluminación tiene una influencia crítica. Ésta depende de la uniformidad, resplandor, índice de rendimiento de color y temperatura de color coordinado. Las mejoras en la calidad de la iluminación pueden producir grandes dividendos para las empresas ya que las ganancias en productividad de los trabajadores a menudo resultan cuando se mejora la calidad de la iluminación.(Hordeski, 2003)

El deslumbramiento es causado por objetos relativamente brillantes en el campo de un ocupante de vista. El deslumbramiento es más probable cuando los objetos brillantes se encuentran en frente de los ambientes oscuros. El contraste es la relación entre el brillo de un objeto y su fondo.

La mayoría de las tareas visuales se vuelven más fáciles con mayor contraste, pero el exceso de brillo hace que el deslumbramiento y hace que la tarea visual más difícil. El deslumbramiento es un problema grave, ya que suele causar molestias y reduce la productividad de los trabajadores. Reducir el deslumbramiento se puede lograr mediante el uso de la iluminación indirecta, parabólicos celulares o lentes especiales.(Hordeski, 2003)

A pesar de que estas medidas reducen el deslumbramiento ocasionado por la luminaria, una mejor solución es reducir al mínimo el deslumbramiento por la reducción de niveles de luz ambiente y el uso de técnicas de iluminación de tareas específicas.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

3.4. El control de la iluminación artificial en espacios.

La forma más fácil de controlar y ahorrar energía eléctrica es encender las luces de forma manual cuando sea necesario y antes de salir de la habitación. Sin embargo, para las situaciones más complejas, se necesitan métodos más sofisticados. Al-Shemmeri (2011) explica que con el fin de promover la eficiencia de energía, el control de la iluminación se lleva a cabo por los métodos siguientes:

- * Temporizador: Los temporizadores se establecen para apagar la iluminación para los períodos de inactividad conocida, tales como el final de la jornada de trabajo.
- * Control de luz de día: las luces se apagan, o se atenúan, en función del nivel de luz detectado en una habitación.
- * Control de la ocupación: los sensores detectan el ruido o el movimiento en un área. Los sensores encienden la iluminación cuando hay alguien en la zona y los apagan después de un tiempo si no hay nadie en la habitación.
- * Conmutación local: Aquí, sólo es posible cambiar luces encendidas en la parte de la habitación que está siendo ocupada.
- * El uso de luces de bajo consumo: Las lámparas nuevas y más eficientes de luz utilizan mucha menos energía y duran más que los antiguos focos incandescentes.

Es posible asegurar que el costo de la energía relacionada con la iluminación se mantiene a un mínimo por

un mantenimiento regular, lo que implica la limpieza periódica de los accesorios de iluminación y lámparas.

Hay nuevas formas de reducirlos costos de energía mientras se mantiene la iluminación de calidad para las diferentes instalaciones. Una gran parte de los costos de servicios de las instalaciones se dedican a la iluminación. Innovaciones recientes de luz y los programas de conservación de energía están ayudando a fomentar esta tarea. Con cargas de iluminación reducidas, a menudo se obtienen ahorros de demanda eléctrica.

La iluminación ofrece varias oportunidades de ahorro de energía. Estos incluyen la sustitución de lámparas existentes por otras más eficientes, disminuyendo la potencia (o brillo), la mejora de los controles y el cambio de luminarias y luces de reposicionamiento. El consumo de energía de iluminación se puede reducir y ayudar a ahorrar energía durante el verano.(Al-Shemmeri, 2011, pp. 304-305)

El control de la energía en iluminación tiene tareas básicas, de las que destacan:

- * Identificar la cantidad de luz y la calidad necesaria para realizar las tareas visuales,
- * aumentar la eficiencia de la fuente de luz, y
- * optimizar los controles de iluminación.

Una modernización de la iluminación produce un mejor medio ambiente y también puede pagar por sí mismo a través del ahorro de energía y mantenimiento. Además, las mejoras en la iluminación proporcionan ahorros de costos de muchas maneras; la reducción del uso de energía y la demanda de energía; la reducción de la producción de calor; menores costos del ciclo de vida de la lámpara; menor necesidad de mantenimiento, y el aumento de la seguridad y la productividad.(Capehart, 2011, p. 215)

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

Una importante oportunidad de reducir el consumo de energía es por medio del control de la demanda para electricidad en un tiempo específico. Esto es llamado: “gestión de cargas”. Esto puede permitir una utilidad de electricidad para ofrecer tarifas más bajas de electricidad en momentos particulares del día o del año.

Para Hordeski (2003) las luces existentes pueden ser sustituidas por lámparas de igual intensidad lumínica pero de menor potencia. Esto generalmente significa la sustitución de lámparas incandescentes por las fluorescentes, que pueden resultar en un ahorro energético del 60% o más. La sustitución por fluorescentes normalmente requiere la instalación de un nuevo dispositivo, pero las bombillas fluorescentes más nuevas requieren la misma entrada que las fluorescentes. Así mismo, las lámparas fluorescentes existentes pueden ser sustituidas por otras más eficientes y el ahorro es del 15 al 20% en el consumo de energía.

En la actualidad existen diversas empresas dedicadas a los sistemas de control de iluminación en todo tipo de espacios. La importancia de la gestión y control de la energía eléctrica radica en los ahorros posibles que pueden ser obtenidos.

Cada espacio comercial, ya sea grande o pequeño, puede obtener ahorros de energía mediante la instalación de controles de iluminación. Las opciones de control inalámbrico, fáciles de instalar, proporcionan soluciones retro adaptables rápidas para ayudar a que los edificios cumplan y superen las exigencias de los códigos de energía para edificios, incluso las normas ASHRAE.(LUTRON, 2015)

Los espacios comerciales que están iluminados en exceso, desperdician energía. Los espacios demasiado iluminados también pueden afectar la productividad de los empleados. Incluso las tareas más fundamentales, como trabajar en la computadora, pueden tornarse difíciles o

incómodas de realizar cuando existe demasiada luz natural o eléctrica. Al incorporar iluminación basada en el rendimiento laboral y ofrecer un control personal de la iluminación, las persianas y las cortinas, los espacios comerciales pueden lograr efectos cuantificables en la productividad y la motivación del personal.(LUTRON, 2015)

Los estudios indican que un adecuado control de la iluminación se puede traducir en un aumento del 5 al 10 % en la productividad. Aunque la luz típica está bien para el trabajo de papeleo, por lo general, es dos o tres veces más intensa que la ideal para trabajar en la computadora. Los controles permiten a las personas definir niveles de iluminación para diferentes tareas, en espacios que van desde un cubículo hasta una oficina o una sala de conferencias.

La optimización de la luz natural y eléctrica ahorra energía y genera un ambiente cómodo y productivo. La atenuación prolonga la vida útil de la lámpara y reduce los costos de mantenimiento, que pueden afectar considerablemente la rentabilidad. Los controles de iluminación pueden reducir el costo de volver a configurar el espacio, ya sea para diferentes eventos, otros inquilinos o nuevas distribuciones del espacio. Los sistemas de control de iluminación también pueden informar sobre el consumo y el ahorro energético para disminuir los costos. (LUTRON, 2015)

De acuerdo a Lutron, las estrategias de control de iluminación, como el ajuste, regulación, detección de presencia, aprovechamiento de luz natural, programación y el control automático de cortinas reducen el consumo de energía, conservan recursos naturales y reducen la cantidad de CO₂ liberada a la atmósfera.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

Con este tipo de sistemas de control, se pueden reconfigurar las fuentes de iluminación y cortinas sin modificar el cableado, haciendo que la reconfiguración de un espacio de oficina resulte una tarea simple. Según cambian las necesidades del espacio, los controles inalámbricos de pared, sensores de presencia, y sensores de luz natural pueden reasignarse a diferentes luminarias o grupos de luminarias.

Los espacios comerciales realmente pueden reducir costos operativos al controlar la iluminación. Por ejemplo, cuando The New York Times Company deseaba crear un “ambiente de trabajo motivador” y reducir su consumo energético, eligió estrategias de control de la iluminación. Con el ajuste del nivel de luz, el aprovechamiento de la luz natural y la detección de presencia, la empresa ahorró más del 70 % de la energía destinada a la iluminación y más de \$600,000 dólares en costos de electricidad por año.

3.4.1. El ejemplo del edificio “The New York Times Company”.

La empresa Lutron diseñó un sistema de iluminación basado en controles y sensores de presencia, para lograr un ahorro en energía eléctrica. Para ello se decidió utilizar el sistema denominado *Quantum*.

En un análisis de los datos de todo el año 2009 se demuestra que el sistema *Quantum* sigue permitiendo importantísimos ahorros energéticos, asevera Glenn Hughes, quien actualmente es consultor internacional en asuntos de energía. (LUTRON, 2015)

Hughes afirma que, en función del código vigente de la Ciudad de Nueva York (densidad de energía destinada a iluminación de 1 Watt/pie cuadrado) y en la tarifa de electricidad para edificios comerciales de la ciudad de Nueva York de \$0.18 Watt/hora, la oportunidad de ahorro al utilizar

Quantum es de aproximadamente \$1 por pie cuadrado cada año.

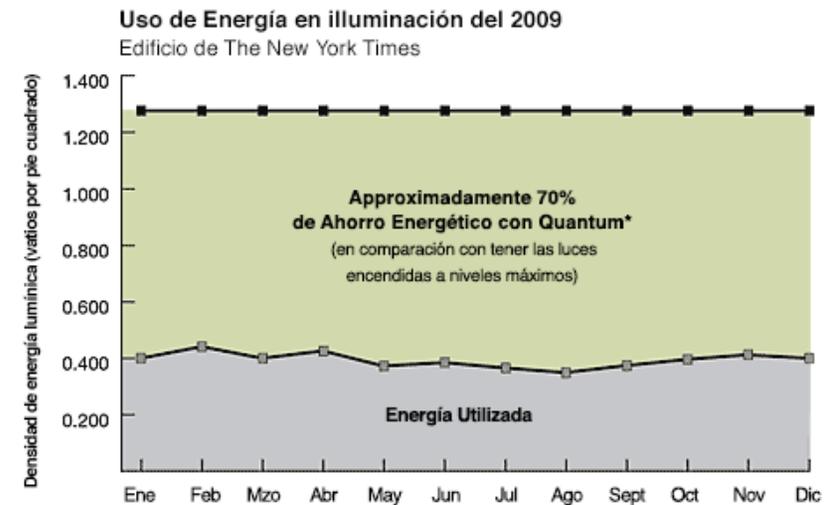


Imagen 25. Uso de energía en iluminación en el edificio del New York Times en 2009. Fuente: Lutron.

Además de estas reducciones de costos, este sistema ayuda a incrementar al rendimiento energético de los sistemas de HVAC. Los niveles de salida radicalmente reducidos del sistema de iluminación se traducen en una menor carga calórica creada por las luces, lo cual, a su vez, significa que el sistema de aire acondicionado funciona menos tiempo y, de esta manera, se reduce aún más el consumo de energía del edificio.

Hughes dice que “el sistema de manejo total de la iluminación representa la oportunidad más grande de ahorrar energía en edificios comerciales, ya sea en proyectos de retro adaptación o en proyectos de construcciones nuevas”.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

Una de las características más importantes del sistema es la sólida base de datos que reúne detalles de rendimiento del sistema en forma continua. Esto permite que el usuario analice y optimice el rendimiento del sistema. Hughes indica que los datos correspondientes al año 2009 que se evaluaron recientemente demuestran un rendimiento coherente con los resultados anteriores. El sistema debutó con tremendos resultados y sigue rindiendo de la misma manera actualmente, a más de dos años de su colocación.(LUTRON, 2015)

La densidad promedio de energía eléctrica destinada a iluminación para todo el espacio de The New York Times Company en el año 2009 fue de 0.396 Watts por pie cuadrado (0.09 m²) La densidad pico de energía eléctrica destinada a iluminación (la peor hora histórica del año 2009) fue de 0.76 Watts por pie cuadrado.

Con estos datos en perspectiva, Hughes dice que este pico representa un rendimiento 40 % mejor que el diseño original. También presenta estos datos a la comunidad de diseño y les pone el reto de diseñar los sistemas de iluminación con niveles muy por debajo de lo que dictan las normas ya que se sabe que es posible, como se puede observar en la eficiencia del edificio. De hecho, el Instituto Estadounidense de Arquitectos (AIA) ha asumido la postura de que, para la próxima década, la arquitectura debería estar influenciada por un diseño basado en evidencias.

Hughes dice que la historia no se limita a analizar únicamente el ahorro energético. Quantum® mejoró radicalmente el ambiente de iluminación en el interior del edificio del The New York Times. Según Hughes, y suponiendo un aumento de tan solo el 1 % en la productividad (una estimación conservadora), a partir de la mejora en el ambiente de iluminación, el sistema Quantum se amortizó en menos de un año. También enfatiza que este valor agregado se mantiene año tras año.(LUTRON, 2015)

Arq. Bethania Hernández Barrera

Para alcanzar un ambiente de conforty comodidad, la empresa contrató a Renzo Piano, y a dos importantes firmas de arquitectura, FXFOWLE, de Nueva York, y Gensler, con sede central en San Francisco.

The New York Times Company también contrató los servicios de diseño de iluminación del SBLD Studio de Nueva York.

El resultado es una deslumbrante torre de 52 pisos con 140,000 metros cuadrados de superficie. El edificio cuenta con una combinación de oficinas y tiendas. Sus principales atributos son los espacios abiertos y las ventanas vidriadas de piso a techo que ofrecen a los ocupantes del edificio amplias vistas de los rascacielos cercanos y, a la inversa, que quienes están afuera del edificio puedan mirar hacia adentro. En la imagen 26 se observa el interior de las oficinas de dicho edificio.(LUTRON, 2015)

Hughes estima que los ahorros en energía en iluminación logrados en el New York Times, se debe principalmente a las siguientes estrategias:

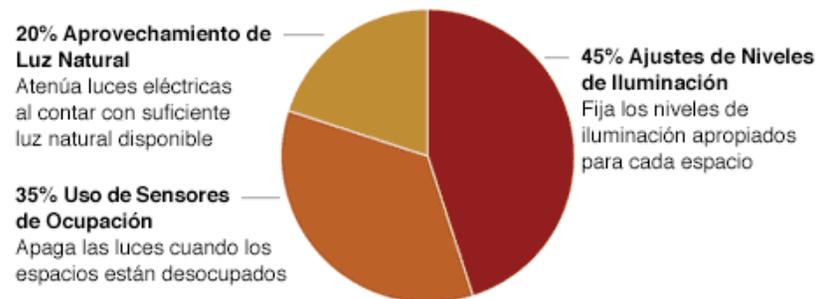


Imagen 26. Estrategias de diseño para el ahorro de energía.
Fuente: Lutron, 2015.

The New York Times Company reconoció la importancia de los controles de iluminación desde el comienzo. Los ejecutivos investigaron las opciones de última generación en controles de iluminación para satisfacer sus

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

deseos paralelos: aprovechamiento de la luz natural y flexibilidad que permita volver a configurar espacios con sencillez.

En última instancia, la investigación quedó a cargo del departamento de tecnologías para edificios del laboratorio nacional Lawrence Berkeley de la Universidad de California. Orientado por el laboratorio Berkeley, el equipo de diseño del proyecto y los fabricantes, The New York Times Company construyó una réplica de la esquina sudoeste de su nuevo edificio en una de sus plantas de impresión de Queens, Nueva York. Durante seis meses, desde el solsticio de invierno hasta el de verano, en la réplica se pusieron a prueba diversas tecnologías y productos de iluminación de distintos fabricantes, incluida una tecnología nueva que acababa de ser presentada por Lutron Electronics Co. Inc.

Las pruebas, sumadas a la respuesta de Lutron en la licitación, convencieron a The New York Times Company de que debían elegir la solución de manejo de la iluminación Quantum® para su espacio de oficinas. Quantum emplea diversas estrategias diferentes, por ejemplo, control fotoeléctrico, control de la ocupación de los espacios, control de puntos de ajuste específicos (ajuste del nivel de luz), control con marcadores de tiempo y control de iluminación de emergencia, para maximizar la comodidad de los ocupantes del edificio y brindar a los propietarios de la empresa la flexibilidad necesaria cuando adaptan sus ambientes de trabajo de acuerdo a los cambiantes requerimientos comerciales. Quantum también tiene software para controlar, supervisar e informar el consumo de energía destinado a iluminación en el edificio.(LUTRON, 2015)

Los sensores de luz día permiten aprovechar al máximo la luz natural que ingresa a un espacio porque ajustan de manera continua e imperceptible los niveles de las luces artificiales de acuerdo a la intensidad de la luz natural. De esta

forma, se mantiene un nivel de iluminación general uniforme de acuerdo a lo establecido para las personas que trabajan en ese espacio.

“Cuando se deja ingresar toda la luz natural, evitar el resplandor era un tema crítico para el cliente”, dijo Attila Uysal, director técnico de Susan Brady Lighting Design Studio, la firma de diseño de iluminación. “La comprometida participación de Lutron desde el comienzo fue invaluable. Comprendieron que la calidad de la iluminación era tan importante como cualquier otro aspecto y fueron capaces de suministrar un sistema de iluminación digital muy sofisticado, junto a un software de control de grandes prestaciones y fácil de usar, que eleva los deseos de los clientes a la enésima potencia. Todos quedaron impresionados”.(LUTRON, 2015)



Imagen 27. Edificio "The New York Times Company". Fuente: Lutron.

Uysal dijo que el esquema de iluminación de cada uno de los pisos se dividió en zonas, cada una con sus propios niveles de iluminación acorde a las necesidades de los

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

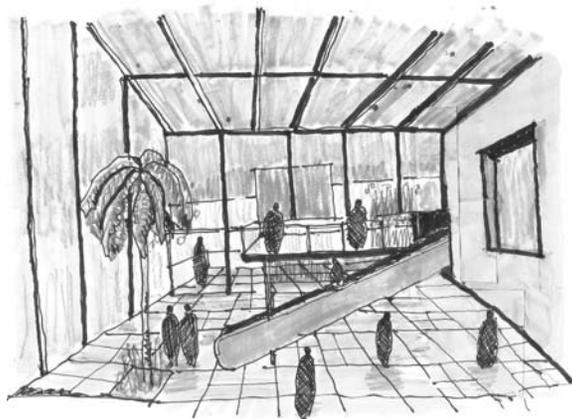
empleados (dependiendo del tipo de trabajo) y a la cantidad de luz natural que ingresaba a ese espacio. Según afirma Hughes, se utilizaron más de 15,000 balastos digitales para lograr ese nivel de precisión. (LUTRON, 2015)

Los ejecutivos de The New York Times Company declaran que aumentaron los niveles de satisfacción de los empleados. La iluminación es un componente vital de cualquier proyecto de construcción, y es uno de los instrumentos de forma y función preferidos de los arquitectos que diseñan un espacio. Revela volumen, el área y las ideas de escala, así como permite que los ocupantes de un edificio interactúen con su ambiente. De esta manera, tiene un efecto sobre los niveles de comodidad de los trabajadores y, por ende, su productividad. Sin embargo, cualquier propietario u ocupante de un edificio puede atestiguar que esta función viene acompañada por un precio elevado: el costo de la electricidad. (LUTRON, 2015)

Este es un ejemplo importante de los ahorros que se logran al combinar la tecnología con el aprovechamiento de la luz natural. Lo ideal sería poder realizar inversiones en los edificios públicos que lleven de la mano la búsqueda por el aprovechamiento de los recursos naturales, cuando no es así, lo necesario es proponer estrategias arquitectónicas que sean económicas, así como el reemplazo paulatino de la tecnología obsoleta por la ahorradora.



Imagen 28. Edificio "The New York Times". Vista nocturna.
Fuente: Lutron.



Capítulo 4.

ANÁLISIS ENERGÉTICO Y ARQUITECTÓNICO. CASO DE ESTUDIO: OFICINAS PÚBLICAS DEL DISTRITO FEDERAL.

Capítulo 4. ANÁLISIS ENERGÉTICO Y ARQUITECTÓNICO. CASO DE ESTUDIO: OFICINAS PÚBLICAS DEL DISTRITO FEDERAL.

Como ya se mencionó, la presente investigación tiene como objetivo principal la estimación del ahorro de energía que se puede obtener al reducir el consumo de iluminación artificial, por el de la luz natural, considerando que dicha luz natural es eficaz en el interior de las oficinas.

Como el estudio está enfocado particularmente a los edificios de oficinas gobierno de la Ciudad de México, se recurrió a la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), con el propósito de obtener información de los diagnósticos energéticos (DEN), así como del análisis de la NOM-008-ENER-2001. Dicha institución accedió a proporcionar esta información, como impulso a la búsqueda de otro medio de disminución del gasto energético que representa el sector público dentro del país.

A la fecha existen un sinnúmero de estudios a nivel mundial, sin embargo en este país, se sabía que había un ahorro por el uso de luz natural, pero no se sabía cuál es el porcentaje.

Para poder obtener el potencial de ahorro de energía en iluminación en los edificios del Distrito Federal, era

necesario establecer casos de estudio que fungieran para determinar una línea base y conocer el estado energético y arquitectónico de los inmuebles públicos de la Ciudad de México.

La exploración de los diagnósticos se usó para poder determinar estudios caso y el estudio de la norma, para ubicar las áreas de fachadas acristaladas. Es necesario mencionar que el análisis de esta norma es importante únicamente porque indica los metros cuadrados de fachadas acristaladas de cada uno de los inmuebles, la fase térmica no se está estudiando en el presente documento.

Con el objetivo de ordenar y facilitar la investigación, se planteó un método que se describe a continuación, el cual se encuentra dividido en cuatro partes principales:

- la primera es la referida a la obtención y análisis de la información de los inmuebles;
- la segunda está compuesta por el análisis arquitectónico y energético de los edificios, en donde se obtuvo el potencial de ahorro de energía;
- la tercera es la referente al análisis de las mediciones el interior y en el exterior de los espacios arquitectónicos y disponibilidad de luz natural para comprobar que realmente esta luz es eficaz en el interior de los espacios;
- y finalmente una cuarta parte, en donde se presentan los resultados derivados de los análisis mencionados de iluminación natural y artificial.

En la imagen 29 siguiente se muestra esquemáticamente el método y en tabla 7 se presenta un resumen de las etapas de este método.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**



Imagen 29. Método para la obtención del potencial de ahorro de energía por uso de luz natural.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

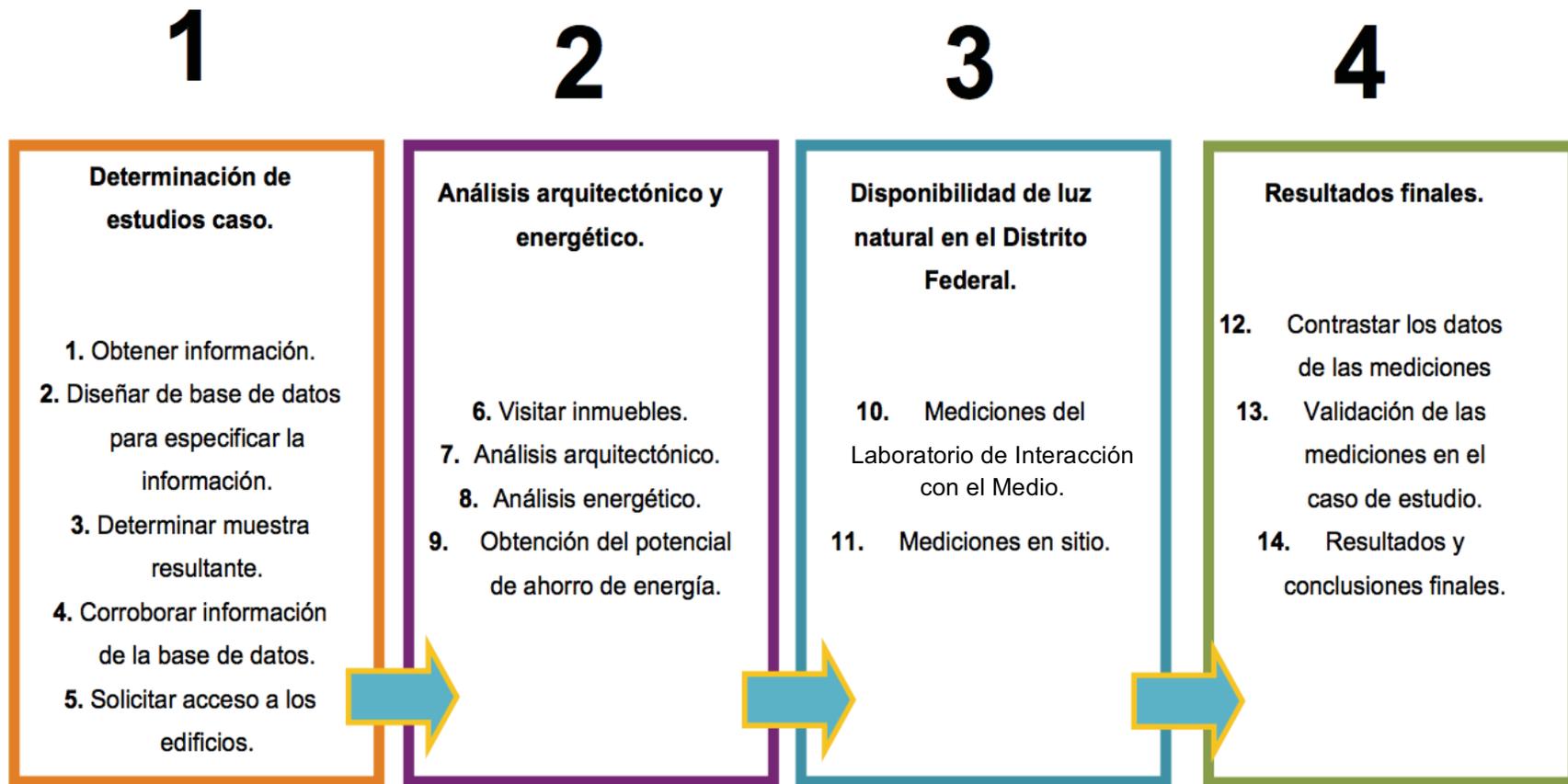


Tabla 7. Etapas llevadas a cabo en el método.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

4.1. Determinación de casos de estudio.

La CONUEE proporcionó ambos análisis de diferentes edificios en todo el país, 21 en total; por lo que se diseñó una base de datos, para exponer y separar los datos que estaban incluidos en los dictámenes de la norma y los diagnósticos.

Es necesario explicar brevemente que el diagnóstico energético (DEN) (o auditoría energética) es un medio para conocer el uso de energía dentro de los edificios. Una auditoría puede señalar cuando el equipo está funcionando innecesariamente o de forma derrochadora. Ayuda a desarrollar procedimientos operativos para reducir el desperdicio de energía y cuantificar el costo.

La auditoría también permite que se establezcan prioridades y ayuda a identificar los problemas que requieren nuevos procedimientos para reducir los costos. (Hordeski, 2003, p. 281)

En el diagnóstico energético se determina en dónde se encuentra el mayor consumo de la energía, para encontrar oportunidades de ahorro, que al ser aplicadas se traducirán en beneficios económicos para la "empresa". La magnitud de estos beneficios económicos no depende necesariamente del nivel de inversión de capital. En muchos casos, un mayor ahorro se hace utilizando a través de la aplicación de medidas "sin costo" o bajo costo. (Beggs, 2009, p. 142)

Retomando la descripción de la base de datos realizada, ésta describe el nombre de la dependencia, la dirección, la ciudad, el tipo de uso, el número de pisos del inmueble, si es un edificio único o un conjunto de edificios, los metros cuadrados construidos, el número de personas que laboran, el horario de operación y el número de horas de operación.

En lo referente a este último punto es importante mencionar que se medirán las horas en las que hay personal laborando cuando haya luz diurna. Estas horas estarán determinadas en la validación de la disponibilidad de la luz natural.

Así también, describe los datos del análisis de la NOM-008-ENER-2001, en donde se especifica la ubicación del inmueble, el material de la envolvente, los metros cuadrados de la envolvente, los metros cuadrados de domos o tragaluces en el techo; metros cuadrados de ventana en fachada norte, sur, este y oeste; el total de área de ventanas.

Y finalmente se exponen los datos del diagnóstico energético realizado del edificio. En este apartado se incluyen: la tarifa contratada, la región, la demanda contratada, la demanda promedio facturable, el consumo anual total de facturación, la facturación eléctrica promedio anual, el consumo anual en medición, así como la cantidad de motores, refrigeradores, misceláneos, equipos de cómputo, luminarias, así como otro tipo de instalación.

En esta base se depuró información hasta determinar los estudios caso con base en dos criterios principales: que estuvieran en la Ciudad de México y que fueran edificios individuales y no en conjunto; en conclusión se establecieron **cinco** edificios como casos de estudio.

Al comenzar con el análisis del diagnóstico energético y de la norma en los cinco inmuebles, se observó que faltaba información específica de las áreas a estudiar, por lo que era necesario realizar una exploración particular de cada uno de los inmuebles. Se determinó que era preciso recorrer cada uno de los edificios de la muestra final, para observar físicamente las características arquitectónicas y lumínicas de cada uno de ellos. Estas etapas son la evaluación arquitectónica y la energética.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

La primera es importante porque forma parte de la arquitectura, el diseño de los edificios y el estado actual de cada edificación. En ella se revisaron las fachadas con alto potencial de utilización de la luz del sol y las áreas en las que hay incidencia de luz natural.

Se obtuvieron metros cuadrados totales de ventanas, que fueron comparados con el total de la envolvente, de acuerdo al dictamen proporcionado de la NOM-008; las áreas (en planta) de oficinas y/o espacios en las que hay un incidencia directa de luz solar; los espacios de domos que se encuentran colocados directamente en espacios laborales (cubículos, oficinas, áreas comunes, etc.) y la orientación de las fachadas en las que hay incidencia de luz solar, para saber en dónde hay mayor aprovechamiento de la luz. Además de que estas orientaciones brindan parámetros para poder establecer estrategias a futuro en una siguiente investigación.

VARIABLES "ARQUITECTÓNICAS" ANALIZADAS
MATERIAL DE LA ENVOLVENTE
TECHO (DOMO) M ²
M ² DE ENVOLVENTE ACRISTALADA
M ² DE ENVOLVENTE TOTAL
DIFERENCIA M ² DE ENVOLVENTE SOLIDA
M ² TOTALES DEL EDIFICIO
M ² DE CUBICULOS CON LUZ NATURAL
ORIENTACIÓN

La siguiente parte, la energética, también es fundamental; ya que arrojó los datos del uso de la energía en cada edificio, así como el consumo generado por la

iluminación artificial, la tecnología instalada en los espacios en donde hay incidencia de luz natural, además de las propuestas para el ahorro de energía. Se obtuvo el consumo de iluminación artificial en áreas donde hay acceso de luz natural; se determinaron los kWh que se consumen en cada espacio y las horas en las que se encuentran encendidas. Con estos aspectos se determina el consumo final en iluminación por espacio durante un periodo diario y mensual.

VARIABLES "ENERGÉTICAS" ANALIZADAS
LUMINARIAS POR FACHADA
LUMINARIAS TOTALES
TECNOLOGÍA INSTALADA
CONSUMO TOTAL
CONSUMO EN ÁREAS CON INCIDENCIA DE LUZ NATURAL
HORAS DE UTILIZACIÓN DE LA ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

Además de esto, se identificó el consumo generado por iluminación artificial en las fachadas identificadas en la evaluación arquitectónica, y el potencial de sustitución de dichas luminarias por la luz natural, para posteriormente validar que en efecto esta luz es la correcta en el interior de los espacios. Estos resultados se aplicaron para poder determinar las horas en las que no es necesaria la utilización de iluminación artificial, de acuerdo al horario en el que hay luz en el exterior.

Para este último punto se recurrió al análisis de las mediciones del LIM (que funciona en vinculado con Observatorio de Radiación Solar del Instituto de Geofísica de esta Universidad). Se estudió una semana en abril y una semana en noviembre (primavera y otoño) para poder

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

comparar los niveles lumínicos en dos épocas y con estaciones opuestas, además de mencionar que existen diferentes horarios en estas fechas (horario de verano y horario de invierno) y se determinó con estas mediciones, que existen entre 8 y 10 horas con iluminación natural con los niveles mínimos que solicita la NOM-025 (300 luxes) (ver gráficas 4 y 5 de la presente tesis)

Debido a la variabilidad de la luz natural y derivado de dicho análisis se estableció que **8 horas** son óptimas para utilizar la luz natural, por lo que se relacionaron con el consumo en iluminación de cada edificio.

En lo referente a este consumo, este se determinó en dos partes, el primero es por 12 horas, que son el total de las horas laborables de acuerdo a lo comentado con el personal.

El segundo aspecto es solo por 4 horas, ya que como se mencionó recientemente, existen 8 horas de luz natural aprovechables en promedio. Por lo que estas 4 horas son las únicas en las que se estableció que sería necesario el uso de la iluminación artificial. La diferencia permitió establecer los potenciales de ahorro de energía por el uso de iluminación natural, por lo que en los siguientes análisis se presentan esta diferencia entre consumos; y posteriormente se realizaron las mediciones en uno de los caso de estudio para comprobar que efectivamente esta luz es eficaz y cumple con la normativa.

4.2. Descripción de casos de estudio: Análisis arquitectónico y energético de los edificios.

Como ya se ha citado a lo largo de la investigación, los casos de estudio se encuentran ubicados en la Ciudad de México. Todos son oficinas dependientes de Gobierno Federal, y todas han sido sometidas a estudios sobre energía y envolvente por

parte de la CONUEE. Por cuestiones de privacidad no se mencionará el nombre de las instituciones.

A continuación se describirán de manera general cada uno de estos inmuebles, para explicar las características arquitectónicas y energéticas destacadas.

4.2.1. Edificio no. 1.

a) Análisis arquitectónico:

El primer edificio se encuentra ubicado en la Delegación Cuauhtémoc del D.F., su horario de operación es de 8 a 20 horas. Cuenta con un total de 10,526 m² distribuidos en 6 niveles y un estacionamiento. El número de usuarios es de 902 personas, laborando en horarios simultáneos. Cabe destacar que posterior al horario laboral, el edificio continúa iluminado en gran parte, por cuestiones de seguridad.

En lo que respecta a la envolvente arquitectónica, ésta se encuentra conformada por acero, hierro, concreto y vidrio. Éste último tiene una película que limita la transferencia de calor. Los metros cuadrados totales de la envolvente son: 6858 m²; los metros de área de ventana son 1,719.96 m², por lo que el porcentaje entre área de cristal comparada con el área sólida es del 25%

En cuanto a los materiales en el interior, es preciso mencionar los que predominan en las áreas, siendo estos:

Plafón de tablaroca color blanco, muros divisorios de tablaroca de color blanco, loseta cerámica color beige, loseta vinílica en colores blanco y beige. En el caso de áreas con cancel, este es de aluminio con vidrio transparente y la mayoría de estas oficinas tienen persianas corredizas en las ventanas.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**



Imagen 30. Interior de una oficina típica en el edificio 1.



Imagen 31. Fachada principal del caso de estudio.

En cuanto a los espacios en donde hay incidencia de luz natural, el edificio tiene un 33% de áreas en donde hay incidencia de luz natural, comparado con el total de metros cuadrados del edificio. Y un total de 1719.96 m² de ventana (ver tabla 8)

MATERIAL DE LA ENVOLVENTE	TECHO (DOMO) M2	VENTANAS FACHADA NORTE M2	VENTANAS FACHADA SUR M2	VENTANAS FACHADA ESTE M2	VENTANA FACHADA OESTE M2	TOTAL AREA DE VENTANAS (M2)
ACERO, FIERRO, VIDRIO, CONCRETO	0	428.20	164.26	293.82	833.68	1,719.96

Tabla 8. Datos de la envolvente del edificio 1.

b) Análisis energético:

Tal y como se explica en la parte metodológica, se realizó un levantamiento de cada espacio de los edificios, en donde lo más importante era determinar el número de luminarias instaladas en los cubículos ubicados en fachadas, así como los consumos por día y mes, para identificar cuáles eran las zonas con potencial de ahorro en iluminación.

En la tabla 9, se especifican el total de luminarias que están instaladas en las fachadas que tienen incidencia de luz solar. En este caso son 623 en total.

LUMINARIAS EN FACHADA NORTE (7 M)	LUMINARIAS EN FACHADA SUR (7 M)	LUMINARIAS EN FACHADA ESTE (7 M)	LUMINARIAS EN FACHADA OESTE (7 M)	TOTAL DE LUMINARIAS EN FACHADAS ACRISTALADAS
173.00	59.00	87.00	304.00	623.00

Tabla 9. Luminarias instaladas en fachadas con aportación de luz natural.

En cuanto al consumo del edificio, se determinó que de acuerdo al levantamiento, el consumo mensual por 12 horas

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

(únicamente en iluminación) es de 5,665.68 kWh/mes. Mientras que por 4 horas es de 1,888.56 kWh/mes, y finalmente el consumo en iluminación en el total del edificio y determinado por el resultado del DEN es de 12,501 kWh/mes.

Se puede decir que la tecnología instalada es eficiente, sin embargo aún existe potencial de ser sustituida y generar otros ahorros, como se aprecia en la imagen 32. Esta tecnología predominante es la siguiente:

T8 2x17 W, curvalum 2x32 W, fluorescente lineal T8 2x17 W, T8 2x32 W, compacta de 1x13 W, de vapor de sodio de 250 W, fluorescente lineal T8 1x32 W, halógena de 35 W, incandescente 100 W, lineal de T12 2x75 W, lineal T8 1x59 W.

4.1.2. Edificio no. 2.

a) Análisis arquitectónico:

El edificio se encuentra ubicado en la delegación Coyoacán, su horario de operación es teóricamente de 8 a 18 horas, sin embargo hay personal que permanece hasta las 21 horas. Los metros totales construidos son 2,217.328 m² y el número de usuarios es de 54.



Imagen 32. Tecnología instalada en el interior.

En cuanto a la envolvente, los materiales que predominan son el concreto, el acero y el alucobond. Los metros cuadrados totales de la envolvente son 1566.11, y los metros de cristal, 363.60, por lo que existe un 23% de cristal con respecto a la fachada sólida, como lo indica la tabla 10.

Los materiales en el interior que predominan son: cancel de cristal templado para las divisiones entre cubículos, plafón de tablaroca blanco, alfombra de color gris claro, y zonas con loseta cerámica color beige. Existe un domo en el centro que permite gran incidencia de luz en los espacios. En la azotea se encuentra el comedor, mismo que también cuenta con espacio acristalado.

MATERIAL DE LA ENVOLVENTE	TECHO (DOMO) M2	VENTANAS FACHADA NORTE M2	VENTANAS FACHADA SUR M2	VENTANAS FACHADA ESTE M2	VENTANAS FACHADA OESTE M2	TOTAL AREA DE VENTANAS (M2)
CONCRETO, VIDRIO, ALUCOBOND	42.15	125.21	159.19	0.00	37.05	363.60

Tabla 10. Datos de la envolvente del edificio 2.

En cuanto a las áreas en donde hay incidencia de luz natural, el edificio tiene un 39%, comparado con el total de metros cuadrados del edificio.

En la imagen 33 se observa un interior de esta oficina, las luces se encuentran



Imagen 33. Oficina en el interior del edificio 2.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

apagadas, las cortinas abiertas; por lo que se está aprovechando la luz natural. En la imagen 34 se presenta la fachada principal de este caso de estudio y se aprecia que está acristalada. En la imagen 35 se ve el domo que está en el interior y en el centro del inmueble, así como las fachadas interiores que también son acristaladas; por lo que éstas áreas también tienen potencial de ahorro de energía.



Imagen 34. Fachada principal del caso de estudio.



Imagen 35. Domo en el interior del edificio.

b) Análisis energético:

En la tabla 11, únicamente se especifican el total de luminarias que están instaladas en las fachadas que tienen incidencia de luz solar. Dando un total de 140.

En el aspecto del total del consumo, nuevamente se determinó por 12 horas y por 4 horas, para encontrar las diferencias en donde existe luz natural. La validación y las mediciones en el interior serán de suma importancia para comprobar dichas horas luz natural. Para 12 horas se encontró que el consumo es de 1,314.96 kWh/mes; para 4 horas es de 438.32 kWh/mes y finalmente el consumo en iluminación de acuerdo al DEN es de 2792.40kWh/mes.

La tecnología instalada en este edificio es:

Con el levantamiento realizado se contabilizaron un total de 456 luminarias instaladas en el edificio; de las cuales 140 se encuentran donde hay fachadas acristaladas (ver tabla 11). Se identificaron que en su mayoría son luminarias T5 3x14 representan el 46%, posteriormente se encuentran las lámparas compactas fluorescentes de 13W, después las luminarias T8 1x32, las dicroicas de 50W, lámparas compactas fluorescentes de 16 W y 17 W, T5 3x28 W y por

LUMINARIAS EN FACHADA NORTE (7 M)	LUMINARIAS EN FACHADA SUR (7 M)	LUMINARIAS EN FACHADA ESTE (7 M)	LUMINARIAS EN FACHADA OESTE (7 M)	TOTAL DE LUMINARIAS EN FACHADAS ACRISTALADAS
63	77	0	0	140

Tabla 11. Luminarias por fachadas con incidencia de luz natural.

último las T12 2x40 W, las Dicroicas de 75 W y LED.

Debido a que el mayor porcentaje de las luminarias son T5 3x14 W, la tecnología instalada en el edificio es eficiente.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

Las imágenes 36,37 y 38 corresponden al tipo de luminarias instaladas en este inmueble.



Imagen 36. Tecnología instalada.



Imagen 37. Luminarias T5 3x28 W



Imagen 38. Luminarias T5 3x14 W

4.2.3. Edificio no. 3.

a) Análisis arquitectónico:

El tercer caso de estudio se encuentra ubicado en la delegación Tlalpan. Tiene 5,755.89 m² distribuidos en 11 niveles.

En cuanto al horario de operación, éste es de 7 a 23 horas, sin embargo, la hora de entrada y salida entre los usuarios es aleatoria. El personal de mantenimiento comenta que este edificio permanece encendido la mayor parte del día. Por cuestiones de homogenización, se tomarán 12 horas como operación del mismo.

La envolvente está conformada por los siguientes materiales: cristal, tabique, concreto, quiebravistas de aluminio, principalmente. El cristal no tiene ningún tipo de tratamiento especial. En la imagen 39 se observa la fachada principal (en donde está el quiebravistas) y la fachada posterior de este edificio.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**



Imagen 39. Fachada principal.

En cuanto a los materiales en el interior, predomina el plafón de tablaroca en color blanco, los muros divisores de las áreas son también de tablaroca en color blanco. En algunos pisos, los muros están pintados en color salmón. El piso es principalmente de loseta cerámica color beige, aunque también hay áreas en las que hay duela de madera y en otras se puede encontrar loseta vinílica en colores claros.

MATERIAL DE LA ENVOLVENTE	TECHO (DOMO) M2	VENTANAS FACHADA NORTE M2	VENTANAS FACHADA SUR M2	VENTANAS FACHADA ESTE M2	VENTANAS FACHADA OESTE M2	TOTAL AREA DE VENTANAS (M2)
CRISTAL, TABIQUE, CONCRETO, QUIEBRAVISTA DE ALUMINIO.	75.00	527.43	757.44	43.25	97.33	1,500.45

Tabla 12. Datos de la envolvente del edificio 3.

El total de área acristalada, esta es de 1500 m², comparada con la envolvente total que es de 3570 m², el porcentaje de cristal es del 42% (tabla 12)

Una característica especial de este inmueble es que tiene una celosía tipo quiebravistas en la fachada principal (sur), que a su vez permite el paso de la luz, pero de manera tenue.

Es importante mencionar que en este edificio se realizarán las mediciones, dada la cercanía al Instituto de Geofísica, además de que dicha celosía establece un panorama menos favorable en cuanto a la transmisión de luz natural, por lo que resultará importante observar si la luz en el interior es realmente eficiente.

En el aspecto de las áreas en donde hay incidencia de luz natural, se puede determinar que hay un 55%

b) Análisis energético:

En este apartado nuevamente se presenta el total de luminarias en las áreas de fachadas. Y posteriormente se ubican las que se encuentran en fachadas con cristal.

Se identificó que existen 487 luminarias ubicadas cercanas a las fachadas, como se explica en la tabla 13. En cuanto al consumo, este es de 7,826.88 kWh/mes, tomando en cuenta 12 horas diarias de operación del inmueble. Y de 2,608.96 kWh/mes por únicamente 4 horas de iluminación.

LUMINARIAS EN FACHADA NORTE (7 M)	LUMINARIAS EN FACHADA SUR (7 M)	LUMINARIAS EN FACHADA ESTE (7 M)	LUMINARIAS EN FACHADA OESTE (7 M)	TOTAL DE LUMINARIAS EN FACHADAS ACRISTALADAS
194	264	6	23	487

Tabla 13. Luminarias en áreas de fachadas.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

Finalmente, la tecnología que se encuentra instalada es la siguiente:

T8 2x32 W y T5 3x28 W, dicroica de 50 W, incandescente de 60 W e incandescente de 65 W.



Imagen 40. Interior del caso de estudio 3.



Imagen 42. Luminaria T8 2x32



Imagen 41. Luminario T5 3x28.

4.2.4. Edificio no. 4.

a) Análisis arquitectónico:

El cuarto caso de estudio se ubica en la delegación Tlalpan. El número de personas laborando en este edificio es de 250. Tiene un horario de operación de 9 a 18 horas, que se extienden hasta 12 horas diarias, por lo que se considerará este dato. El total de metros cuadrados es de 3,374 distribuidos en dos niveles.

Los materiales principales de la envolvente son: concreto y vidrio; éste último tiene una película de filtrasol. El área total de ventanas es de 711.77 m², lo cual representa el 15% del total de la envolvente (tabla 14)

Los materiales del interior son plafón de tablaroca blanco, muros divisores de tablaroca blanco, loseta cerámica y/o vinílica en colores blanco y beige. En algunas áreas del inmueble, hay cancelas de aluminio como divisores de las áreas.

MATERIAL DE LA ENVOLVENTE	TECHO (DOMO) M2	VENTANAS FACHADA NORTE M2	VENTANAS FACHADA SUR M2	VENTANAS FACHADA ESTE M2	VENTANAS FACHADA OESTE M2	TOTAL AREA DE VENTANAS (M2)
CONCRETO, VIDRIO CON FILTRASOL	87.65	70.50	124.59	266.91	162.12	711.77

Tabla 14. Materiales de la envolvente.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

El porcentaje de áreas con incidencia de luz natural es del 36%, por lo que se puede observar que hay un alto potencial de aprovechamiento de este recurso.

LUMINARIAS EN FACHADA NORTE (7 M)	LUMINARIAS EN FACHADA SUR (7 M)	LUMINARIAS EN FACHADA ESTE (7 M)	LUMINARIAS EN FACHADA OESTE (7 M)	TOTAL DE LUMINARIAS EN FACHADAS ACRISTALADAS
22	40	141	85	288

Tabla 15. Luminarias totales en el caso de estudio.

Como se observa en las imágenes 43 y 44, los interiores de oficinas cuentan con distintos tipos de cortinas. En este caso, a pesar de dichas cortinas, se puede advertir que hay incidencia de luz solar.

b) Análisis energético:

Los aspectos encontrados en este estudio caso son los siguientes:

El total de luminarias en fachadas es de 591. Lo que representa una demanda de 29.42 kW y un consumo diario de 353.09 kW/hr.

En las fachadas acristaladas hay 288 luminarias (tabla 15), que representan un



Imagen 44. Interior del caso de estudio.



Imagen 43. Espacio interior del caso de estudio.

consumo de 4,982.40 kWh/mes por 12 horas diarias. El consumo mensual en iluminación total del edificio de acuerdo al diagnóstico energético es de 8544 kWh/mes.

La diferencia que se obtenga entre el consumo lumínico por 12 horas y el consumo por 4 horas, determinará los ahorros de energía. En cuanto a la tecnología instalada, predomina:

- T8 2x32 W, T8 2x17 W,
- Curvalum 2x28 W,
- Fluorescente 2x13 W, T5 3x14 W,
- T5 3x28 W,
- Halógena 50 W, Halógena 500 W, Led 18 W, Led 40 W.



Imagen 45. Domo ubicado en el estudio caso.



Imagen 46. Tecnología instalada.



Imagen 47. Luminario instalado.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

La fotografía 45 muestra el domo principal del edificio, que se ubica en el centro del inmueble. En la imagen 46 y 47 hay dos tipos de luminarias de las que se encuentran instaladas en este caso de estudio.

4.2.5. Edificio no. 5.

a) Análisis arquitectónico:

La ubicación del edificio no. 5 es en la Delegación Cuauhtémoc. El horario en que se encuentra operando este edificio es de 5:30 a 22 horas, sin embargo el horario laboral es de 8 a 18:30 horas. Por lo que al igual que con los otros casos de estudio, se determinan 12 horas en promedio para obtener los consumos lumínicos en estos edificios.

En este edificio es importante mencionar que solo se analizó un nivel, debido a que es único ocupado por la institución gubernamental. Este nivel tiene 1,165 m²construidos, de los cuales 188.85 m²tienen incidencia de luz natural. Lo que representa el 16% del total del área construida. Esto se debe a que de las cuatro fachadas del edificio, solo dos tienen área de ventana, mientras que en las otras dos fachadas existen colindancias.

El aspecto de los materiales se resume en la tabla 16.

MATERIAL DE LA ENVOLVENTE	TECHO (DOMO) M2	VENTANAS FACHADA NORTE M2	VENTANAS FACHADA SUR M2	VENTANAS FACHADA ESTE M2	VENTANAS FACHADA OESTE M2	TOTAL AREA DE VENTANA (M2)
CONCRETO, VIDRIO	0.00	31.95	55.35	0.00	0.00	87.30

Tabla 16. Materiales de la envolvente (edificio 5)

Se observa que hay poca área de ventana, por lo mencionado en párrafos anteriores. Los materiales principales son el concreto y el vidrio.

Los materiales en el interior son en su mayoría: plafón de tablaroca color blanco, cancel de vidrio transparente, muros de tablaroca de color blanco, alfombra de color beige. Solo hay un 3% de área con cristal.

b) Análisis energético:

En el aspecto energético se observa que el total de luminarias en fachadas es de 54. En este edificio no se accedió a todas las áreas en fachadas, por lo que únicamente en este caso de estudio, solo se obtuvieron las luminarias instaladas en fachadas acristaladas, por lo que la información se repetirá en ambas tablas.

LUMINARIAS EN FACHADA NORTE (7 M)	LUMINARIAS EN FACHADA SUR (7 M)	LUMINARIAS EN FACHADA ESTE (7 M)	LUMINARIAS EN FACHADA OESTE (7 M)	TOTAL DE LUMINARIAS EN FACHADAS ACRISTALADAS
18.00	36.00	0.00	0.00	54.00

Tabla 17. Luminarias en fachadas acristaladas.

En los consumos de iluminación, se determinó que por 12 horas diarias al mes, hay un consumo de 415.92 kWh/mes. De acuerdo al diagnóstico energético realizado, hay 3,226.57 kWh/mes únicamente en iluminación; dicha información servirá como parámetro para establecer los ahorros de energía.

Es preciso mencionar que este edificio cuenta con tecnología de alta eficiencia, sin embargo esto no descarta que se pueda utilizar y

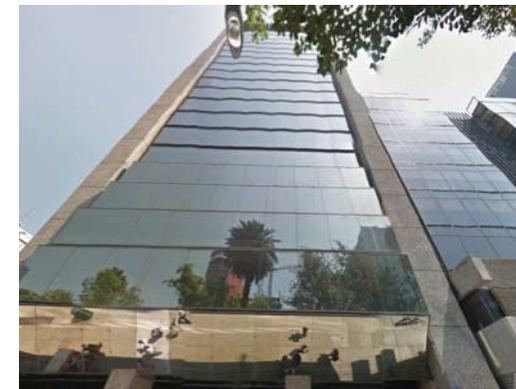


Imagen 48. Fachada principal edificio 5.

Arq. Bethania Hernández Barrera

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

aprovechar la iluminación solar como otra forma de ahorro. Además de la alta disponibilidad existente en el Distrito Federal.

La tecnología instalada es: T8 2x32 W Curvalum, T8 2x59 W, Led Spot 4.5 W, Led Spot 10 W, Fluorescente 13 W. (Ver imágenes 49 y 50)



Imagen 49. Interior del edificio 5.



Imagen 50. Interior del edificio 5.

4.3. Resumen de la descripción de los casos de estudio.

Derivado del análisis individual de los casos de estudio, y con el objetivo de establecer relaciones entre los materiales del exterior, del interior y las características constantes en la arquitectura, así como de los aspectos energéticos de consumo y demanda en cada inmueble, se realizó un resumen en donde se engloban las características que se analizaron en el apartado anterior.

Es importante haber identificado cuáles son estas tipologías porque servirán de parámetro para poder plantear estrategias arquitectónicas y de tecnología en cada edificio a futuro.

EDIFICIO	CIUDAD	USO	HORARIO	HR DE OPERACIÓN	NO. DE PISOS
1	D.F.	OFICINAS	8-20 HRS	12	6
2	D.F.	OFICINAS	9-18 HRS	12	2
3	D.F.	OFICINAS	7-23 HRS.	12	11
4	D.F.	OFICINAS	9-18 HRS	12	2
5	D.F.	OFICINAS	9-20 HRS	17	1

Tabla 18. Resumen de datos generales de los casos de estudio.

En primer lugar se muestran los datos generales de los estudios caso (tabla 18) Todos se encuentran en el Distrito Federal y el uso es de oficinas. Los horarios de operación son de 8 a 12 horas en promedio, ya que en algunos se extienden las actividades por un periodo más largo. Para esta investigación se tomaron como promedio 12 horas para poder homogeneizar los consumos.

En la tabla no. 19, se observan las características de materiales y de las envolventes de acuerdo a la NOM-008-ENER-2001 y al levantamiento realizado en sitio. En este

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

punto es importante mencionar que en el caso de dos edificios (2 y 5) no se tiene comparativa entre el levantamiento y el análisis proporcionado de esta norma, porque no existían datos completos de la norma (esta fue otra de las razones que motivó a hacer el levantamiento individual de los inmuebles)

Se reparó que existen diferencias entre los datos de la norma 008 y los que se recabaron durante el levantamiento, por lo que para los resultados, se tomaron los datos de este último, ya que se tiene mayor certeza.

En cuanto a los porcentajes de superficie acristalada con respecto al de superficie sólida, se determinó que cumplen con lo requerido por la norma, que no permite más del 40% de superficie acristalada. Únicamente en el caso 3 existe un 42%, sin embargo se requeriría hacer un diagnóstico de esta norma para validar o no, su cumplimiento.

Así también se describen los materiales predominantes de la envolvente y dentro de las oficinas. Por lo que se pudo observar, los materiales que más predominan en la envolvente son:

- * cristal
- * concreto

Para el interior sobresalen:

- * cristal sin película
- * tablaroca en color blanco y/o beige
- * piso vinílico y/o cerámico en color claro (blanco, gris claro y/o beige)
- * plafón de tablaroca en colores claros (blanco y/o beige)

El hecho de que predominen los colores claros, indica que puede haber mayor absorción de la luz en las superficies del interior.

Se menciona que estos materiales son los que predominan, ya que es lógico que existan distintos tipos de materiales, debido a que NO todos los inmuebles son iguales.

Posteriormente se cuantificó el número total de luminarias ubicadas en cada fachada hasta un promedio de 5 metros de distancia, de acuerdo a las áreas en donde hay cubículos y áreas abiertas. Con esto se obtuvo la demanda y el consumo diario y mensual en cada edificio. Éstas se encuentran en la tabla 20.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

EDIFICIO	MATERIAL DE LA ENVOLVENTE	MATERIALES PREDOMINANTES EN EL INTERIOR DE LAS OFICINAS	M2 DE ENVOLVENTE SEGÚN NORMA 008	TECHO (DOMO) M2	VENTANAS FACHADA NORTE M2	VENTANAS FACHADA SUR M2	VENTANAS FACHADA ESTE M2	VENTANAS FACHADA OESTE M2	TOTAL AREA DE VENTANAS (M2) SEGÚN NORMA	% DE VENTANA CON RESPECTO A LA SÓLIDA (NORMA)	M2 DE ENVOLVENTE ACRISTALADA SEGÚN LEVANTAMIENTO	M2 DE ENVOLVENTE LEVANTAMIENTO	% DE ENVOLVENTE ACRISTALADA CON RESPECTO A LA SÓLIDA (LEVANTAMIENTO)
1	ACERO, FIERRO, VIDRIO	CRISTAL TRANSPARENTE CON PELICULA TÉRMICA, DIVISIONES DE TABLAROCA, EN COLOR BLANCO, LOSETA CERÁMICA, VINÍLICA Y/O PISO LAMINADO, PLAFÓN DE TABLAROCA COLOR BLANCO. PERSIANAS CORREDIZAS.	6,390.71	0.00	339.49	129.53	184.84	606.68	1,260.54	19.72	1,719.96	6,858.03	25
2	CONCRETO, VIDRIO, ALUCOBOND	CRISTAL, DIVISIONES DE CANCEL, DIVISIONES DE TABLAROCA EN COLOR BLANCO, ALFOMBRA COLOR GRIS CLARO COMBINADA CON GRIS OSCURO, PLAFÓN DE TABLAROCA COLOR BLANCO. PERSIANAS ENROLLABLES.	1,519.10	56.16	446.09	86.42	63.00	0.00	651.67	42.90	363.60	1,566.11	23
3	CRISTAL, TABIQUE, CONCRETO, QUIEBRAVISTA DE ALUMINIO	CRISTAL, DIVISIONES DE CANCEL, DIVISIONES DE TABLAROCA EN COLOR BLANCO, PISO VINÍLICO COLOR BLANCO, PISO CERÁMICO COLOR BEIGE Y/O PISO LAMINADO, PLAFÓN DE TABLAROCA COLOR BLANCO. PERSIANAS CORREDIZAS.	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	1,500.45	3,570.66	42
4	CONCRETO, VIDRIO CON FILTRASOL	CRISTAL, DIVISIONES DE CANCEL, DIVISIONES DE TABLAROCA EN COLOR BLANCO, PISO VINÍLICO COLOR BLANCO, PISO CERÁMICO COLOR BEIGE, PLAFÓN DE TABLAROCA COLOR BLANCO. PERSIANAS CORREDIZAS.	4,760.18	57.89	16.47	69.7	226.53	85.91	456.50	9.59	711.77	4881.62	15
5	CONCRETO, VIDRIO	CRISTAL, DIVISIONES DE CANCEL, DIVISIONES DE TABLAROCA EN COLOR BLANCO, PISO LAMINADO, ALFOMBRA COLOR CAFÉ, PLAFÓN DE TABLAROCA COLOR BLANCO. PERSIANAS CORREDIZAS.	9,570.00	0	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	87.30	2,763.48	3

Tabla 19. Datos de envoltentes. Comparativa entre datos del análisis de la norma y levantamiento.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

En la tabla 21 se presentan los resultados del total de kW instalados (demanda) en fachadas con aportación de luz natural y consecutivamente el consumo mensual (kWh/mes) que representan estas luminarias en dichas fachadas. Para poder realizar este cálculo fue necesario realizar el recorrido por cada inmueble e identificar la tecnología instalada y el consumo producido por ella.

Los datos de las luminarias instaladas se encuentran en el anexo de esta tesis. En cuanto al DPEA, la Norma 007-ENER-2004, pide que no se sobrepasen 14 W/m², por lo que todos los inmuebles cumplen con esta norma. Es importante comentar que al momento de la realizar esta investigación, ésta era la normal vigente; sin embargo ya se ha actualizado (NOM-007-ENER-2014) Aun con esta modificación, en la que el DPEA solicitado es de 11 W/m², se sigue cumpliendo con la normativa.

EDIFICIO	LUMINARIAS EN FACHADA NORTE (5 M)	LUMINARIAS EN FACHADA SUR (5 M)	LUMINARIAS EN FACHADA ESTE (5 M)	LUMINARIAS EN FACHADA OESTE (5 M)	TOTAL DE LUMINARIAS EN FACHADAS ACRISTALADAS
1	173	59	87	304	623
2	63	77	0	0	140
3	194	264	6	23	487
4	22	40	141	85	288
5	18	36	0	0	54

Tabla 20. Total de luminarias en fachadas acristaladas.

EDIFICIO	kW EN FACHADA NORTE	kW EN FACHADA SUR	kW EN FACHADA ESTE	kW EN FACHADA OESTE	kW TOTALES EN FACHADA CON APORTACIÓN DE LUZ NATURAL	kWh/mes	DPEA (W/M2)
1	6.51	2.01	4.46	10.64	23.61	5,665.68	8.76
2	2.37	3.11	0.00	0.00	5.48	1,314.96	5.85
3	11.84	19.28	0.38	1.11	32.61	7,826.88	10.88
4	1.23	1.76	11.19	6.58	20.76	4,982.40	10.55
5	1.27	0.47	0.00	0.00	1.73	415.92	9.16

Tabla 21. Demanda y consumo en áreas con aportación de luz natural.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

En la tabla 22, se representan las diferencias entre el consumo mensual de acuerdo al DEN proporcionado por la CONUEE y el consumo mensual obtenido en cada fachada en la que hay aportación de luz natural.

De esta relación se obtienen los porcentajes de consumo en las fachadas con iluminación natural. Este porcentaje indica lo que representa la iluminación del total del consumo del edificio.

EDIFICIO	CONSUMO EN ILUMINACION DEN MENSUAL (kWh)	CONSUMO FACHADAS CON APORTACIÓN DE LUZ NATURAL (MENSUAL) (kWh)	% DE ILUMINACIÓN EN FACHADAS CON APORTACIÓN DE LUZ NATURAL
1	12,501.00	5,665.68	45
2	1,828.32	1,314.96	72
3	17,193.59	7,826.88	46
4	5,501.54	4,982.40	91
5	3,226.57	415.92	13

Tabla 22. % de relación entre consumos.

Es importante notar que los porcentajes del consumo en las fachadas con aportación, a excepción del caso 5, rebasan el 40% del total del consumo en iluminación del edificio, lo que indica que no se está utilizando y/o aprovechando el recurso del exterior. Los consumos en estas áreas representan un alto porcentaje del total del uso en iluminación.

En la gráfica 6 se presenta una comparativa entre los kW instalados en las fachadas (con y sin luz natural) y únicamente la demanda que existe en donde hay incidencia de iluminación natural. De acuerdo a los resultados, sucede lo mismo que con el consumo:

Arq. Bethania Hernández Barrera

- 1) Hay gran demanda en áreas con aportación de luz natural.
- 2) El total de la demanda en fachadas puede ser comparado con los consumos mensuales para relacionar posibles ahorros.
- 3) De acuerdo a la comparativa entre demandas en fachadas con y sin luz natural, se puede afirmar que debería haber una reducción de consumo, dado que hay incidencia solar en la mayoría de las áreas de cada edificio.

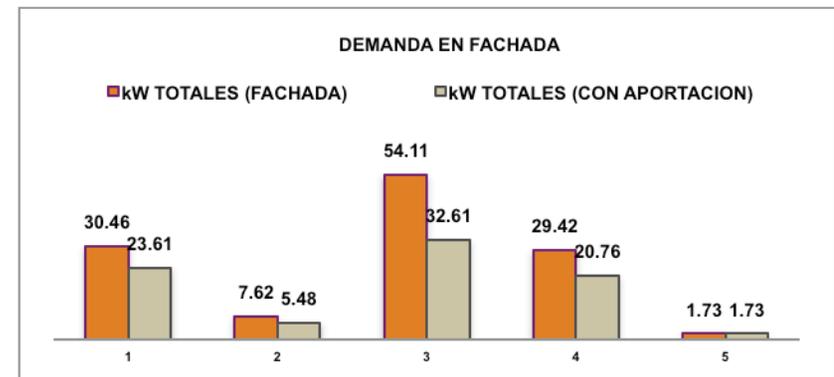


Gráfico 6. Demanda en fachada total y con luz natural.

Se realizaron dos relaciones con respecto a los porcentajes de área que se encontraron. En el primer caso se compararon los metros cuadrados totales de la envolvente, y la envolvente acristaladas.

Los resultados se muestran en la tabla 23. En ella se detectó que no hay una relación directa entre las proporciones de la envolvente acristalada con la envolvente sólida. Ya que el primer caso tiene más metros cuadrados de envolvente total, pero solo un 25% tiene cristal.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

En el caso del edificio 3, éste tiene el mayor porcentaje de envoltente acristalada con 42%, sin embargo no es el de más metros cuadrados de envoltente. Para el edificio 5 se puede ver que solo hay 3% de cristal con respecto al total de la envoltente, en este caso es importante recordar que tiene dos fachadas cerradas, por lo que no hay incidencia de luz.

EDIFICIO	M2 DE ENVOLVENTE TOTAL	TOTAL AREA DE VENTANAS (M2)	% DE VENTANA VS SOLIDA
1	6,858.03	1,719.96	25
2	1,566.11	363.60	23
3	3,570.66	1,500.45	42
4	4881.62	711.77	15
5	2,763.48	87.30	3

Tabla 23. Relación de envoltente acristalada con respecto a la envoltente sólida

La otra relación que se estableció fue por medio de comparar los metros cuadrados de espacios (cubículos, oficinas, áreas comunes) en los que hubiera incidencia de luz natural, con el total de metros cuadrados construidos de cada edificio. Se graficaron los metros cuadrados de cada parámetro (gráfico 7) y en la tabla 24 se muestran los resultados de esta comparación.

EDIFICIO	% de espacios con luz natural
1	33%
2	39%
3	55%
4	36%
5	16%

Tabla 24. % de espacios con luz natural

Nuevamente resalta el edificio 3, en donde al igual que con las superficies acristaladas, tiene el mayor porcentaje de espacios en donde incide la luz natural (55%) El edificio con

menor porcentaje de espacios es el 5, debido a que hay también menor área de fachada acristalada.

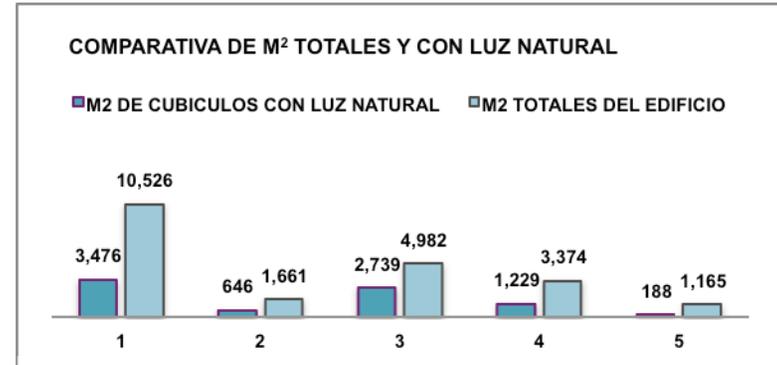


Gráfico 7. Comparativa de cubículos con luz natural y m2 del edificio.

En cuanto al consumo mensual (tabla 25) se identificaron dos vertientes. La primera es el consumo únicamente en iluminación (en todas las áreas), y la otra, el consumo total del edificio, ambos datos corresponden al DEN de la CONUEE.

EDIFICIO	CONSUMO TOTAL MENSUAL DEN (kWh/MES)	CONSUMO EN ILUMINACION MENSUAL (kWh/MES)	% DE ILUMINACION DEL TOTAL DEL EDIFICIO
1	60,907.58	12,501.00	21
2	11,730.00	1,828.32	16
3	25,383.73	17,193.59	68
4	37,489.41	5,501.54	15
5	9,990.00	3,226.57	32

Tabla 25. Consumo de acuerdo a DEN.

Con ella se determinaron los porcentajes que representa la iluminación en el total del consumo de cada

Arq. Bethania Hernández Barrera

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

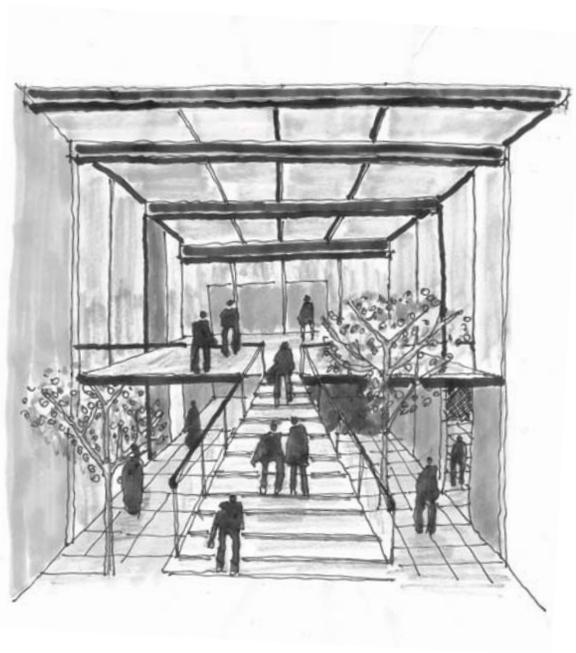
edificio. En esta misma tabla se muestra que la iluminación es un rubro que impacta en el consumo del edificio, sobre todo en el edificio 3.

Con estos planteamientos se buscó establecer si existía alguna relación directa entre el consumo y las áreas con luz natural; ya que en teoría, debería de haber un menor consumo en dichas áreas por el aprovechamiento de la iluminación del exterior.

Sin embargo, derivado del análisis de las tablas y gráficas, se determinó que no existe una relación directa, ya que influye la tecnología lumínica instalada (tipo de luminaria, potencia, horas de uso, etc.) además del comportamiento del usuario, que influye en la manera de usar la energía en los edificios. El ejemplo más claro es el mismo edificio 3, empero de que tiene el mayor porcentaje de fachada con cristal y espacios con cubículos, también tiene el mayor consumo en iluminación, lo que indica que no se está aprovechando el recurso del exterior.

Otro aspecto que se observa que los rangos se encuentran por debajo de los porcentajes determinados por la NOM-008, excepto el edificio 3, que sobrepasa ligeramente este rango. Sin embargo no es posible determinar si éste cumple o no con la norma ya que se requeriría hacer un estudio específico del mismo.

Aun así, es posible hacer uso de la luz natural y existe probabilidad de obtener un ahorro al no usar la iluminación en el interior de las oficinas. En el siguiente capítulo se presentan los resultados finales derivados de este análisis.



Capítulo 5. RESULTADOS: POTENCIAL DE AHORRO DE ENERGÍA POR USO DE LUZ NATURAL.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

Capítulo 5. RESULTADOS: POTENCIAL DE AHORRO DE ENERGÍA POR USO DE LUZ NATURAL.

En este capítulo se presentan los resultados de esta investigación.

En la hipótesis de investigación se planteó que la luz natural tiene la posibilidad de generar un ahorro de energía en iluminación del 30% si se aprovecha en las áreas donde haya incidencia de ésta, de acuerdo a investigaciones realizadas en otras latitudes. Así mismo, se buscaba comprobar que la iluminación en el interior cumple con la normativa mexicana de iluminación (NOM-025-STPS-2008)

En la primera parte de este capítulo se muestran los resultados de los consumos en iluminación en cada edificio, así como los porcentajes finales de ahorro, derivados del análisis del capítulo 4. Posteriormente se presentarán los datos que se adquirieron con las mediciones efectuadas en uno de los caso de estudio.

5.1. Porcentaje de ahorro de energía en iluminación.

Debido a la variabilidad de la luz natural y de acuerdo a las gráficas 4 y 5 se estableció que **8 horas promedio** son óptimas para utilizar la luz natural, por lo que se relacionó con

el consumo en iluminación de cada edificio.

En lo referente a este consumo, este se determinó en dos variantes, la primera es por 12 horas promedio, que son el total de las horas laborables de acuerdo a lo comentado con el personal de cada inmueble.

La segunda variante es solo por 4 horas, ya que como se mencionó recientemente, existen 8 horas de luz natural. Por lo que estas 4 horas son las únicas en las que se determinó que sería necesario el uso de la iluminación artificial. La diferencia permitió establecer los potenciales de ahorro de energía por el uso de iluminación natural.

Esta diferencia se contrastó con el consumo mensual en iluminación y con el consumo total del edificio, de acuerdo a lo obtenido durante el diagnóstico energético. Los resultados se presentan en la tabla 26.

EDIFICIO	kWh/mes 12 HORAS	kWh/mes 4 HORAS	kWh/mes 8 HORAS
1	5,665.68	1,888.56	3,777.12
2	1,314.96	438.32	876.64
3	7,826.88	2,608.96	5,217.92
4	4,982.40	1,660.80	3,321.60
5	415.92	138.64	277.28

Tabla 26. Diferencias entre consumos.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

También se muestran los datos de ahorro en consumo (kWh/mes) para 8 horas; en los que destaca el ahorro de energía en el edificio 3. Este dato se obtuvo de la diferencia entre el consumo de 12 horas y el consumo de solo 4 horas.

EDIFICIO	% DE AHORRO CON RESPECTO AL CONSUMO EN ILUMINACIÓN	% CON RESPECTO AL CONSUMO TOTAL DEL EDIFICIO	AHORRO DE CONSUMO (KWH/MES)	% DE ENVOLVENTE ACRISTALADA CON RESPECTO A SOLIDA (LEVANTAMIENTO)
1	30	6	3777.12	25
2	48	7	876.64	23
3	30	21	5217.92	42
4	39	9	3321.60	15
5	9	3	277.28	3

Tabla 27. Porcentajes de ahorro energético.

Con respecto a estos resultados, se calculó un porcentaje de ahorro promedio del 31%. En el caso de solo el rubro de consumo de iluminación y del 9% con respecto al consumo total del edificio. Los porcentajes individuales se presentan en la tabla 27.

Al realizar un análisis de estos resultados, que solo implican la parte energética de la investigación, se pueden ver claras diferencias en los porcentajes de ahorro, sin embargo mucho tiene que ver la parte arquitectónica, ya que a mayor área de ventana y sobre todo, área de cubículos, se presenta mayor incidencia de luz y por consecuencia, mayor ahorro de energía.

En la tabla 27, se aprecia también que se presenta nuevamente el porcentaje de la envolvente acristalada con

respecto a la sólida. El caso que más resalta es el del edificio no. 3, ya que el ahorro es del 30% solo en el consumo de iluminación, sin embargo el porcentaje con respecto al total del edificio, también es alto (21%), esto se debe a que la iluminación representa el 68% del total del edificio (ver tabla 25), y la envolvente de cristal sobrepasa levemente el 40% del total de la envolvente del edificio.

En el caso donde se presenta menor ahorro de energía es en el inmueble 5, esto se debe principalmente a que la envolvente de cristal es del 3%, lo que indica que hay poca incidencia de luz solar. Otro factor importante, es la tecnología instalada, ya que dicha tecnología es ahorradora, y el consumo en iluminación no representa gran porcentaje del total del consumo del edificio. Aún así, es importante notar que sigue habiendo un ahorro de energía; lo que permite seguir afirmando del potencial que existe al aprovechar la iluminación diurna.

Para el caso del edificio 4, sobresale que el ahorro de energía es de casi el 39%, a pesar de solo tener un 15% de fachada acristalada. La razón principal es la gran cantidad de luminarias instaladas en dichas áreas de fachadas, por lo que resulta lógico que a pesar de tener pocas ventanas, se pueda disminuir el consumo en estos cubículos.

Sucede el mismo caso con el edificio 3, pues se indica que la mayor cantidad de luminarias se encuentran instaladas en las fachadas con iluminación natural.

La parte arquitectónica, está sumamente ligada a la energética. Un buen diseño arquitectónico, en donde se plantee un diseño lumínico de manera natural, conduce a la reducción del consumo de recursos.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

Así mismo, los materiales son de suma influencia dentro de los espacios, es importante mencionar que se notó que los colores claros predominan en el interior de las oficinas. Lo que permite mayor reflexión de la luz en el interior; sin embargo es necesario tener un buen control de dichos materiales para evitar deslumbramientos y obtener una buena calidad lumínica.

La segunda parte de los resultados se enfoca a las mediciones realizadas dentro de uno de los casos de estudio, ya que era preciso y conveniente conocer la disponibilidad de la luz natural. Además de comprobar si realmente la luz natural es eficaz y suficiente para permitir las labores dentro de los espacios de trabajo, en este caso de oficinas. Para estos espacios, la NOM-025-STPS-2008 de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, menciona que el nivel mínimo de es de 300 luxes.

5.2. Mediciones en sitio y en el exterior. Caso de estudio: edificio de oficinas del Distrito Federal.

Como se ha explicado a lo largo de este documento, es importante conocer los niveles lumínicos en el interior de los espacios de oficinas, así como los de la ciudad de México, para poder complementar los resultado obtenidos con el análisis arquitectónico y energético de los edificios.

Por lo que se procedió a realizar mediciones en uno de los estudios caso. El caso de estudio elegido fue el edificio 3, debido a la facilidad y permiso para realizar las mediciones, además de su cercanía con el Observatorio de Radiación Solar del Instituto de Geofísica de la UNAM, en donde se encuentran ubicados los aparatos de medición del LIM. Como se observa en la imagen 51, si se traza una línea recta, hay 3.5 km entre un edificio y otro; la altitud a la que se encuentran

Arq. Bethania Hernández Barrera

es de 2283 m.s.n.m. y a 2316 m.s.n.m. el Instituto de Geofísica y el caso de estudio, respectivamente; por lo que no



Imagen 51. Ubicación del Instituto de Geofísica y el caso de estudio.
Fuente: Google Earth.

hay diferencias significativas entre ambos.

Otra característica de este edificio es que tiene un quebravista¹³ para control solar en la fachada principal, por lo

¹³ El quebravista CeloScreen es una solución al control solar pasivo, compuesto por perfiles portapaneles y paneles en aluzinc prepintado liso o perforado. Las alternativas de portapaneles permiten adecuar este producto con distintas separaciones según los requerimientos técnicos y de diseño para cada proyecto. Este producto es muy útil para los espacios destinados al intercambio de aire y control de visión, tanto en

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

que será conveniente determinar si realmente permite una luz adecuada de acuerdo a la normativa.

La medición se realizó durante el periodo de una semana. Los datos registrados se transfirieron a un adquisidor de datos modelo Campbell Scientific Inc. CR1000, para poder hacer las evaluaciones.

Las mediciones arrojadas, fueron comparadas con las mediciones de la misma semana obtenidas del Observatorio de Radiación Solar. El propósito de ambos parámetros de medición era conocer, entre otras cosas, los siguientes dos aspectos principales:

- 1) Si la luz en el interior sigue siendo eficaz para la realización de labores.
- 2) Qué cantidad de iluminación natural disminuye al pasar por la envolvente arquitectónica.

5.2.1. Descripción del caso de estudio.

El tercer caso de estudio se encuentra ubicado en el sur del Distrito Federal. Tiene 5,755.89 m² distribuidos en un sótano, una planta baja y nueve niveles.

El horario de operación es de 7 a 23 horas, sin embargo, la hora de entrada y salida entre los usuarios es aleatoria ya que existen dos turnos, por lo que el personal de mantenimiento comenta que este edificio permanece encendido la mayor parte del día. Por cuestiones de homogenización, se tomarán 12 horas como operación del mismo.

paramentos verticales como muros cortinas y logias de edificios habitacionales, o como cortasol cenital. (Información de Hunter & Douglas)

La envolvente está conformada por los siguientes materiales principales: cristal (sin ningún tipo de tratamiento especial), tabique, concreto y un quiebravistas (tipo celosía) colocado en la fachada sur, a partir del primer nivel.

El área acristalada es de 1500 m². Comparada con la envolvente total, que es de 3570 m², el porcentaje de cristal es del 42% aproximadamente. En este caso, y a manera preliminar se podría afirmar que no cumple con la NOM-008-ENER-2001, ya que rebasa el porcentaje permitido de área acristalada que es del 40%, sin embargo, no se puede aseverar con seguridad por lo que sería necesario realizar un estudio a fondo de dicha norma.

Se realizó un recorrido por las instalaciones y finalmente se determinó que las mediciones se realizarían en el tercer nivel. Se eligió dicho nivel porque es uno de los pisos intermedios y presenta áreas abiertas, combinadas con



Imagen 52. Nivel en donde se realizó la medición.
Arq. Bethania Hernández Barrera

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

cubículos cerrados, lo que permitió observar diversas características de la reflexión y transmisión de la luz en los interiores. Así mismo, un numeroso personal labora en este nivel, por lo que los beneficios lumínicos debían de ser importantes.

En cuanto a los materiales en el interior del tercer nivel predomina el plafón de tablaroca en color blanco, los muros divisores de las áreas son también de tablaroca en color blanco. El piso de loseta vinílica color blanca y hay áreas en las que hay duela de madera. En el capítulo 4 del análisis arquitectónico y energético se detallan estos materiales.



Imagen 53. Espacio interior en el tercer nivel.



Imagen 54. Fotómetro LI-COR (LI-210)

Arq. Bethania Hernández Barrera

5.2.2. Descripción del equipo de medición.

El equipo de medición utilizado en esta investigación fue proporcionado por el Laboratorio de Sustentabilidad del Posgrado de Arquitectura de esta Universidad.

Se utilizaron cinco fotómetros marca LI-COR (LI-210 photometric sensor), un adquirente de datos modelo Campbell Scientific Inc. CR1000, así como una caja de seguridad para proteger el equipo.

NO. INVENTARIO UNAM	DESCRIPCIÓN	MARCA	NO. SERIE	SENSIBILIDAD (CONSTANTE DE CALIBRACIÓN)	CLAVE EN ESTE DOCUMENTO
2379234	SENSOR FOTOMÉTRICO 55 (CON 18 METROS DE CABLE)	LI-COR	PH 9842	-5.09	FOTÓMETRO 2
2379225	SENSOR FOTOMÉTRICO 56 (CON 18 METROS DE CABLE)	LI-COR	PH 9843	-5.93	FOTÓMETRO 3
2377368	SENSOR FOTOMÉTRICO 57 (CON 18 METROS DE CABLE)	LI-COR	PH 9844	-5.29	FOTÓMETRO 4
2379235	SENSOR FOTOMÉTRICO 58 (CON 18 METROS DE CABLE)	LI-COR	PH 9845	-5.57	FOTÓMETRO 5
2377365	SENSOR FOTOMÉTRICO 59 (CON 18 METROS DE CABLE)	LI-COR	PH 9846	-5.42	FOTÓMETRO 6

Tabla 28. Descripción de los fotómetros utilizados.

Los fotómetros que se colocaron se enlistan en la tabla 28,

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

juntamente con su constante de calibración.

La semana en la que se realizó esta medición, fue del 5 al 9 de enero de 2015. Como se puede denotar, las mediciones se realizaron dentro de un periodo invernal, por lo se encontró que fue uno de los escenarios más desfavorables, por la posición del sol y cuestiones climáticas; lo que permitió enriquecer aún más la investigación, dado que se pretendía comprobar que en estas fechas, existe suficiente iluminación adecuada para los espacios interiores.



Imagen 55. Caja de seguridad y adquisidor de datos Campbell Scientific Inc. CR1000.

Para la colocación de los fotómetros se propusieron cinco puntos específicos en donde el personal realiza las actividades principales.

Cuatro de ellos se colocaron en el interior de las fachadas acristaladas (norte y sur) y se colocó un fotómetro en el exterior de manera vertical para registrar los datos de iluminancia en esta posición y contrastarlos con las mediciones de los



Imagen 56. Fotómetro 3 LI-210 en sitio.

fotómetros colocados horizontalmente.



Imagen 57. Fachada principal del caso de estudio.



Imagen 58. Detalle de quiebravistas en el interior.

Es importante mencionar que se aspiraba a colocar uno de estos sensores en la parte noreste del edificio, sin embargo esto no se logró debido a que no se obtuvo el acceso en esta área ya que funge como oficina de subdirección; por este motivo, los sensores se colocaron en zonas sur y noroeste del inmueble.

En la planta arquitectónica (imagen 59) se indican los espacios en los que fueron colocados los fotómetros.

De los cinco sensores, el no. 2 fue el que se colocó de manera vertical y en el exterior para comparar los datos obtenidos con los de los demás fotómetros que se colocaron horizontalmente. Es importante aclarar se colocó sobre el cristal, a una distancia de 40 cm de la celosía, ello permitió ver

Arq. Bethania Hernández Barrera

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

la disminución de niveles lumínicos del exterior.

El fotómetro 3 se colocó en la misma oficina pero en el interior y de manera horizontal. Entre estos dos sensores se podrán observar claramente las diferencias de la captación de la luz natural por su posición.

El fotómetro 4 se colocó de manera horizontal, entre dos áreas de crucetas, a una altura de 90 cm (imagen 61) El número 6 también se colocó en esta fachada, en un punto similar al 4, la diferencia radica que éste último fue ubicado directamente en una de las crucetas, en el área de trabajo de parte del personal (ver imagen 62)

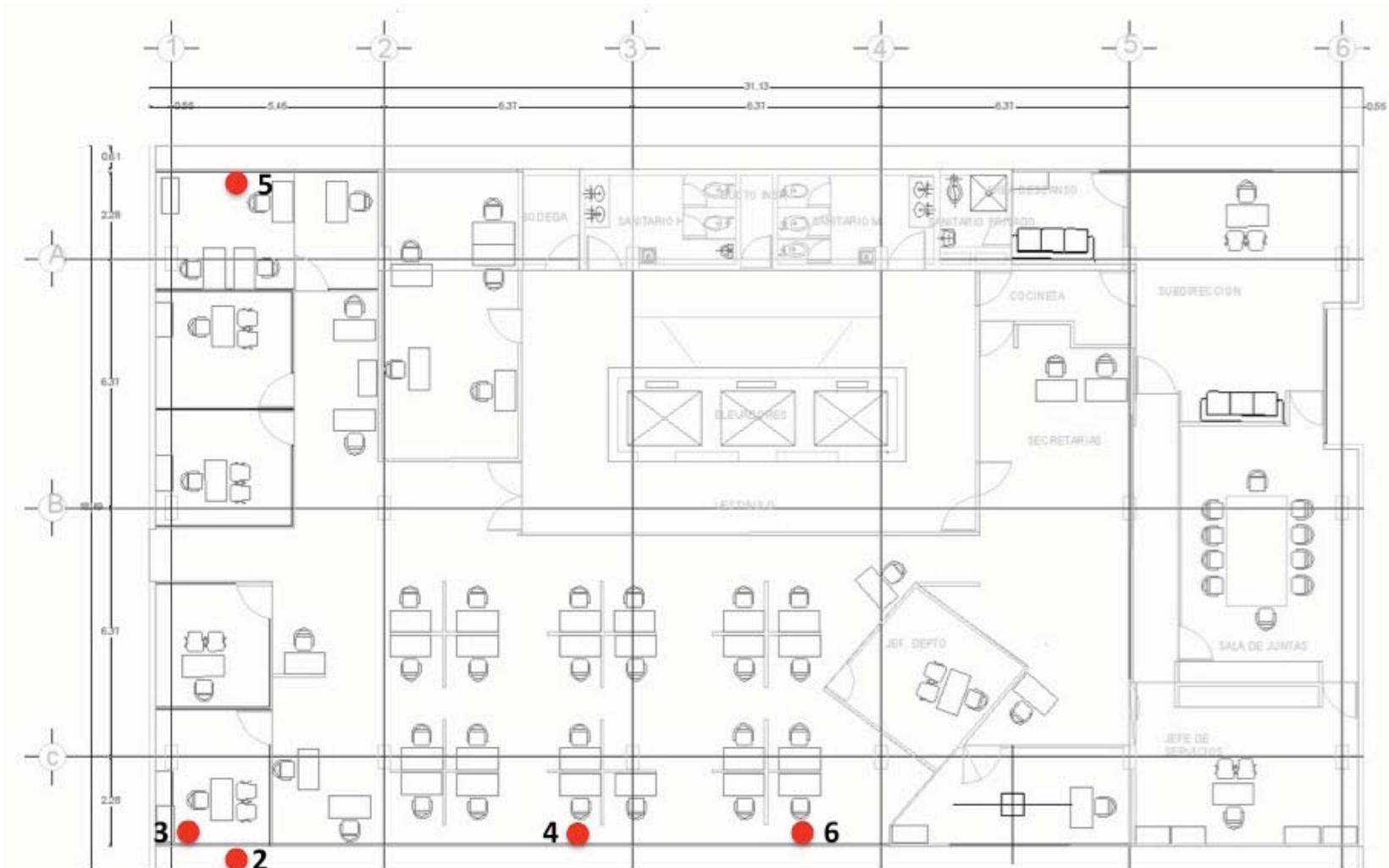


Imagen 59. Planta arquitectónica del caso de estudio.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.



Imagen 60. Fotómetros 2 y 3.

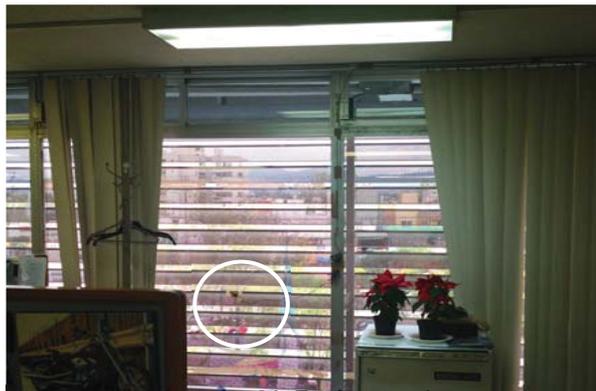


Imagen 61. Fotómetro 4.

En estas zonas se ubican luminarias muy cercanas a la fachada. Al estar realizando la instalación del equipo, se observó que no es necesario que estas luminarias se encuentren encendidas, sin embargo (como se muestra en la imagen) éstas se encuentran prendidas la mayor parte del día. Los resultados reflejarán si la observación es correcta o si verdaderamente los niveles de iluminación son bajos.

Todos los fotómetros anteriores se ubicaron en la fachada sur, en donde está el quiebravistas.

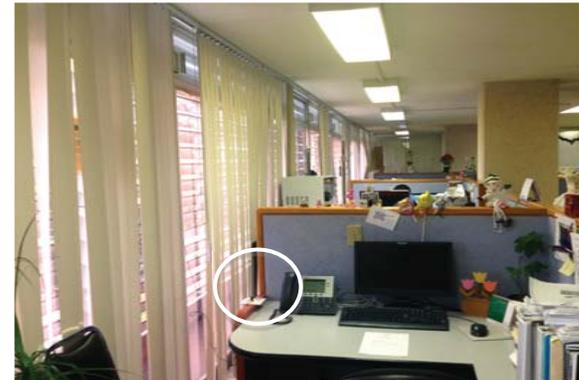


Imagen 62. Fotómetro 6.

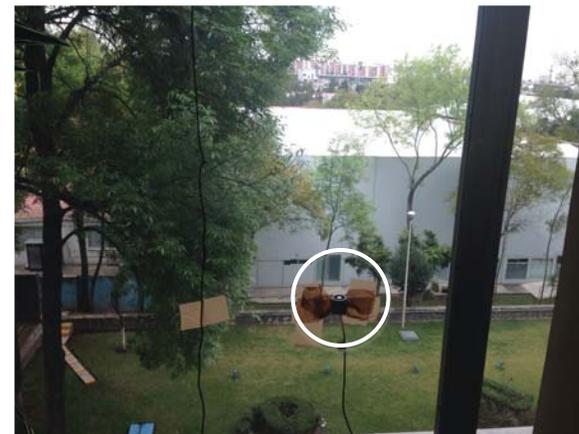


Imagen 63. Fotómetro 5.

Finalmente el fotómetro 5 fue ubicado en la fachada norte, a una altura de 90 cm (imagen 63) Esta fachada es acristalada con algunas áreas de concreto. En el siguiente

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

apartado se explicarán los datos obtenidos en estas mediciones.

5.3. Análisis de mediciones.

La semana en la que se realizaron las mediciones fue del 5 al 9 de enero de 2015. Se comenzó el 5 de enero a las 11:37 horas (debido a ajustes en la programación del equipo) y se concluyeron las mediciones a las 18:18 horas del día 9 de enero. Es decir, de lunes a viernes, una semana laboral completa ya que no se trabaja en fines de semana.

Esta semana fue la seleccionada ya que era periodo vacacional, lo que facilitaba la conexión de equipos porque había menos personal laborando, y se corría menos riesgo de dañar los aparatos. Así mismo, el personal de mantenimiento estableció estas fechas para poder hacer cualquier tipo de medición dentro de las instalaciones.

Como se mencionó anteriormente, esta semana fue mayormente nublada, lo que permitió observar los niveles lumínicos en un periodo un tanto desfavorable, pero lo que se podría afirmar es que si en esta época hay suficiente luz natural, en otras épocas del año como primavera y verano, la luz será suficiente.

Para el análisis de las mediciones, primero se analizó la semana completa, con el propósito de observar cada día de manera general. Posteriormente se analizó cada fotómetro de manera individual y por cada día, debido a la posición de éstos en las áreas ya mencionadas en el plano arquitectónico, ya que en un análisis previo sí se pudo notar un comportamiento distinto debido a la posición de estos fotómetros.

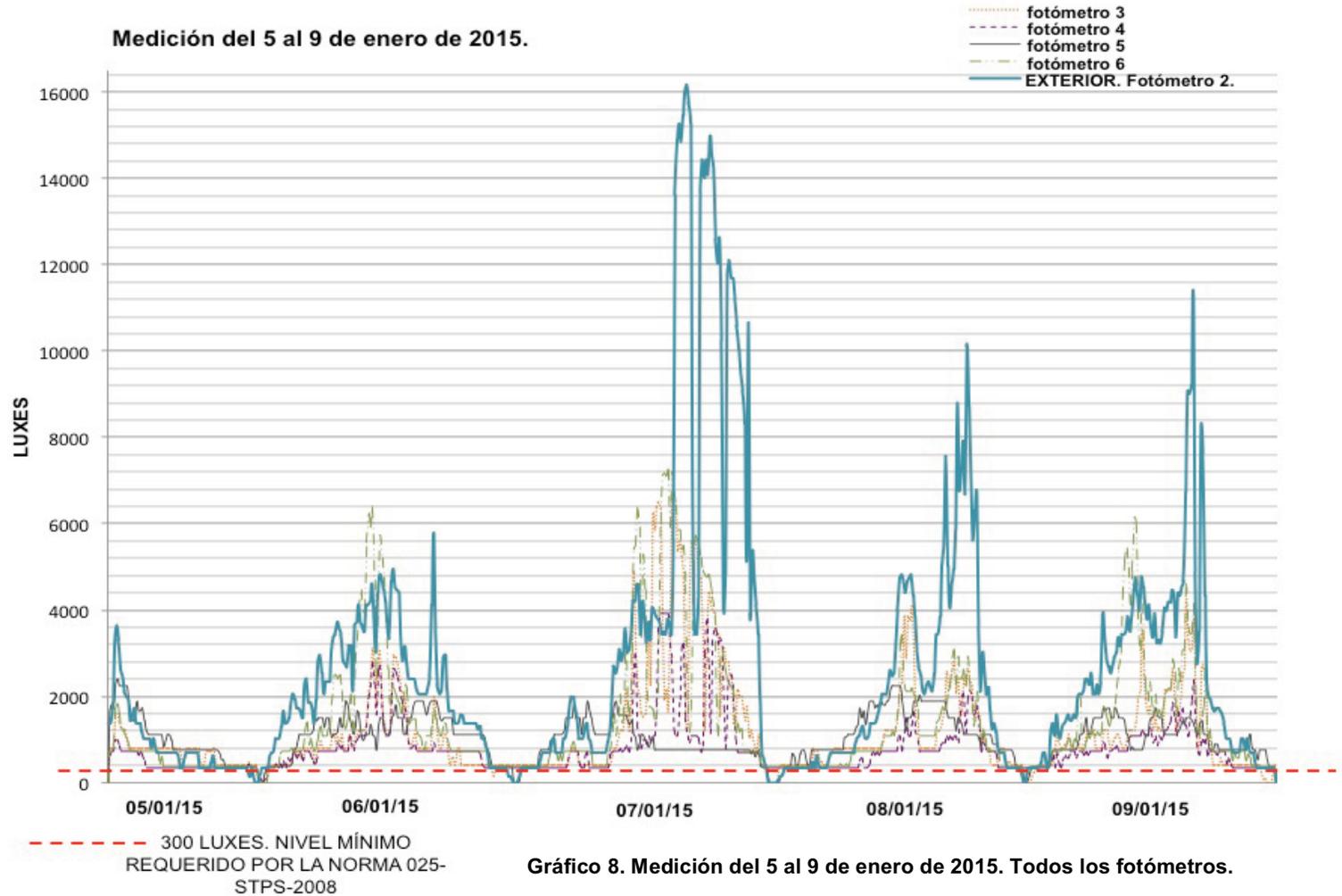
Otro punto importante de mencionar, es el hecho de que en las gráficas se marca con una línea punteada, el nivel en donde se presentan 300 luxes; esto se debe a que estos son los luxes que solicita la NOM-025 de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (revisada en el capítulo 2), para las actividades en espacios de oficinas. Por lo que era necesario marcarla para poder compararlo con la iluminancia que se midió en cada fotómetro.

5.3.1. Mediciones generales. Semana completa.

La gráfica 8, corresponde a las mediciones generales de la semana. En ella es posible observar que el día 5 de enero fue un día nublado, inclusive los niveles en el exterior (EXTERIOR. Fotómetro 2) no alcanzaron los 4000 luxes. El día 7 de enero fue en el que se presentaron los mayores niveles lumínicos en el exterior con 16,000 luxes. Se debe volver a aclarar que el fotómetro 2 se colocó por fuera del cristal de la fachada, pero antes del quiebravistas.

En lo que respecta a los demás días, el día 6 de enero también fue un día nublado, no tanto como el 5 de enero, pero también se presentaron bajos niveles lumínicos en el exterior. El día 8 de enero fue un día soleado, pero presentó algunos periodos de nubosidad no sustanciales. Para el caso del día 9 de enero, se puede notar que también fue un día mayormente soleado a partir del mediodía, en donde hubo un incremento en la iluminancia en el exterior.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**



**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

En la gráfica 9, se obtuvieron los niveles lumínicos promedio a cada hora. El comportamiento lógicamente es similar al de la primera gráfica. Como se vuelve a observar, a pesar de que hubo días nublados, en todos se sobrepasa el nivel mínimo requerido por la normativa, por lo que se puede decir que hay condiciones favorables para realizar actividades dentro de las oficinas. En la tabla 29 se observan los niveles promedio del día más nublado de la semana de medición (5 de enero de 2015)

El fotómetro 4 fue el que presentó los niveles más bajos este día. Con 357 luxes en promedio de 14 a 15 horas.

Así también, se nota que en los días 6, 7 y 9 de enero, el fotómetro 6 (colocado en uno de los escritorios) presenta niveles lumínicos mayores que los del no. 2 (exterior) por lo que es pertinente realizar un análisis más profundo para encontrar el porqué de este fenómeno.

El fotómetro 6 fue colocado sobre una de las crucetas del área de trabajo común. Este se encuentra a 60 cm aproximadamente del cristal de la fachada. Por lo que estos niveles indican que el fotómetro recibió luz natural y luz artificial durante estos periodos del día (entre 11 y 13 horas de acuerdo a la gráfica)

En la gráfica 10, se obtuvieron los niveles mínimos de iluminancia por hora, es decir, únicamente se graficó el valor mínimo por cada fotómetro. El interés de hacer esto se dio porque era preciso saber si en el periodo laboral, los niveles mínimos de iluminancia sobrepasan lo requerido por la NOM-025. De acuerdo a dicha gráfica, se nota que efectivamente los niveles son superiores a los 300 luxes.

Promedios por hora (En luxes)						
FECHA	HORARIO	Fotómetro 2. EXTERIOR	Fotómetro 3	Fotómetro 4	Fotómetro 5	Fotómetro 6
05-ene-15	11:00 - 12:00	2349	1152	819	1991	1190
	12:00 - 13:00	1937	968	721	1906	958
	13:00 - 14:00	888	801	393	1185	671
	14:00 - 15:00	613	741	357	853	366
	15:00 - 16:00	602	711	357	753	366
	16:00 - 17:00	378	468	357	552	366
	17:00 - 18:00	275	408	363	376	366

Tabla 29. Promedios por hora el 5/01/15

Con excepciones en horarios de 7 a 8 horas y de 17 a 18 horas. En el primer caso, este nivel mínimo (0 luxes) no afecta al usuario, ya que no es un periodo laboral. En el caso de las 17 horas afecta, sin embargo se debe recalcar que se graficó el valor *mínimo*. Los niveles *promedio* indican que sí existe suficiente luz natural, por lo que no significa que no haya incidencia de luz.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

**Iluminancia promedio por hora.
Semana del 5 al 9 de enero de 2015.**

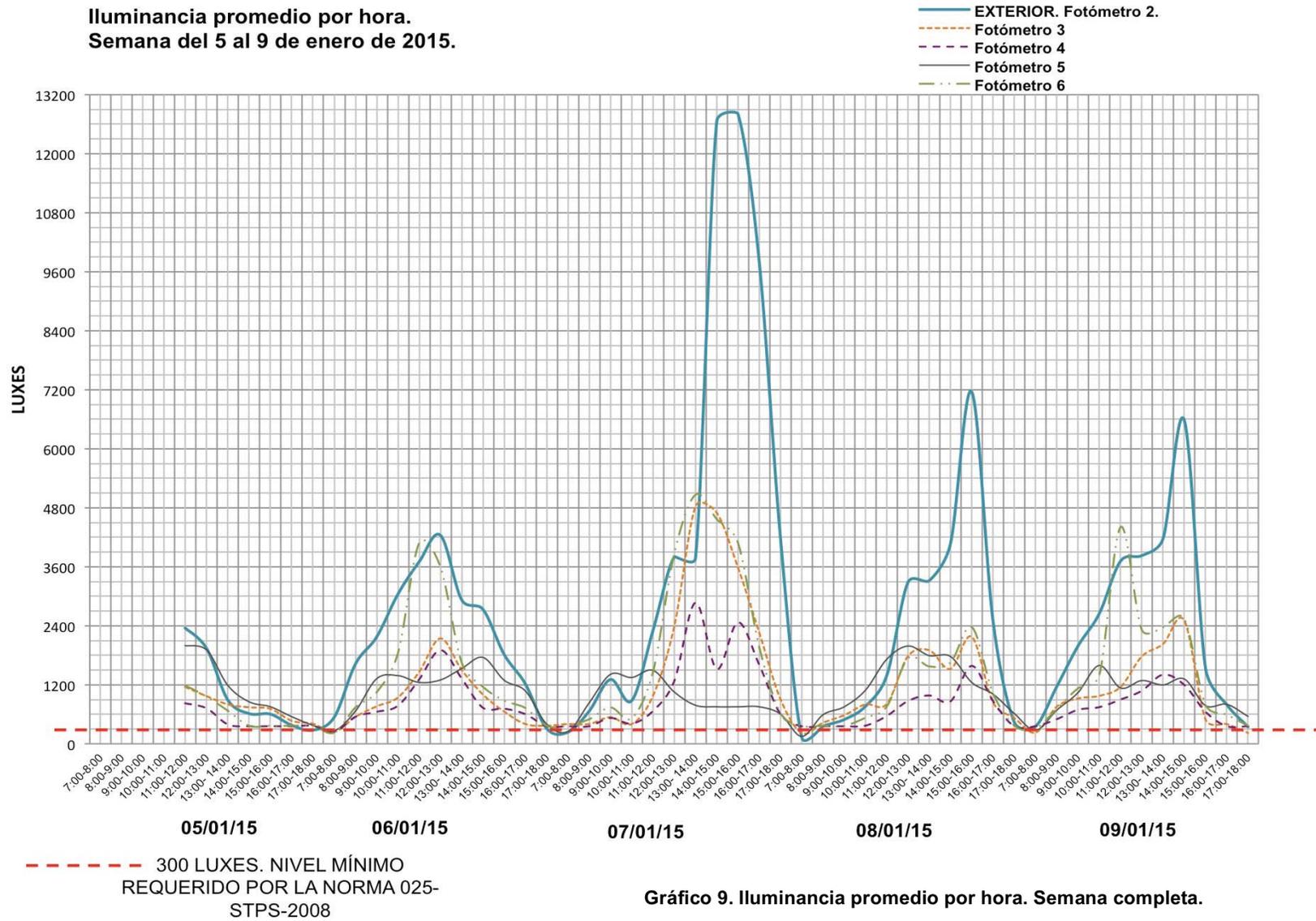


Gráfico 9. Iluminancia promedio por hora. Semana completa.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

**Niveles mínimos de iluminancia por hora.
Semana del 5 al 9 de enero de 2015.**

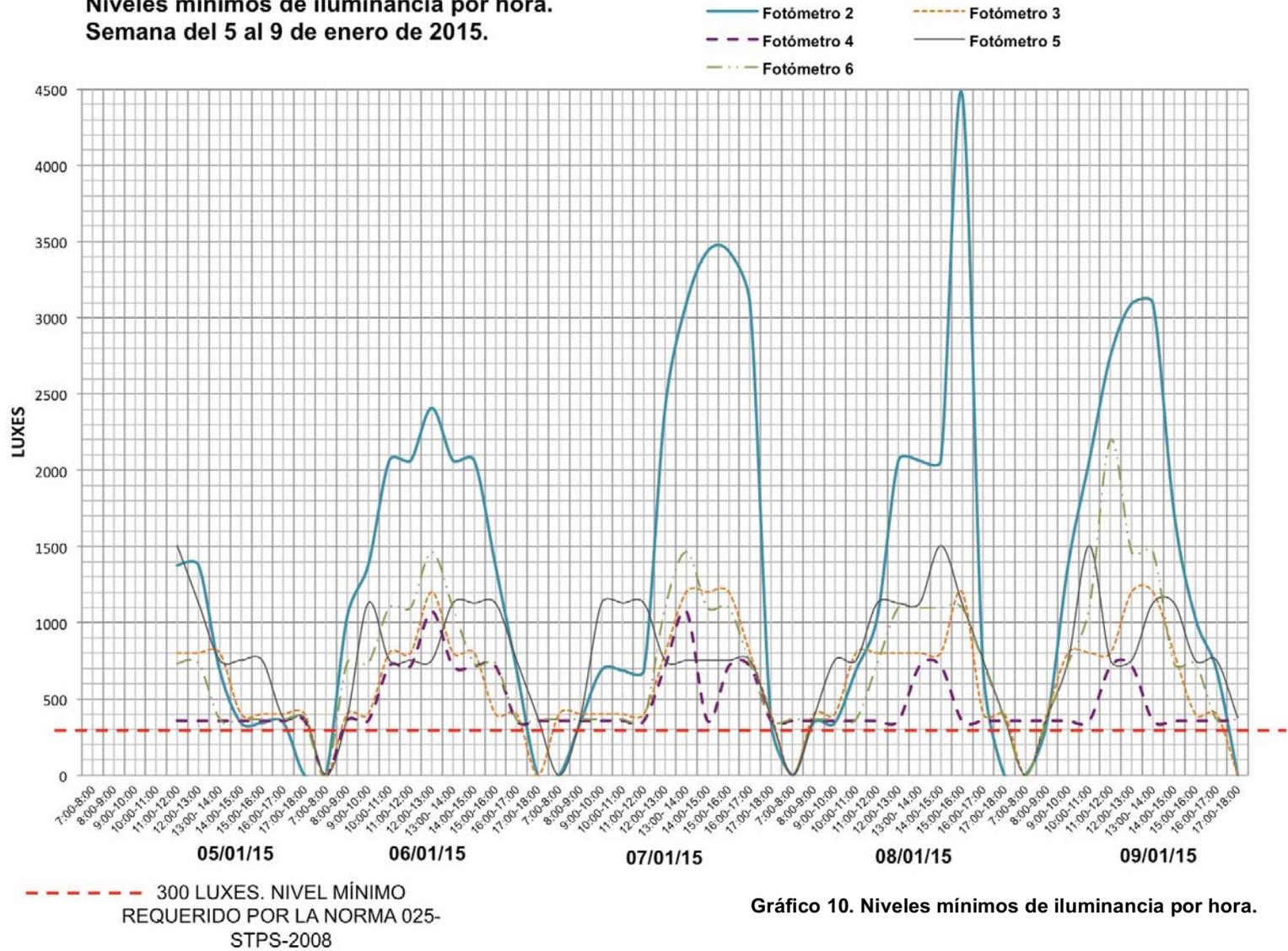


Gráfico 10. Niveles mínimos de iluminancia por hora.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

5.3.2. Análisis de mediciones para el día 5 de enero de 2015.

Para comenzar con el análisis de las mediciones particulares se eligió analizar el día 5 de enero, ya que fue el más nublado de esta semana.

En este día, los valores máximos fueron los registrados en el fotómetro no. 2, cuyo dato fue de 3644 luxes a las 11:57 horas. El mínimo inmediato al cero fue un registro de 357 luxes en el fotómetro 4. Las mediciones promedio por hora en este día se presentan en la tabla siguiente.

HORA RIO	FOT. 2. EXTERIOR	FOT. 3.	FOT. 4.	FOT. 5.	FOT. 6.
11:00-12:00	2,349	1,152	819	1,991	1,190
12:00-13:00	1,937	968	721	1,906	958
13:00-14:00	888	801	393	1,185	671
14:00-15:00	613	741	357	853	366
15:00-16:00	602	711	357	753	366
16:00-17:00	378	468	357	552	366
17:00-18:00	275	408	363	376	366

Tabla 30. Valores lumínicos promedio del 5/01/15.

En el caso de los registros promedio, se observa que solo en el caso del fotómetro 2, entre las 17 y 18 horas no se llega a la iluminancia requerida por la norma. El resto de los registros cumple con esta normativa.

Otro detalle interesante que se nota en la gráfica 11, es que los resultados del fotómetro 5 indican que los niveles lumínicos fueron muy similares, e inclusive superiores a los del

fotómetro 2. Lo que se debe observar, es que el fotómetro 5 es el único colocado en la fachada norte, donde la fachada no tiene celosía, únicamente cristal, a diferencia de la fachada sur; además de esto, este día fue el más nublado, por lo que la obstrucción de esta persiana provocó una menor iluminancia.

Otro aspecto importante se presenta en el fotómetro 3, cuyo registro durante dos horas aproximadamente (12:30-14:30) fue de 732 luxes, a partir de este horario, presenta un comportamiento similar al fotómetro 2. Se hace este análisis, porque ambos aparatos se colocaron en el mismo cubículo, solo que uno en posición vertical en el exterior y otro en posición horizontal en el interior. Esto también indica que el quiebravistas tuvo relación directa en el comportamiento y en los registros de estos fotómetros. Como se observa en la imagen 58, esta celosía tiene perforaciones, pero no permite el paso completo de la luz natural.

En la gráfica 12 se presentan los resultados de la iluminancia promedio a cada hora. En ella se observa que los niveles mínimos requeridos por la norma (300 luxes) son superados, por lo que a pesar de haber sido un día nublado, hubo luz natural “suficiente”. Sin embargo, un factor importante que se observó en el sitio es que el personal, prende la luz artificial a pesar de no requerirla, lo que indica que hay factores de control del inmueble que perjudican el uso de la luz natural en el edificio.

En la misma gráfica se ve que el nivel máximo de iluminación fue de 2349 luxes, se registró en el fotómetro 2 entre las 11 y 12 horas. El fotómetro 4, registró el mínimo nivel de medición a partir de las 14 horas hasta las 17 horas.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

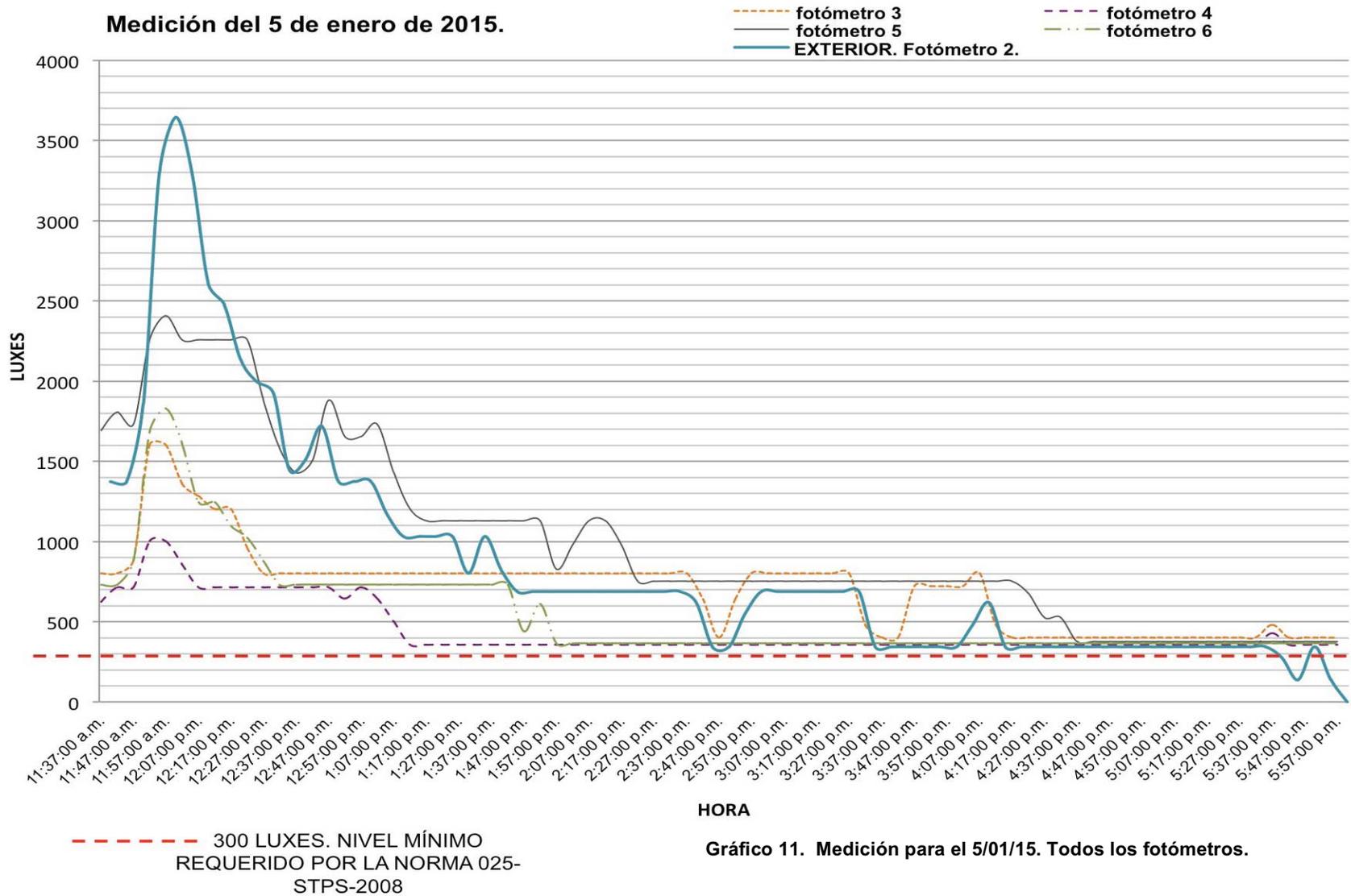


Gráfico 11. Medición para el 5/01/15. Todos los fotómetros.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

Así mismo es importante observar esta gráfica ya que en términos estrictos, este día presentó niveles bajos de iluminancia, debido a la nubosidad del día. Como ya se mencionó, este factor es determinante en el comportamiento del usuario, ya que el hecho de ver que el día no está soleado, provoca que las personas enciendan las luminarias, a pesar de no ser necesarias.

En la gráfica 13 se muestran los índices mínimos de iluminancia a cada hora. En este análisis destaca el comportamiento del fotómetro 4, ya que se obtuvo el mismo dato (360 luxes) durante todo el transcurso del día. Si bien es un nivel bajo comparado con el dato máximo registrado, sí cumple con la normativa de la STPS, al igual que el resto de los fotómetros.

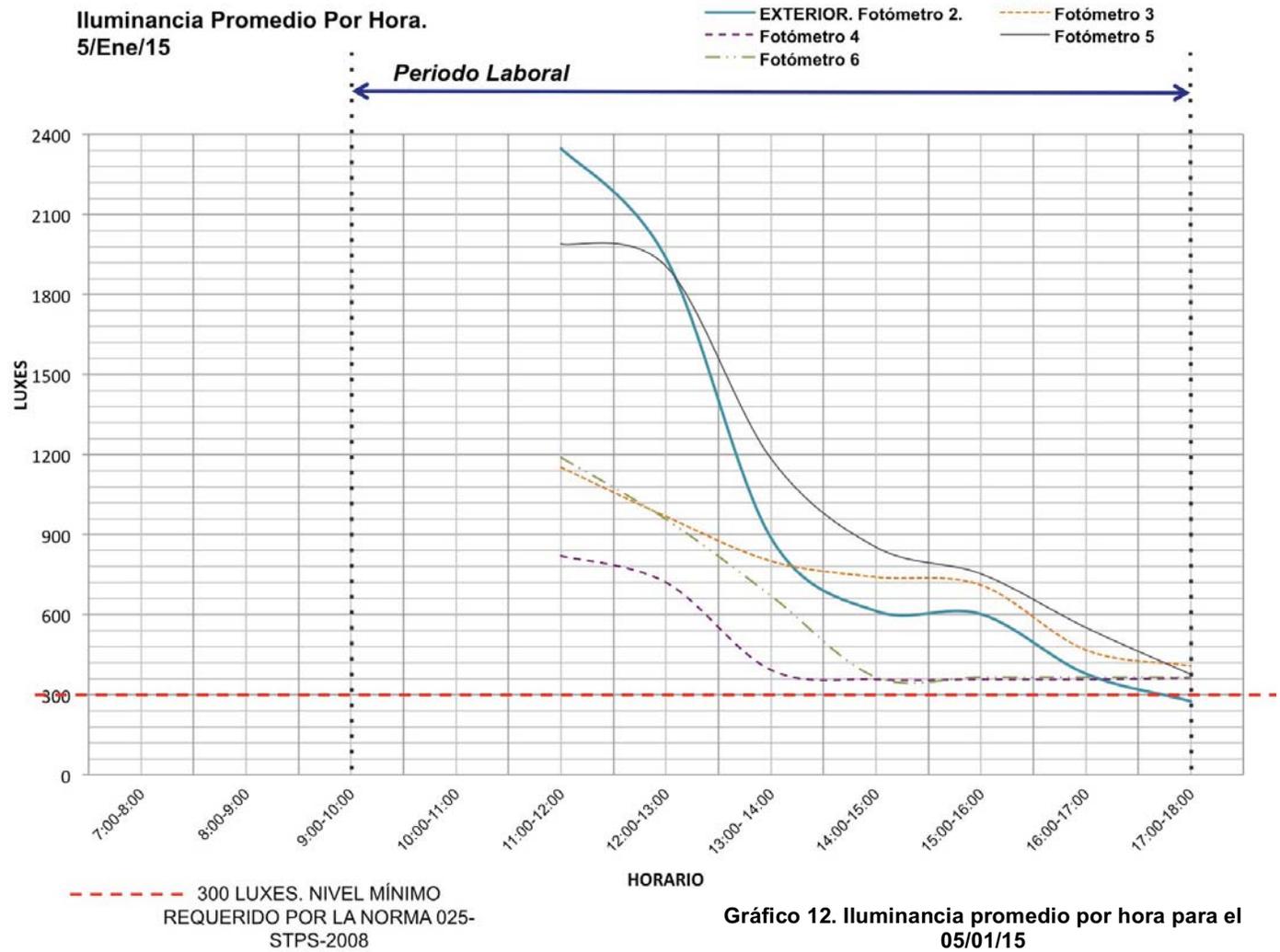
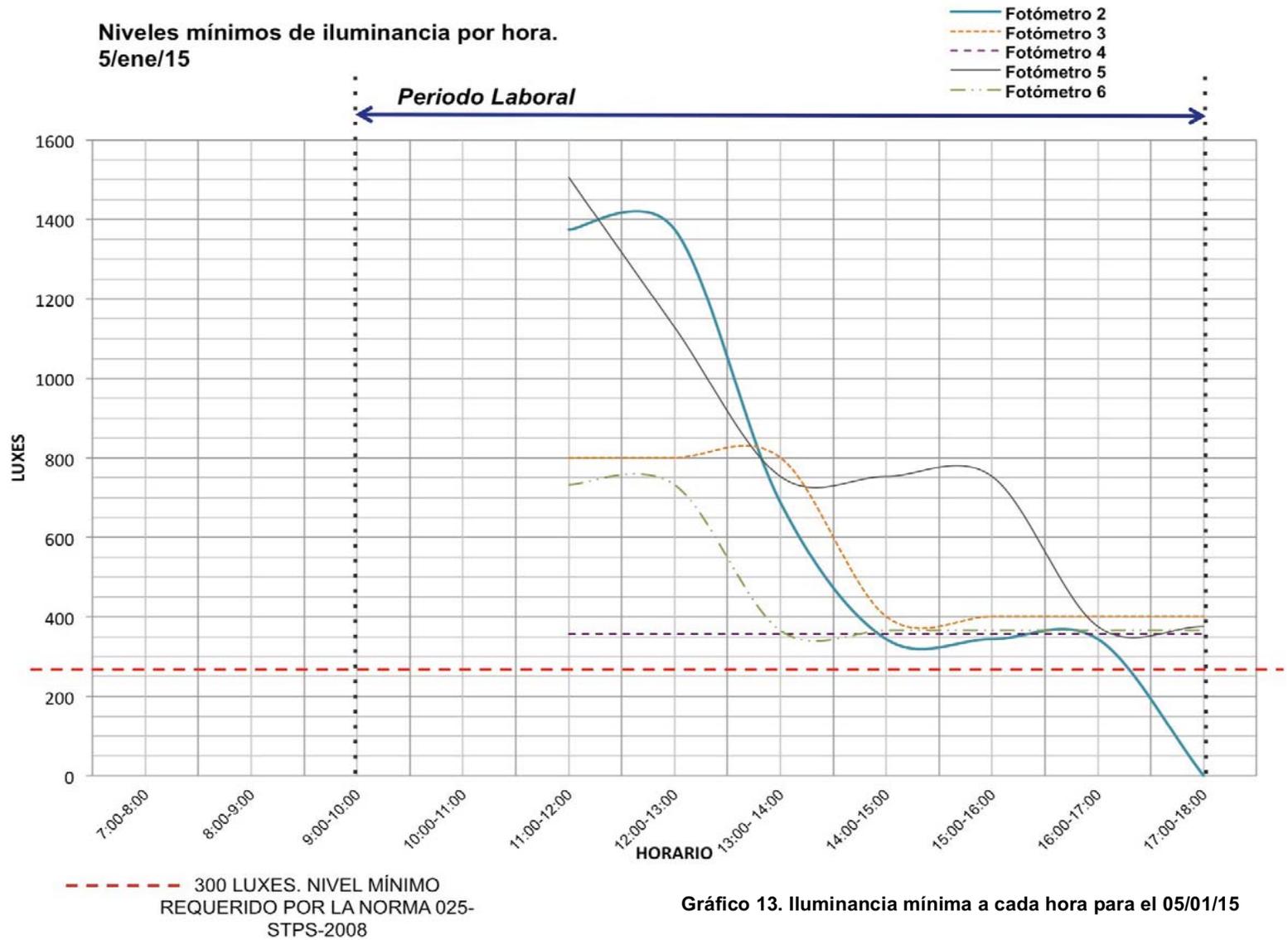


Gráfico 12. Iluminancia promedio por hora para el 05/01/15

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**



**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

5.3.3. Análisis de mediciones para el día 7 de enero de 2015.

Después de haber analizado el día más nublado de esta semana. Se procedió a elegir el día más soleado, el cual fue el día 7 de enero (miércoles)

En la gráfica 14 se muestran los resultados de todos los valores del total de los fotómetros. En este día se registró el nivel máximo de iluminancia de la semana, con un poco más de 16,000 luxes. Este dato se obtuvo en el fotómetro 2 a las 14:30 horas aproximadamente, el cual se colocó en el exterior de la fachada.

A primera vista se observa que a pesar de que fue un día mayormente soleado, existieron algunos periodos oscilantes de nubosidad, por lo que el comportamiento de los fotómetros es similar, pero evidentemente con distintos valores debido a la ubicación y orientación de cada fotómetro.

De todos estos fotómetros, resaltan los resultados del no. 2, ya que durante el transcurso del día, existen niveles mayores a los demás fotómetros. Más adelante se realizará una comparativa entre los fotómetros 2 y 3, ya que ambos se colocaron en la misma oficina, pero en diferente posición.

Nuevamente se marca el nivel mínimo requerido por la norma. Como se observa en la misma gráfica 14, los niveles de iluminación se mantienen superiores a los 300 luxes desde las 7 de la mañana y hasta las 6 de la tarde. En la tabla 31 se presentan los valores promedio en cada hora, se debe hacer énfasis en el horario laboral (9 a 18 horas), en donde se presentan estos resultados.

HORARIO	FOT. 2. EXTERIOR	FOT. 3.	FOT. 4.	FOT. 5.	FOT. 6.
7:00-8:00	235	401	357	251	366
8:00-9:00	665	401	357	834	500
9:00-10:00	1,307	541	524	1,411	738
10:00-11:00	877	401	411	1,348	519
11:00-12:00	2,304	975	667	1,493	1,459
12:00-13:00	3,799	2,383	1,275	1,054	3,863
13:00- 14:00	3,776	4,826	2,870	783	5,064
14:00-15:00	12,656	4,699	1,519	752	4,569
15:00-16:00	12,808	3,584	2,471	752	4,087
16:00-17:00	9,802	2,262	1,607	752	1,970
17:00-18:00	4,181	906	603	604	624

Tabla 31. Valores promedio por hora para el 07/01/15

Por lo que se observa en esta tabla, el fotómetro no. 2 es el que registró mayores niveles de iluminación, sobre todo entre las 14 y 15 horas, alcanzando los 12,656 luxes. El fotómetro 3, que se colocó en el mismo cubículo, registro 4,699 luxes, lo que indica la gran pérdida de iluminación del exterior al interior.

El fotómetro 5, que se colocó en la fachada norte, fue el que presenta los menores niveles lumínicos. A pesar de ello, sobrepasó el nivel mínimo requerido entre las 9 y 18 horas. En la gráfica no. 15 se puede ver el comportamiento de las curvas lumínicas promedio del día 7 de enero.

Los niveles promedio rebasan los 300 luxes en cada periodo, sin embargo conviene analizar los datos de los registros mínimos a cada hora en los fotómetros.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

Medición del 7 de enero de 2015.

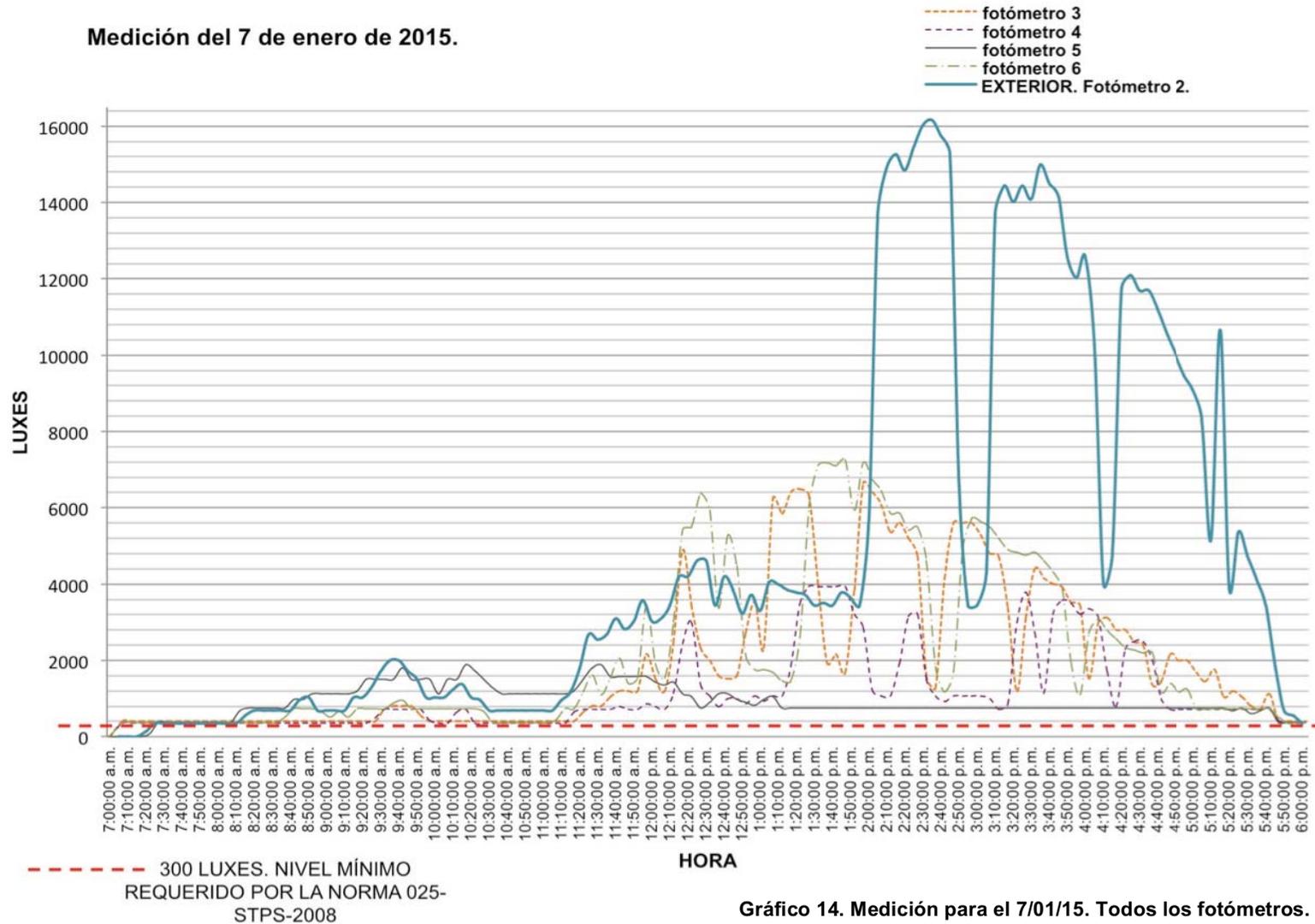


Gráfico 14. Medición para el 7/01/15. Todos los fotómetros.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

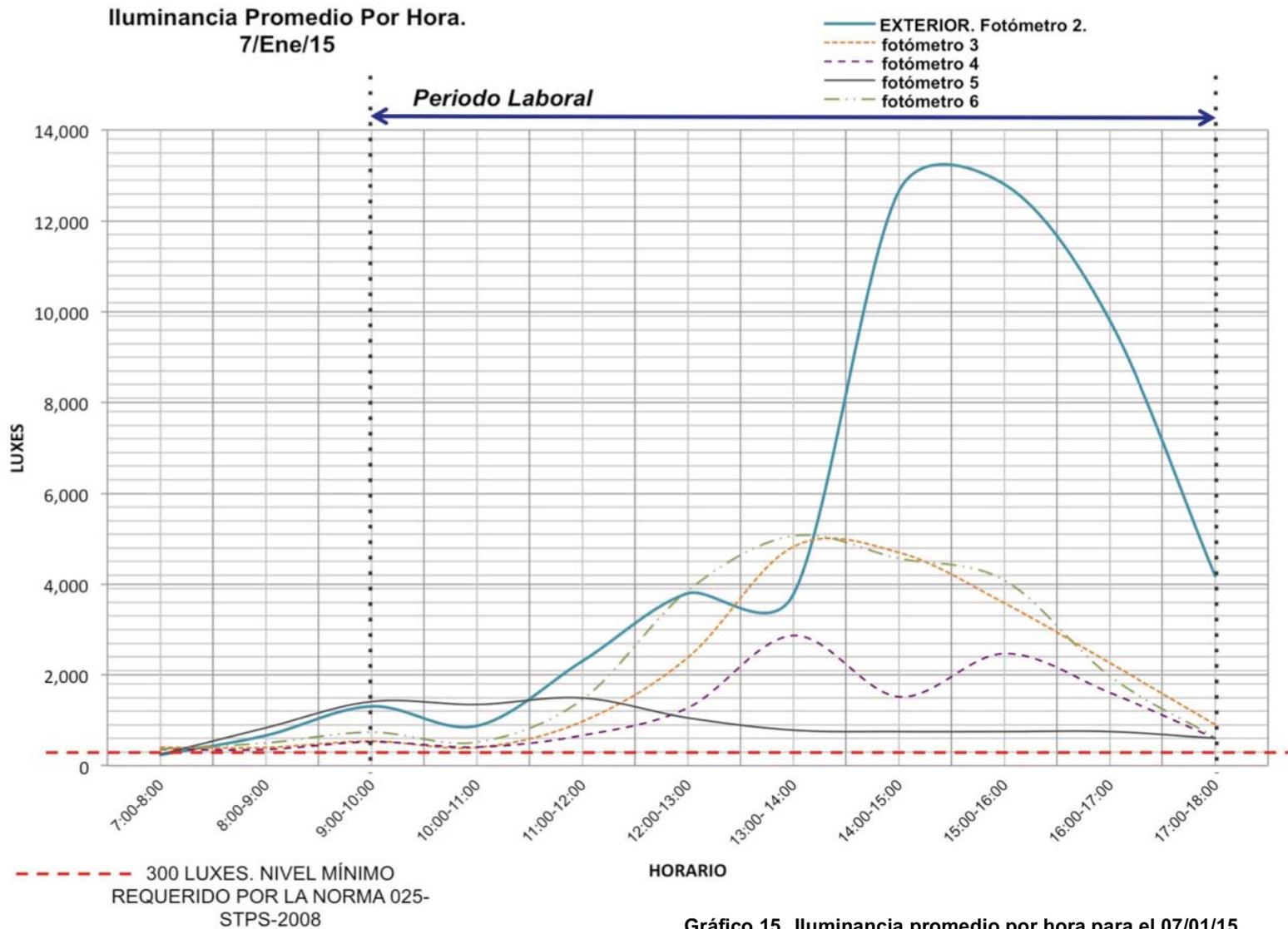


Gráfico 15. Iluminancia promedio por hora para el 07/01/15

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

En la gráfica 16 se aprecia que los fotómetros 3, 4 y 6 presentan el mismo comportamiento de 7 a 12 horas. Se destaca nuevamente que estos tres fotómetros fueron colocados en la fachada sur, pero en diferentes posiciones de esta fachada, como se ve claramente en la planta arquitectónica.

Ya se tiene conocimiento de que en esta fachada se encuentra el quiebravistas, por lo que se intuye que ésta ha influido en que los niveles mínimos de iluminancia sean similares, además de que también se observa que el cielo se encontraba menos despejado.

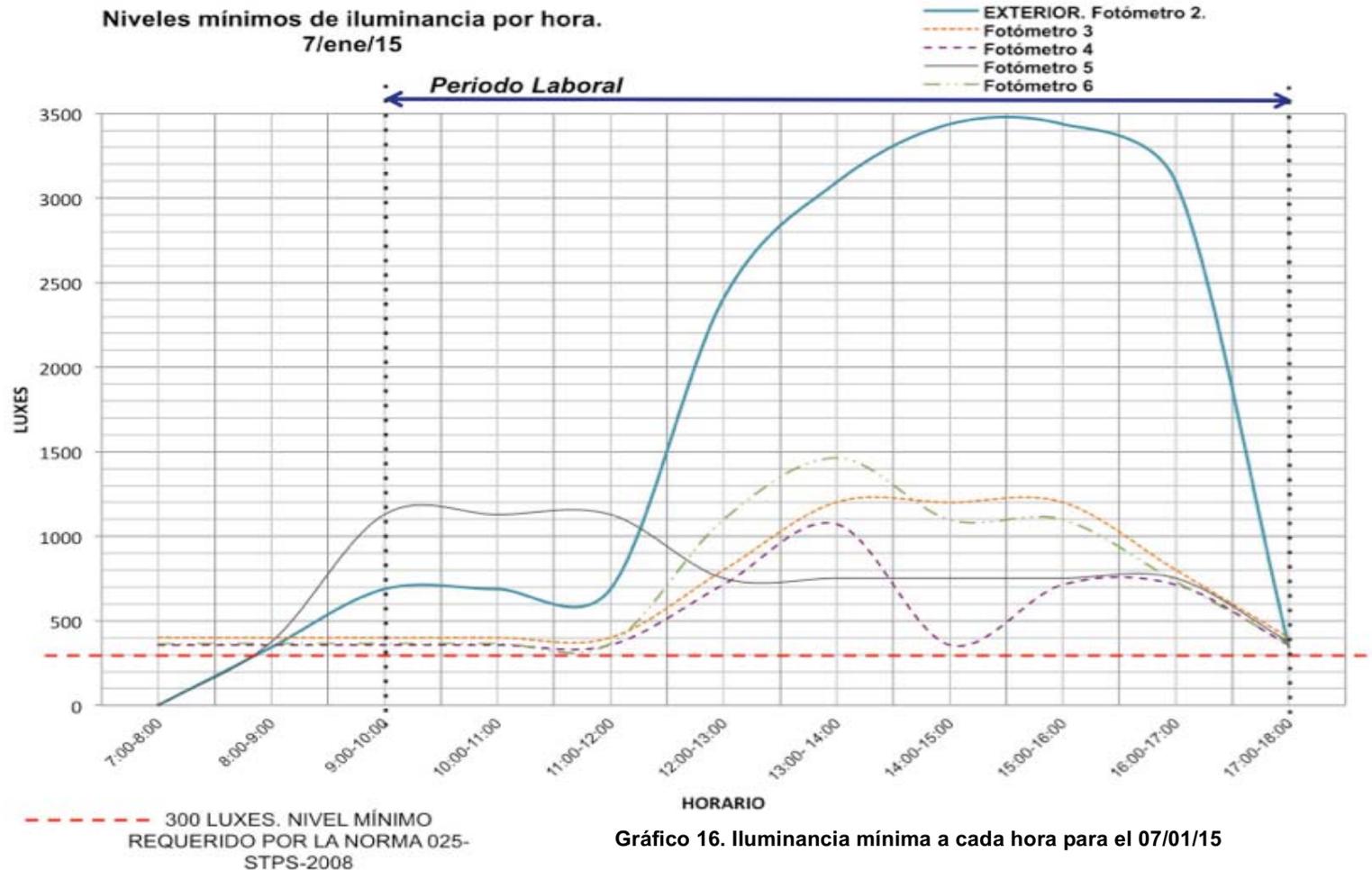


Gráfico 16. Iluminancia mínima a cada hora para el 07/01/15

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

A partir de las 12, estos fotómetros, así como el resto, incrementan el nivel. El nivel “máximo” registrado fue de 3437 luxes, cifra que indica que sí hubo suficiente luz natural para poder realizar las actividades dentro del área de trabajo.



Imagen 64. Fotómetros 2 y 3 a las 10 am del 7 de enero de 2015.



Imagen 65. Fotómetro 5 a las 10 am del 7 de enero de 2015.

Resulta importante englobar el periodo de trabajo, así como la línea del nivel mínimo pedido por la norma, para que note que se alcanzan las proporciones en cuanto a iluminación en estos espacios de oficinas. Después de haber analizado la semana general y casos específicos del día más nublado y el día más soleado, resulta interesante analizar cada fotómetro.



Imagen 66. Área de crucetas a las 10 am del 7 de enero de 2015.

5.3.4. Análisis del fotómetro 2 durante toda la semana.

En primer lugar se le dará prioridad al análisis del fotómetro 2, es necesario recordar que este fotómetro se colocó de manera vertical entre el quiebravistas y la fachada de cristal, por lo que es el parámetro que se tiene en el exterior y en el sur.

De manera individual se observa el mismo fenómeno que en las gráficas de toda la semana. El día 5 de enero fue un día nublado, a primera vista resaltan los bajos niveles de iluminación comparado con los otros días, sobre todo con el miércoles 7 de enero. En éste, se nota que durante la mañana estuvo nublado, y que los niveles de luz se incrementaron

Arq. Bethania Hernández Barrera

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

conforme transcurría el día. Se alcanzó poco más de 16,000 luxes con algunas nubes esporádicas.

En general, los datos registrados en este fotómetro son mayores a 300 luxes, si bien los días presentaron periodos nublados, son suficientes para cumplir con la norma. Sin embargo, este fotómetro no es determinante ya que como ya se mencionó, se colocó en el exterior. Por lo que más adelante se realizará una comparativa entre este fotómetro y el colocado en el interior.

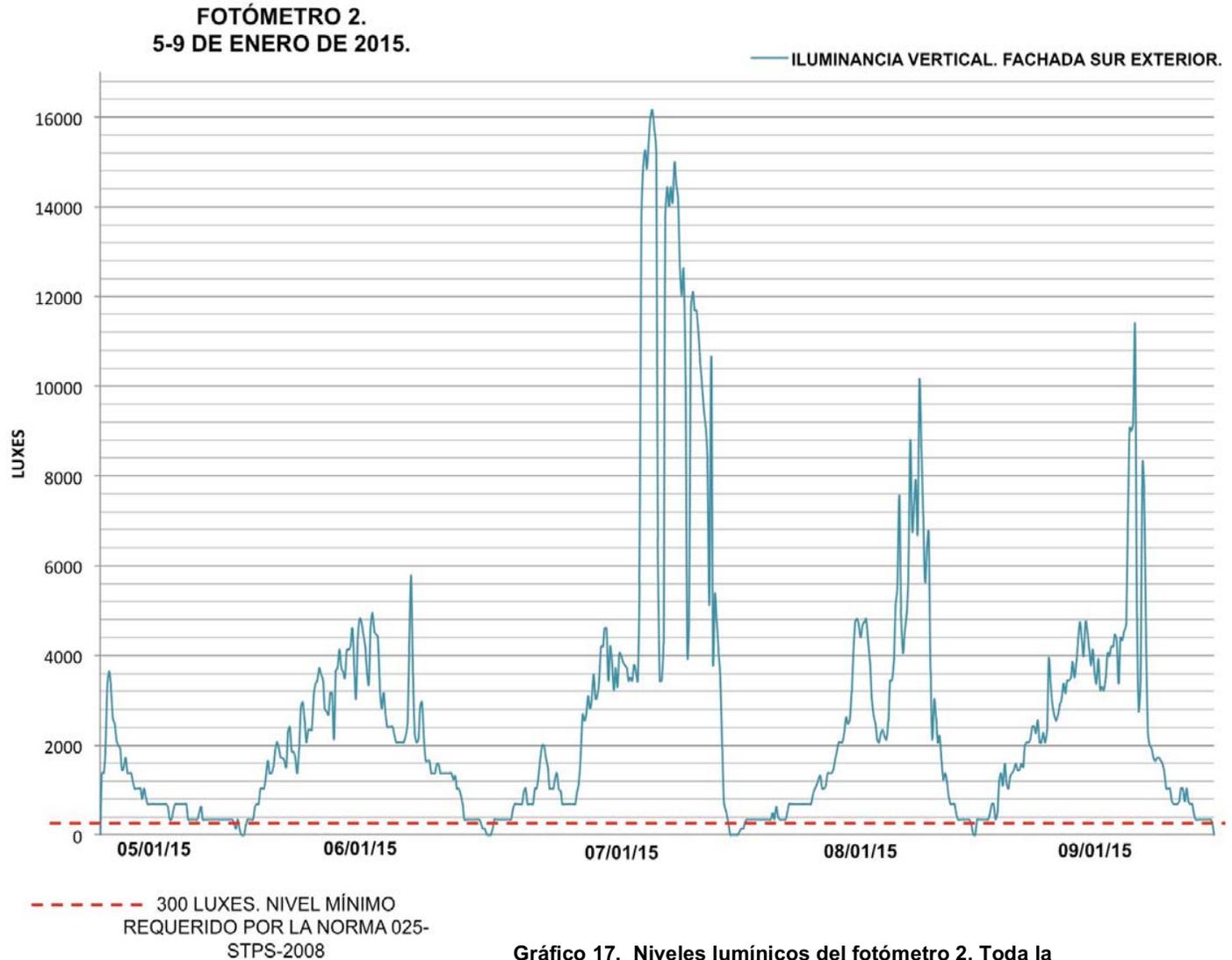


Gráfico 17. Niveles lumínicos del fotómetro 2. Toda la semana.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

5.3.5. Análisis del fotómetro 3 durante toda la semana.

El fotómetro 3 se colocó en el mismo espacio que el fotómetro 2, solo que de manera horizontal y en el escritorio de trabajo. Nuevamente se puede observar que el comportamiento de los niveles lumínicos es similar al del fotómetro 2.

El día 5 de enero se presentaron los menores niveles de iluminación de toda la semana, de las 12 a las 14 horas se registraron los mismos datos: 800 luxes. Resulta un poco extraño que se haya conservado el mismo número durante dos horas continuas, lo que habla de una obstrucción en el exterior, principalmente por la celosía que no permite el paso completo de la luz, así como la sombra de los árboles durante este día.

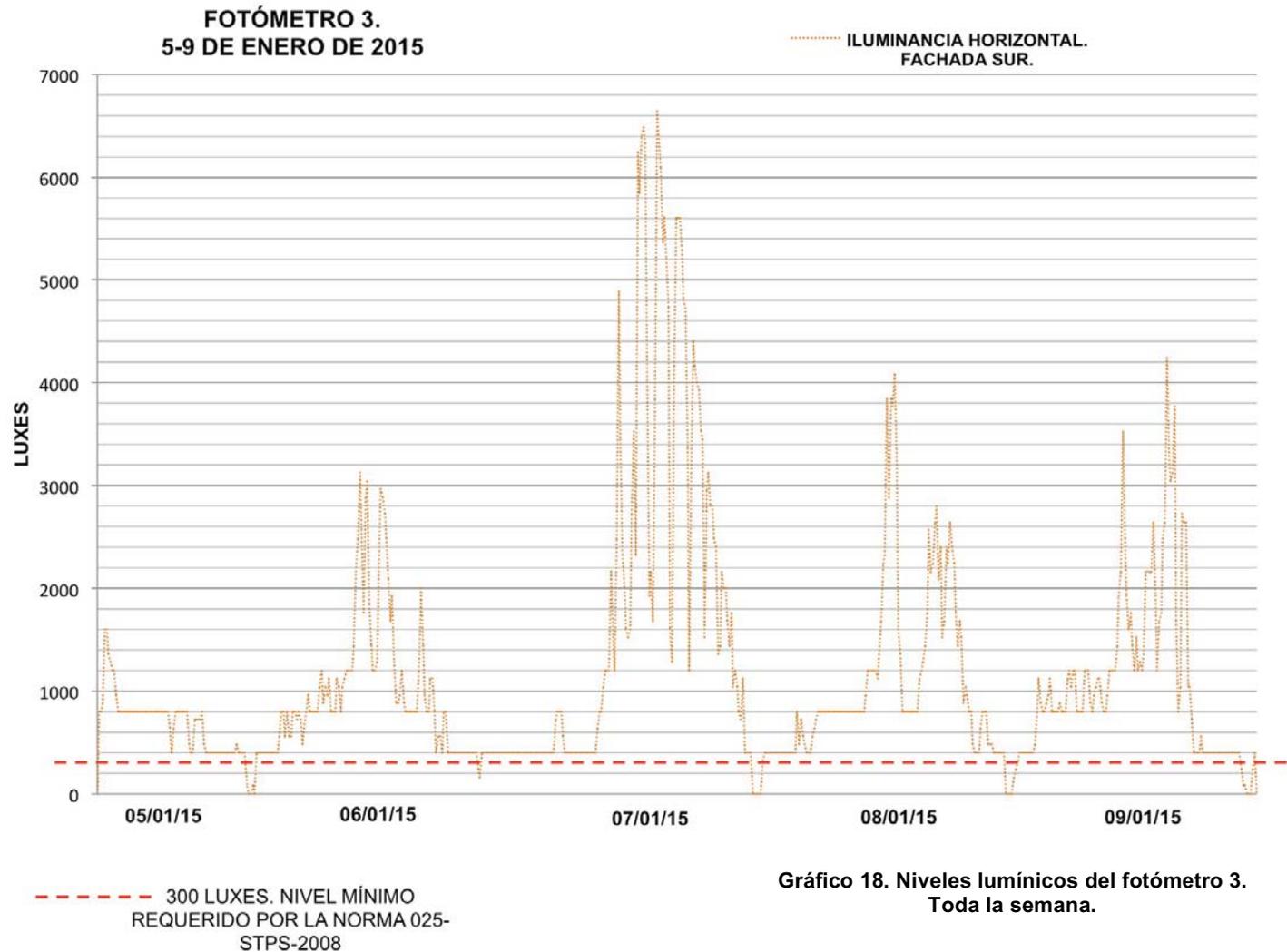


Gráfico 18. Niveles lumínicos del fotómetro 3. Toda la semana.

Así también se observa que disminuyeron en demasía a partir de las 16:20 horas, hasta las 18 horas en donde se mantuvieron en 400 luxes aproximadamente.

Arq. Bethania Hernández Barrera

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

El 6 de enero se registraron mayores niveles lumínicos, a las 12 del día se alcanzaron poco más de 3,000 luxes. Y durante todo el día se presentaron niveles mayores a los 300 luxes. A pesar de ello, hubo periodos de nubosidad, sobre todo durante la mañana.

En cuanto al 7 de enero, al igual que en el fotómetro 2, fue el día más soleado. De acuerdo a la gráfica, se nota que también hubo algunos periodos intermitentes de nubosidad, ya que en algunos puntos disminuye la iluminación.

El día 8 y 9 (jueves y viernes), presentan el mismo comportamiento, siendo el nivel más bajo de 400 luxes entre las 7 y 8 horas (lo cual no afecta a las labores), a partir de esa hora, incrementan a los 800 luxes, y finalmente alcanzaron poco más de 4,000 luxes a medio día. (Ver gráfica 18)

5.3.6. Análisis del fotómetro 5 durante toda la semana.

Este fotómetro fue el único que se colocó en la fachada norte, por lo que es oportuno realizar algunas observaciones respecto a las mediciones obtenidas de este equipo, para contrastar los datos de acuerdo a la ubicación:

- * La gráfica 19 indica que los niveles lumínicos registrados en dicho fotómetro son constantes, es decir, no se ve ningún dato sobresaliente o algún “pico” que resalte como en los datos de los otros fotómetros. Se debe recordar que el día 7 de enero fue el que registró el nivel máximo de luxes en la fachada sur.
- * El nivel mínimo registrado diariamente fue de 400 luxes entre 7 y 8 horas, mismas en las que no se está tomando como horario laboral. A partir de las 8:22

aproximadamente, incrementa el nivel de iluminación natural, en el que llega hasta los 2,000 luxes en promedio cada día.

- * La gráfica indica que en esta semana los días no fueron completamente soleados. Hubo nubosidad que se refleja en las variaciones de la gráfica, pero ninguna oscilación representativa.
- * Como se observa en la foto, esta fachada no tiene “doble piel”, y es completamente acristalada, por lo que la iluminación natural es mejor aprovechada.
- * En el día 7 de enero, se registró el mismo dato de luxes entre las 13 y 17 horas. Aunque es un fenómeno un tanto anormal por la variabilidad de la luz, se asume que se mantuvieron dichos niveles por algún movimiento del fotómetro.

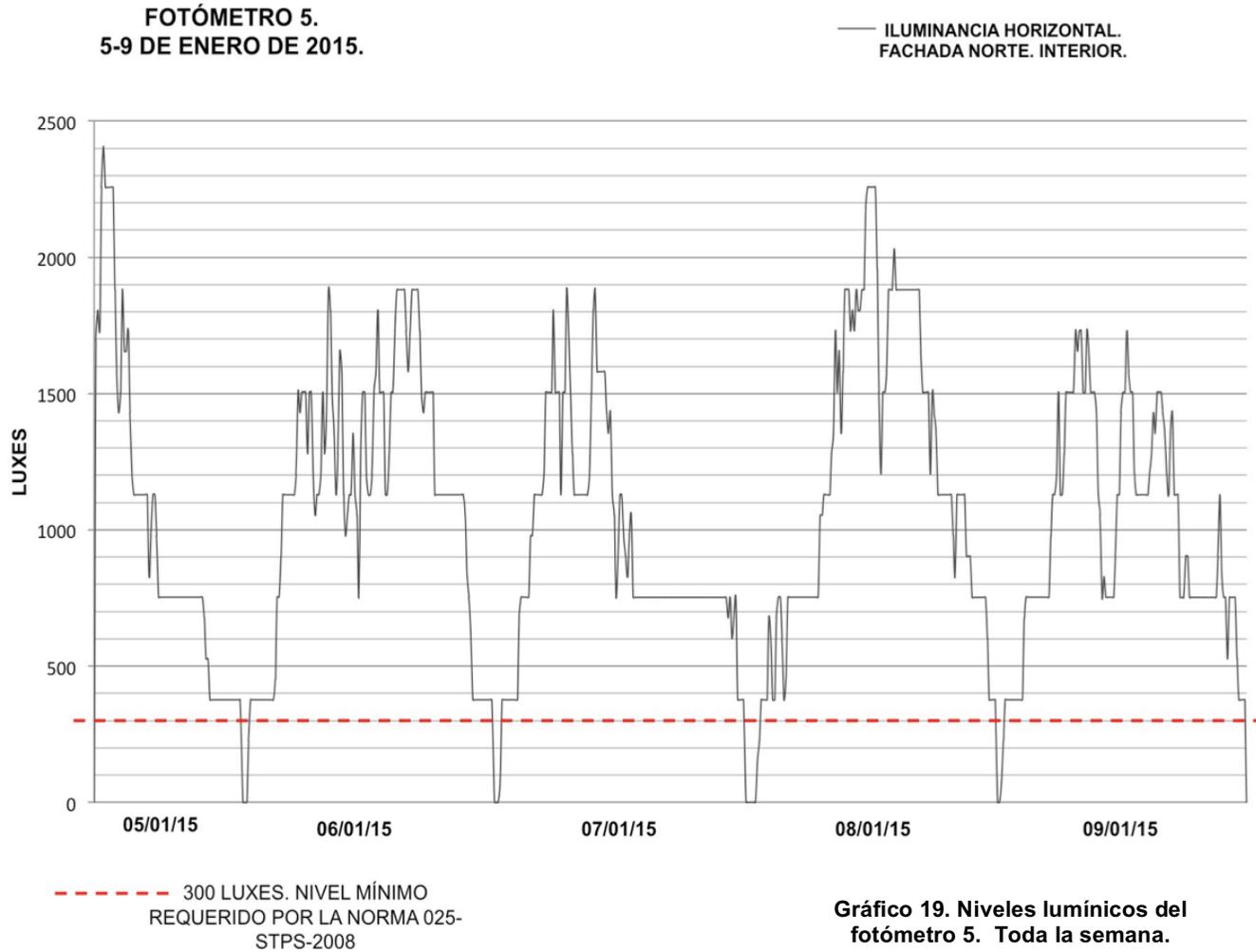


Imagen 67. Oficina en donde se colocó el fotómetro 5.

- * En esta fachada, las mediciones indican que la norma se cumple sin ningún problema; nuevamente se

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

señala el nivel de 300 luxes requeridos por la NOM-025.



**Gráfico 19. Niveles lumínicos del
fotómetro 5. Toda la semana.**

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

5.3.7. Análisis del fotómetro 4 y 6 durante toda la semana.

A continuación se presentarán los resultados de los fotómetros 4 y 6. Se tomó la decisión de realizar un análisis en conjunto por la posición en la que se colocaron estos aparatos, que fue en el área común. Cabe mencionar que en esta área, las luminarias permanecen encendidas durante todo el día, por lo que los registros obtenidos en estos fotómetros podrían haber recibido iluminación artificial; debido a esto, se ha determinado que los resultados más confiables en cuanto a registros de iluminación natural son los obtenidos en los fotómetros 2, 3 y 5.

Esto no indica que no se deban tomar en cuenta las mediciones en esta área, pero sí plantean la posibilidad de realizar una medición en la que se tenga el control completo del inmueble, para no encender las luminarias en periodos de trabajo y poder tener registros con mayor confiabilidad.

Retomando la posición de estos fotómetros, se debe destacar que el no. 4 se ubicó en uno de los cristales, entre dos módulos de escritorios. A una altura de 80 cm (tomando en cuenta el plano de trabajo en sitio) y a una distancia de 60 cm de la primera línea de luminarias. El fotómetro 6 se colocó a la misma altura, sobre uno de los escritorios de trabajo, y como se observa en la imagen 69, a 10 cm de la misma hilera de luminarias, por lo que preliminarmente se observa que recibió de una manera directa de la iluminación artificial.

Los datos registrados en las mediciones determinarán si este planteamiento es verdadero.

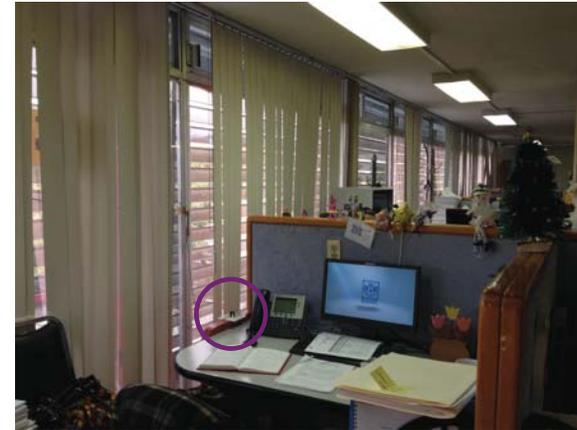


Imagen 68. Fotómetro 6 en escritorio.

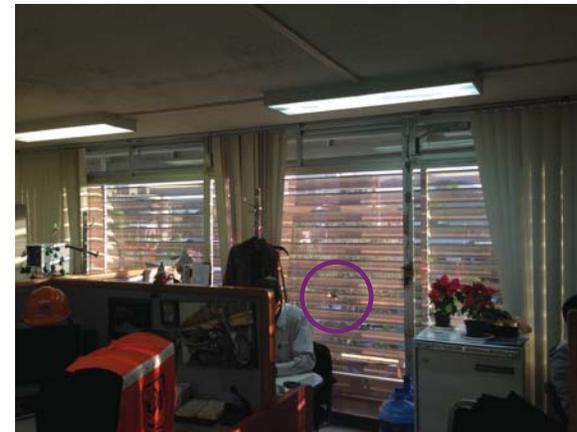


Imagen 69. Fotómetro 4 en fachada de cristal.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

Al regresar y ver la gráfica 8, se nota claramente que el fotómetro 4 registró niveles menores al fotómetro 6. En las gráficas 20 y 21 se nota la diferencia entre dichos niveles. Mientras que el fotómetro 4 registra niveles no mayores a

4,000 luxes, en la gráfica 21 se nota que el fotómetro 6 sobrepasa 7,000 luxes.

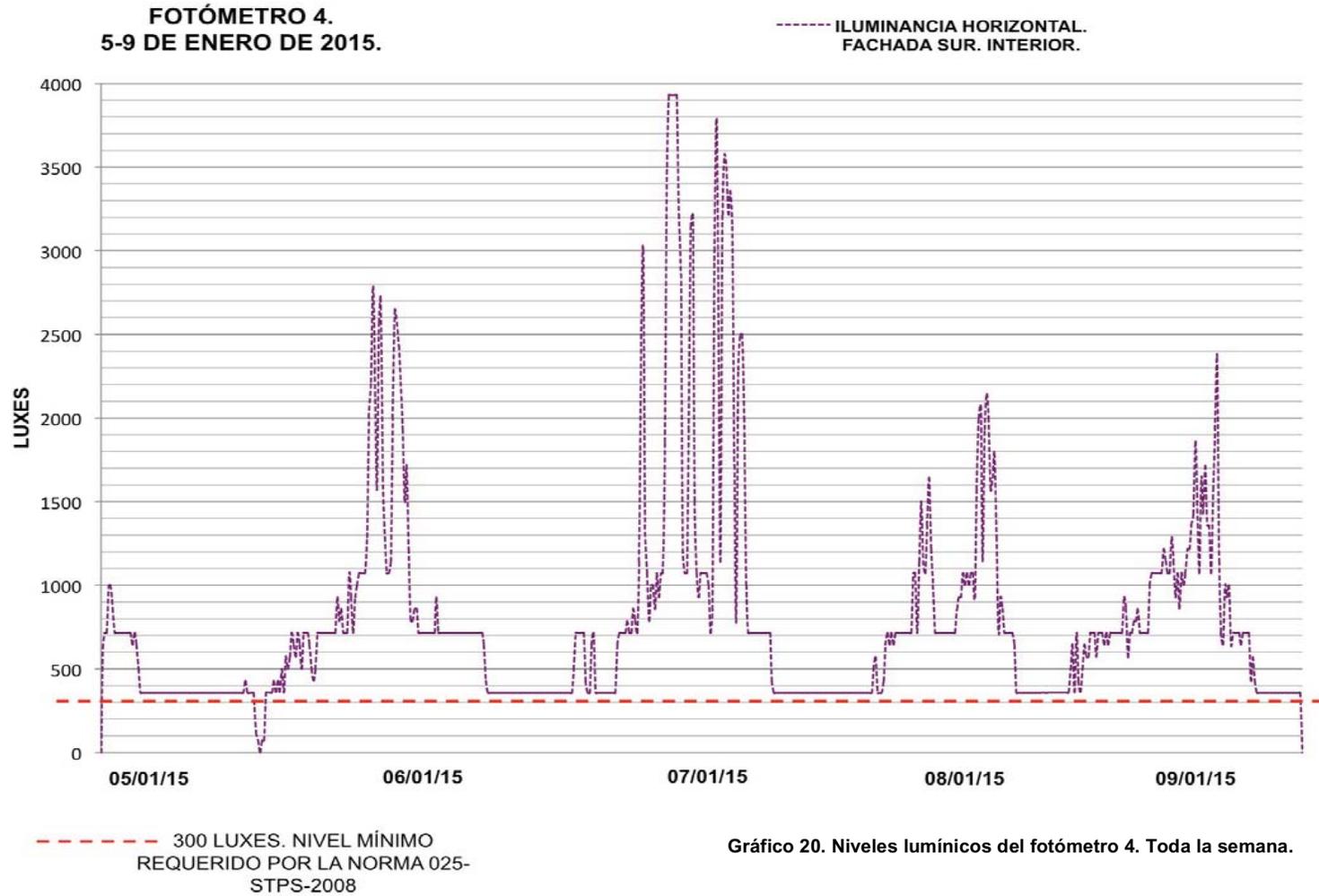


Gráfico 20. Niveles lumínicos del fotómetro 4. Toda la semana.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

Si bien las curvas y comportamiento de ambos fotómetros fue similar, ya que se observa que el lunes fue un día nublado, el 6 de enero medio nublado, el 7 de enero soleado con periodos de nubes, y el 8 y 9 medio nublados.

Como ya se dijo en párrafos anteriores, hay entre 40 y 50 cm de diferencia de colocación entre estos dos dispositivos. Pero el fotómetro 6 es el que más cercano a las luminarias, por lo que se intuye que efectivamente recibió iluminación artificial; lo que afirma que estos resultados son producto de la combinación de ambos tipos de luz.

En cuanto a los resultados del fotómetro 4, la diferencia entre éste y el no. 6, indica que fue iluminación natural la registrada. Mismo que también rebasa el mínimo de 300 luxes requeridos por la norma.

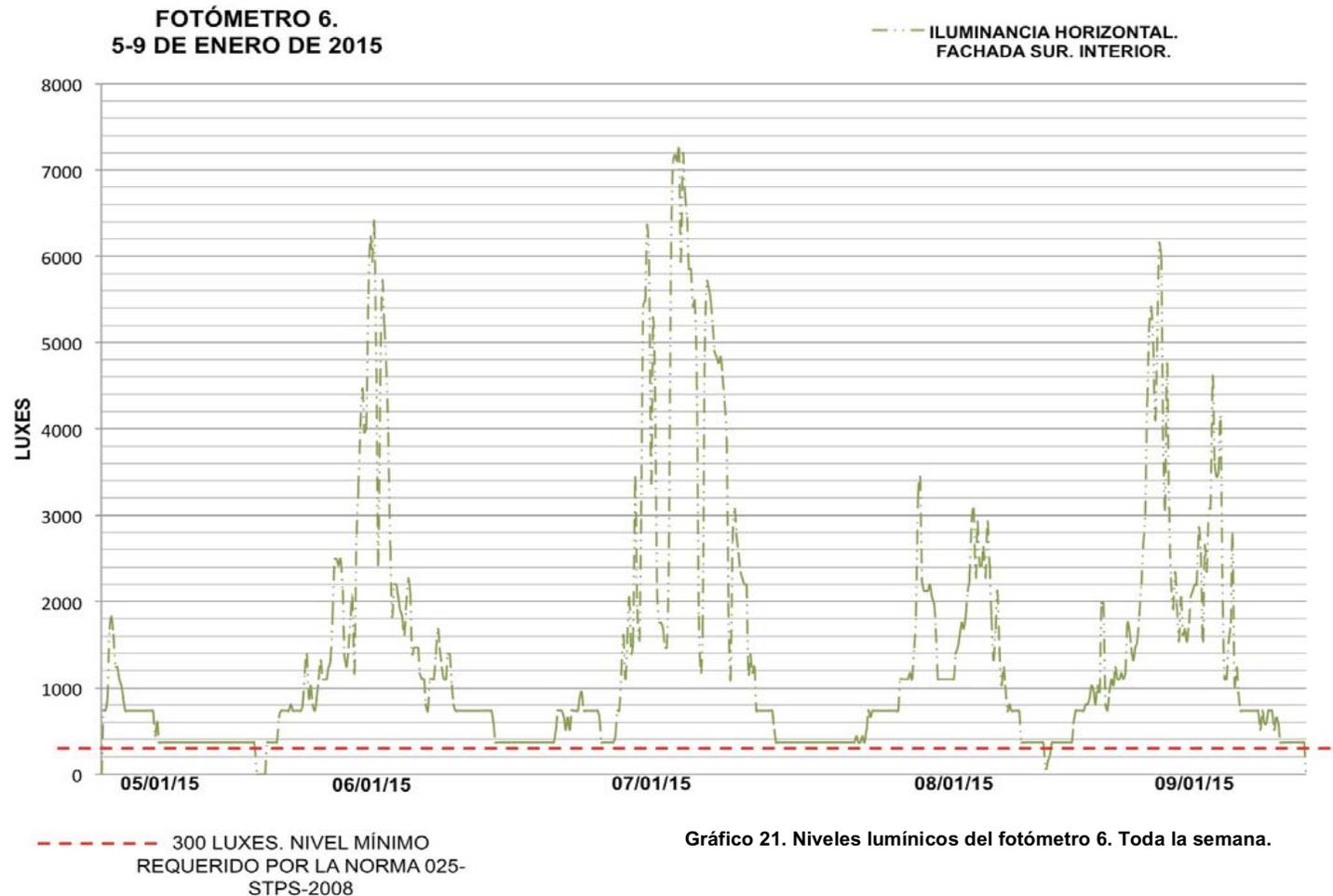


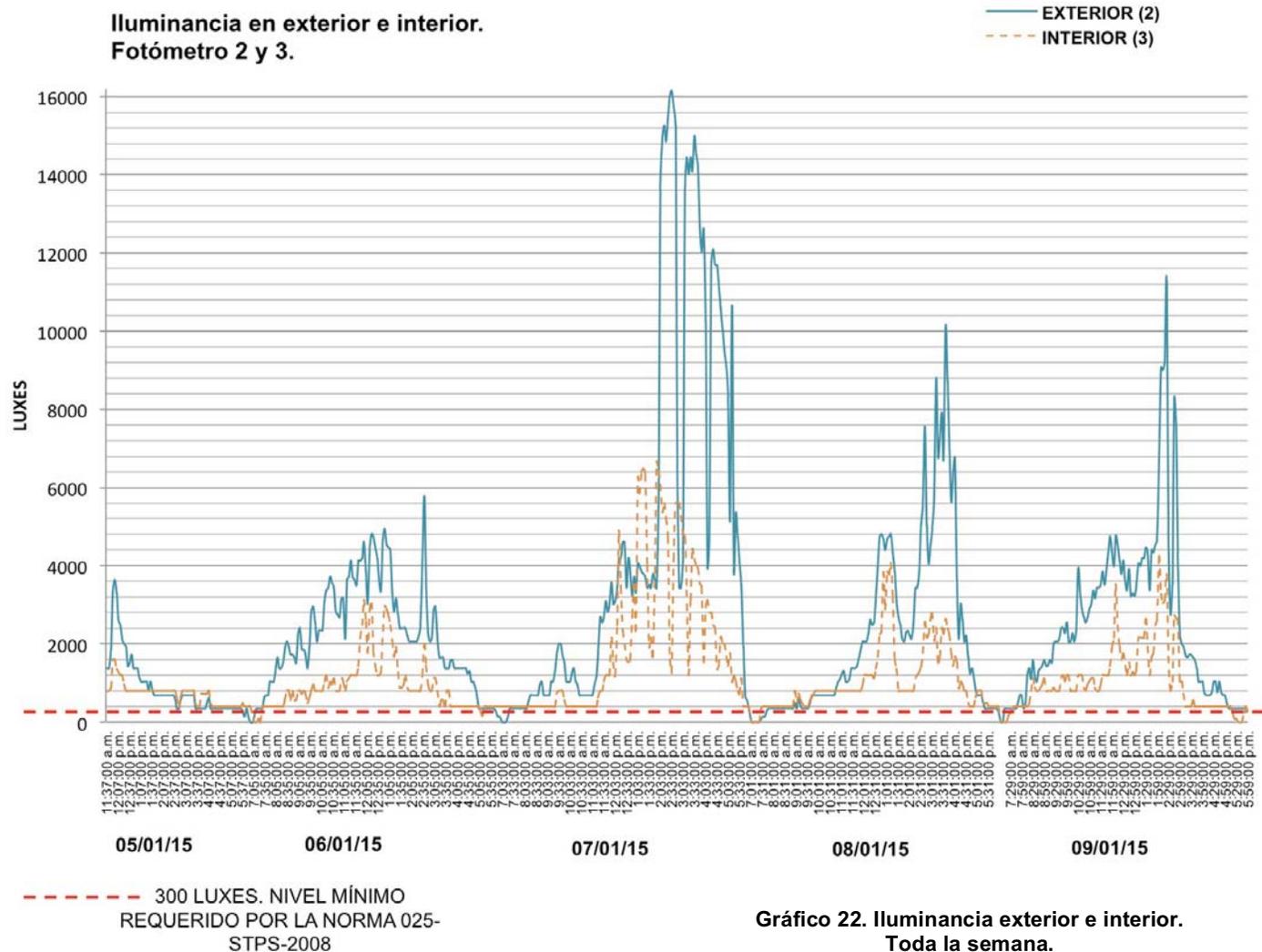
Gráfico 21. Niveles lumínicos del fotómetro 6. Toda la semana.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

5.3.8. Análisis del fotómetro 2 y 3 (Exterior e interior)

Otro aspecto importante por analizar, es la relación que existe entre la iluminación que se pierde del exterior al interior. Por ello se buscó hacer una comparativa entre lo dos fotómetros que se colocaron en la misma oficina, el 2 se encontraba de manera vertical, mientras que el 3 se colocó de forma horizontal en el plano de trabajo.

Al hacer una primera observación de la gráfica no. 22 se nota claramente la diferencia de niveles lumínicos entre ambos fotómetros. Visiblemente se nota que el fotómetro exterior registró mayores niveles durante toda la semana, a excepción del día 7 de enero, en donde se ubica un periodo entre 12 y 14 horas, en las que resalta que el fotómetro interior tuvo mayor registro de luxes.

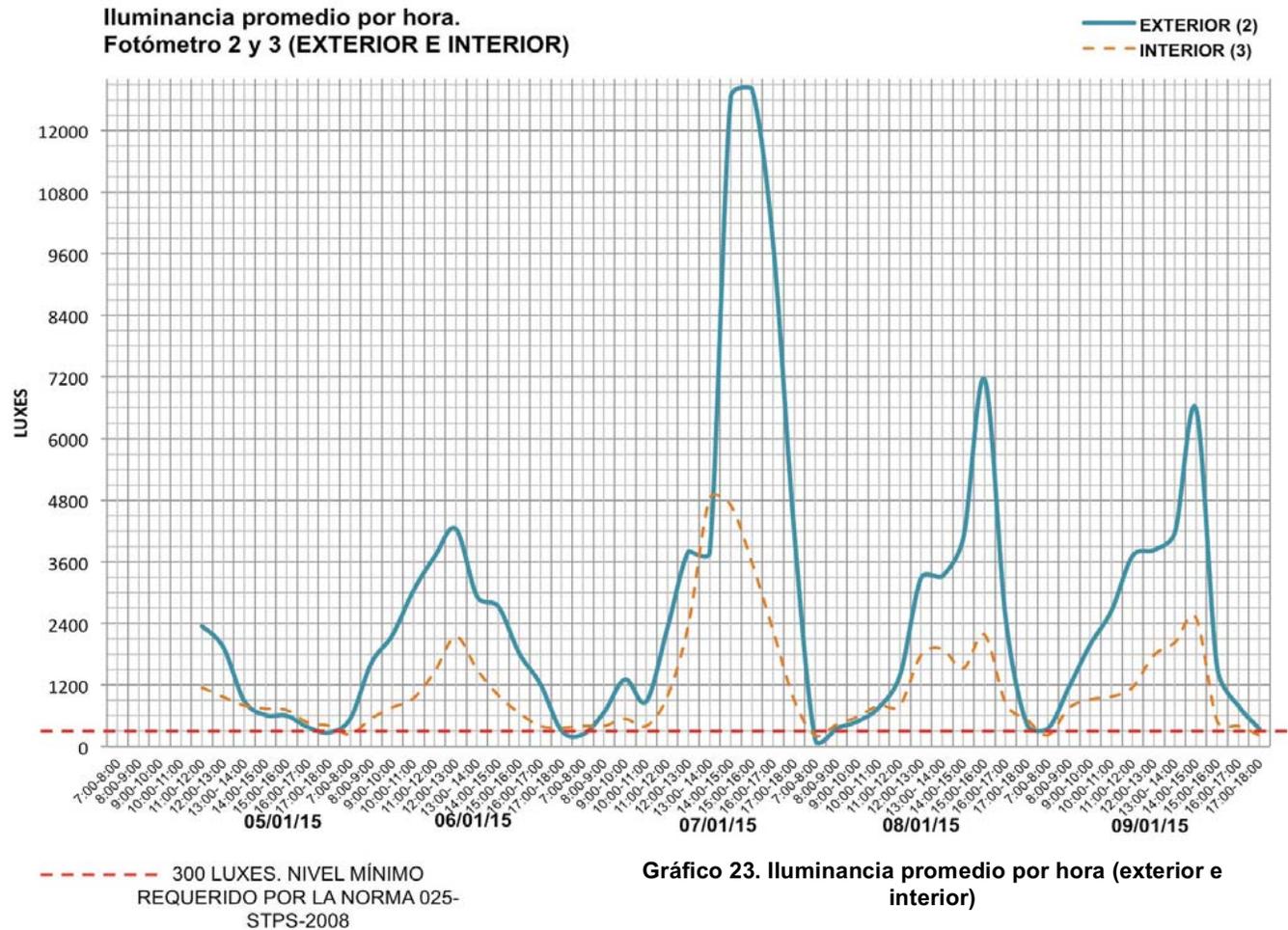


**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

Justamente ese día correspondió al día más soleado de toda la semana. Resalta que este fenómeno de mayor registro en el interior que en el exterior solo sucedió este día, a diferencia de los demás días en los que siempre hubo más luxes afuera.

Es posible que este fenómeno se deba a que el fotómetro 3 también haya recibido iluminación directa, y a que precisamente los orificios del quebravistas, no hayan impedido el paso de dicha luz.

Al hacer una correlación con los datos que se obtuvieron de estos dos fotómetros, se encontró que en promedio hay una pérdida del 55% de iluminación del exterior al interior, sin embargo en algunas horas se ubicaron altos porcentajes de pérdida entre ambos equipos.



**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

FECHA	HORARIO	Fotómetro 2 EXTERIOR	Fotómetro 3	PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE ILUMINANCIA DEL EXTERIOR AL INTERIOR (%)
05-ene-15	7:00-8:00			
	8:00-9:00			
	9:00-10:00			
	10:00-11:00			
	11:00-12:00	2349	1152	51
	12:00-13:00	1937	968	50
	13:00- 14:00	888	801	10
	14:00-15:00	613	741	-21
	15:00-16:00	602	711	-18
16:00-17:00	378	468	-24	
17:00-18:00	275	408	-48	
06-ene-16	7:00-8:00	539	241	55
	8:00-9:00	1623	548	66
	9:00-10:00	2173	762	65
	10:00-11:00	3044	941	69
	11:00-12:00	3703	1462	61
	12:00-13:00	4241	2143	49
	13:00- 14:00	2928	1502	49
	14:00-15:00	2733	1001	63
	15:00-16:00	1816	654	64
16:00-17:00	1215	401	67	
17:00-18:00	310	368	-19	
07-ene-15	7:00-8:00	235	401	-71
	8:00-9:00	665	401	40
	9:00-10:00	1307	541	59
	10:00-11:00	877	401	54
	11:00-12:00	2304	975	58
	12:00-13:00	3799	2383	37
	13:00- 14:00	3776	4826	-28
	14:00-15:00	12656	4699	63
	15:00-16:00	12808	3584	72
16:00-17:00	9802	2262	77	
17:00-18:00	4181	906	78	

En la tabla 31 se muestran todos los datos promedio entre cada hora, durante toda la semana, en donde resaltan datos como el 78% de diferencia el día 7 de enero entre 17 y 18 horas, por ejemplo.

FECHA	HORARIO	Fotómetro 2 EXTERIOR	Fotómetro 3	PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE ILUMINANCIA DEL EXTERIOR AL INTERIOR (%)
08-ene-15	7:00-8:00	132	221	-67
	8:00-9:00	355	428	-20
	9:00-10:00	493	581	-18
	10:00-11:00	763	801	-5
	11:00-12:00	1387	808	42
	12:00-13:00	3284	1783	46
	13:00- 14:00	3318	1903	43
	14:00-15:00	4074	1522	63
	15:00-16:00	7156	2176	70
16:00-17:00	2498	841	66	
17:00-18:00	440	526	-19	
09-ene-16	7:00-8:00	355	227	36
	8:00-9:00	1164	755	35
	9:00-10:00	1989	921	54
	10:00-11:00	2648	975	63
	11:00-12:00	3714	1155	69
	12:00-13:00	3828	1776	54
	13:00- 14:00	4171	2029	51
	14:00-15:00	6578	2503	62
	15:00-16:00	1536	494	68
16:00-17:00	797	401	50	
17:00-18:00	344	221	36	

El promedio de pérdida de iluminancia del exterior al interior (sin contar los datos negativos) es de **55%**

Tabla 32. Pérdida de iluminancia del exterior al interior.

Existen otros periodos en los que el registro lumínico fue mayor en el fotómetro 3, datos que indican que el fotómetro registró iluminancia directa, y que estos niveles fueron aún más favorables en el interior que en el exterior. En

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

color rojo se marcan dichos valores. Y es importante destacar que esos datos no fueron tomados en cuenta en la obtención del 55% de pérdida.

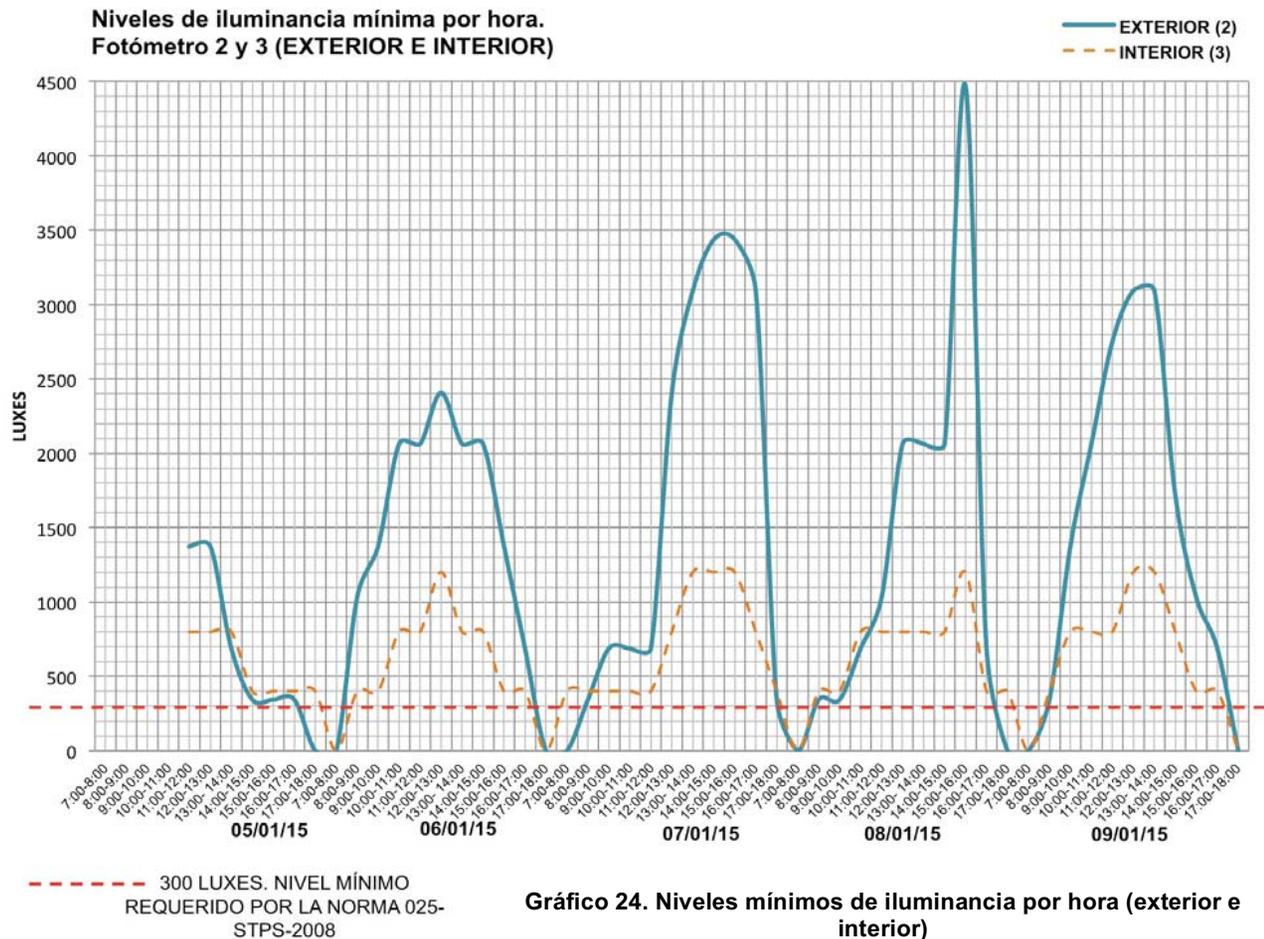
Así mismo, resulta importante obtener los promedios a cada hora, así como los niveles mínimos entre estos dos dispositivos. En las gráficas 23 y 24 se presentan los resultados obtenidos; y se señala el nivel mínimo que requiere la norma, 300 luxes, que se ha recalcado a lo largo de este documento.

En cuanto a los niveles mínimos que solicita la normativa mexicana, se muestra que en ambos análisis, dicha norma es superada, por lo que cumple sin problema.

En este caso resulta más importante que los niveles mínimos por hora, sean mayores que la norma, porque esto indica que en las peores condiciones lumínicas hay iluminación para realizar las actividades laborales. Otro aspecto sería entender y saber si realmente este nivel mínimo es óptimo para dicha actividades.

Un tema adicional y de suma importancia es que esta

Arq. Bethania Hernández Barrera



norma menciona que: “Cuando sí influye la luz natural en la instalación, el turno en horario diurno (sin periodo de oscuridad en el turno o turnos) y turnos en horario diurno y nocturnos (con periodo de oscuridad en el turno o turnos), deberán efectuarse 3 mediciones en cada punto o zona determinada distribuidas en un turno de trabajo que pueda

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

presentar las condiciones críticas de iluminación de acuerdo a lo siguiente:

- * Una lectura tomada aproximadamente en la primera hora del turno;
- * Una lectura tomada aproximadamente a la mitad del turno, y
- * Una lectura tomada aproximadamente en la última hora del turno.”

Las mediciones efectuadas dentro de las instalaciones no presentarían problema con lo que menciona la norma porque fueron realizadas durante la semana completa, abarcando todos los horarios.

5.3.9. Análisis de los niveles de iluminancia en el exterior e interior (iluminancia global horizontal)

Finalmente se decidió realizar un análisis y comparativa entre los niveles de iluminancia del exterior en el Distrito Federal (iluminancia global horizontal) y los niveles de iluminancia en el interior.

Para este análisis se utilizaron las mediciones del Observatorio de Radiación Solar del Instituto de Geofísica, con el objetivo de conocer la disponibilidad de luz natural en la

Ciudad de México y compararla con la cantidad de iluminancia recibida en el caso de estudio. En el caso del interior, se decidió analizar el fotómetro no. 3, debido a la colocación de manera horizontal. Con los datos de ambos fotómetros se obtuvo la gráfica no. 25.

Comparativa entre iluminancia global horizontal en el exterior e iluminancia horizontal en el interior

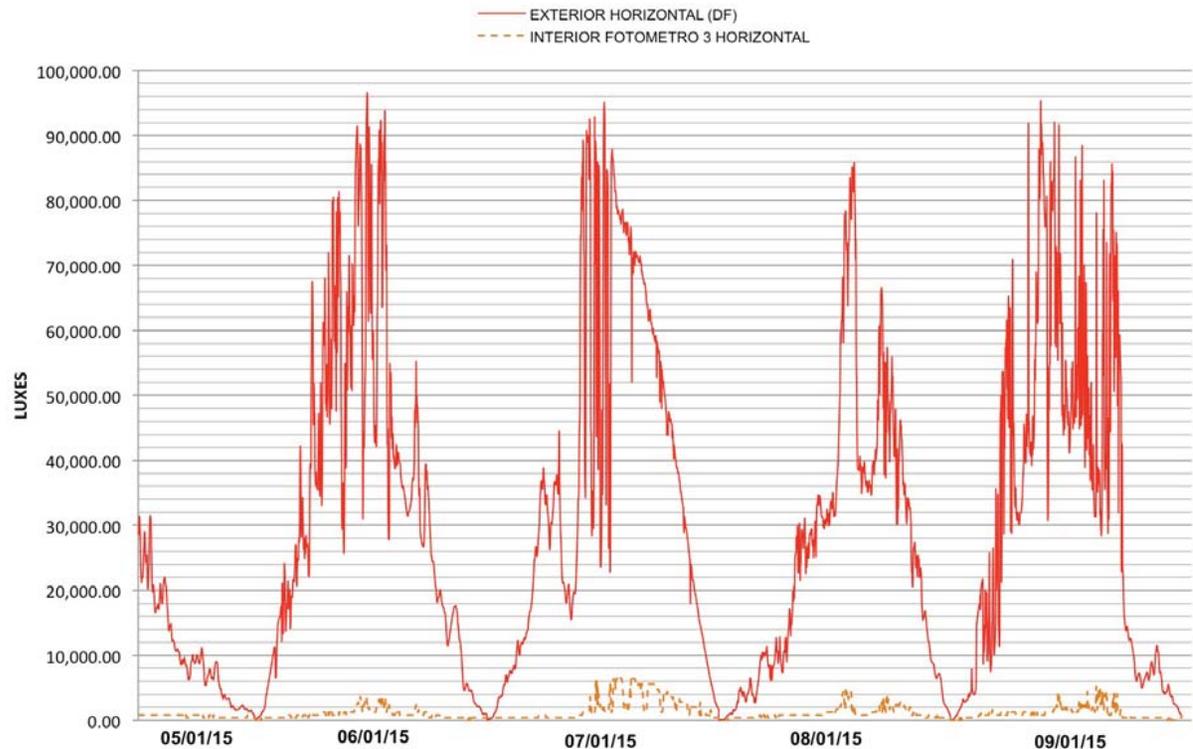


Gráfico 25. Comparativa entre iluminancia global horizontal en el exterior e iluminancia horizontal en el interior.

Como se observa en esta gráfica, y como se ha mencionado en los análisis anteriores, esta semana fue

Arq. Bethania Hernández Barrera

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

mayormente nublada. La gráfica presenta los datos obtenidos a cada minuto durante toda la semana. Sin embargo, se ve claramente la diferencia existente entre la iluminación natural en el exterior con la del interior.

En la gráfica 26 se presentan los promedios por hora y por cada día, en donde se observa el mismo comportamiento. Así mismo, se muestran en la tabla 33, los porcentajes de pérdida de iluminación del exterior al interior, en donde se pudieron obtener los siguientes datos:

El día 7 de enero, entre las 10 y 11 horas hubo una pérdida de iluminancia del 99%, siendo éste el máximo dato presentado en la comparativa. Sin embargo, el promedio de pérdida de iluminancia durante toda la semana fue del 94%, lo que indica que solo se aprovecha el 6% de la luz natural.

Este dato es determinante para entender la cantidad de iluminancia que se desaprovecha por causa de la envolvente arquitectónica. En este punto, definitivamente intervienen los aspectos de diseño y a pesar de que existe amplia disponibilidad de luz natural en la Ciudad de México, existen escasos registros periódicos de la iluminancia en el exterior.

Además de esta falta de información, existe la falta de cultura de los usuarios al no utilizar la luz natural que incide en el interior. A su vez, la correcta

Arq. Bethania Hernández Barrera

utilización de la iluminación natural pasa a ser un problema urgente de resolver, especialmente si se aplica al ámbito laboral para mejorar tanto la calidad de la visión, como el confort que una adecuada iluminación produce, lo cual a su vez, suscitará mayores rendimientos de los usuarios.

Comparativa entre iluminancia global horizontal en el exterior e iluminancia horizontal en el interior (promedios)

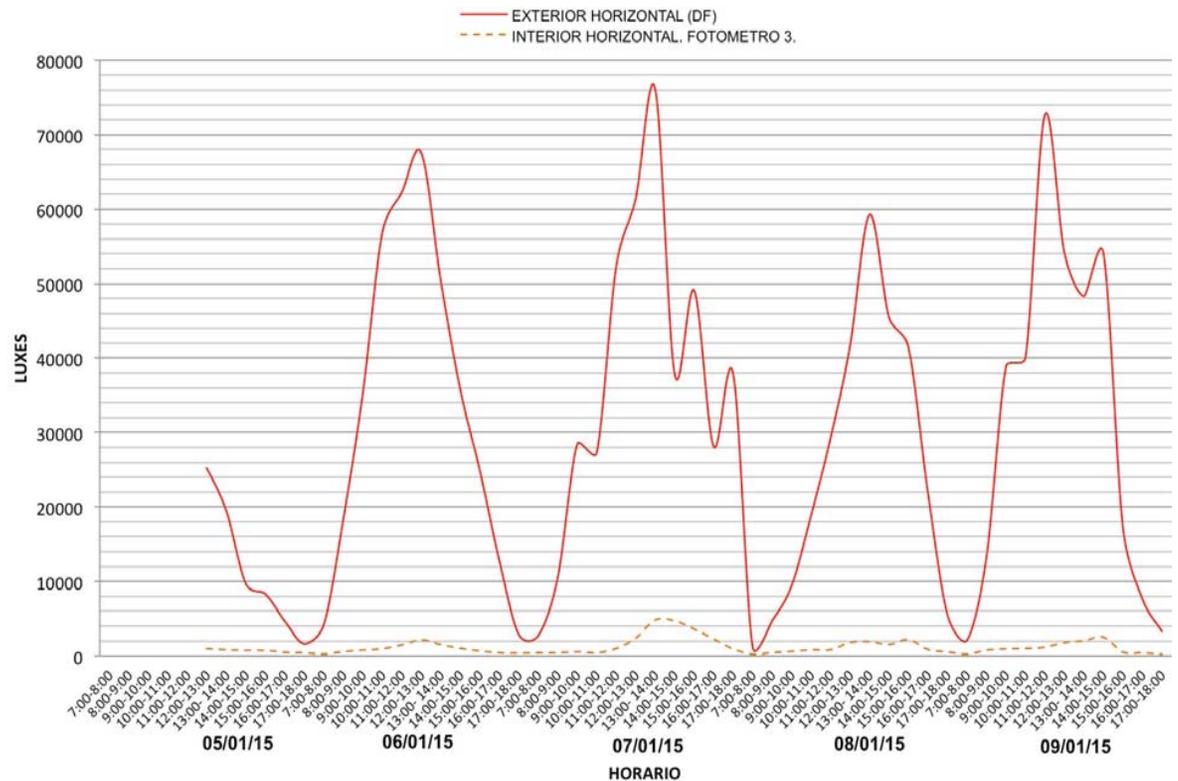


Gráfico 26. Comparativa entre iluminancia en el exterior y en el interior (promedios)

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

Estos porcentajes indican que las condiciones en el exterior afectan directamente a las condiciones del interior. Para el caso de estudio, se recalca que la orientación del espacio analizado influyó en los niveles de iluminancia; así también es importante explicar que la envolvente tiene relación, ya que como se mencionó al principio de este capítulo, existe un quiebravistas en la fachada del edificio. Además de las condiciones meteorológicas y la vegetación que también influyen en la incidencia de luz natural.

Otro aspecto que se notó, es que la poca o nula explotación de un recurso tan valioso como es el sol depende de los usuarios y del mantenimiento que se le brinde a los edificios.

FECHA	HORARIO	EXTERIOR HORIZONTAL (DF)	INTERIOR FOTOMETRO 3 HORIZONTAL	PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE ILUMINANCIA DEL EXTERIOR AL INTERIOR (%)
05-ene-15	7:00-8:00			
	8:00-9:00			
	9:00-10:00			
	10:00-11:00			
	11:00-12:00			
	12:00-13:00	25263	968	96
	13:00- 14:00	19404	801	96
	14:00-15:00	9651	741	92
	15:00-16:00	8301	711	91
	16:00-17:00	4626	468	90
17:00-18:00	1603	408	75	
06-ene-16	7:00-8:00	4219	241	94
	8:00-9:00	18399	548	97
	9:00-10:00	35321	762	98
	10:00-11:00	56877	941	98
	11:00-12:00	62255	1462	98
	12:00-13:00	67549	2143	97
	13:00- 14:00	50339	1502	97
	14:00-15:00	35760	1001	97
	15:00-16:00	24905	654	97
	16:00-17:00	12815	401	97
17:00-18:00	2849	368	87	
07-ene-15	7:00-8:00	2713	401	85
	8:00-9:00	10542	401	96
	9:00-10:00	28440	541	98
	10:00-11:00	27280	401	99
	11:00-12:00	52291	975	98
	12:00-13:00	61437	2383	96
	13:00- 14:00	76095	4826	94
	14:00-15:00	37857	4699	88
	15:00-16:00	49066	3584	93
	16:00-17:00	28112	2262	92
17:00-18:00	37857	906	98	

FECHA	HORARIO	EXTERIOR HORIZONTAL (DF)	INTERIOR FOTOMETRO 3 HORIZONTAL	PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE ILUMINANCIA DEL EXTERIOR AL INTERIOR (%)
08-ene-15	7:00-8:00	1168	221	81
	8:00-9:00	4700	428	91
	9:00-10:00	9434	581	94
	10:00-11:00	18867	801	96
	11:00-12:00	29276	808	97
	12:00-13:00	41685	1783	96
	13:00- 14:00	59244	1903	97
	14:00-15:00	45433	1522	97
	15:00-16:00	41333	2176	95
	16:00-17:00	21795	841	96
17:00-18:00	5467	526	90	
09-ene-16	7:00-8:00	2099	227	89
	8:00-9:00	13309	755	94
	9:00-10:00	38840	921	98
	10:00-11:00	40076	975	98
	11:00-12:00	72706	1155	98
	12:00-13:00	54097	1776	97
	13:00- 14:00	48302	2029	96
	14:00-15:00	54074	2503	95
	15:00-16:00	17239	494	97
	16:00-17:00	7645	401	95
17:00-18:00	3273	221	93	

Tabla 33. Porcentaje de pérdida del exterior al interior.

Esto también influye directamente en los ahorros energéticos que se pueden obtener por la disminución del consumo de la iluminación artificial.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

Aunado a esto, se determinó que los niveles de iluminación en este laboratorio sí cumplen con la normativa establecida para México, sin embargo el confort y bienestar visual depende de cada persona, por lo que la dependencia de la iluminación tiende a ser cambiante.

5.4. Observaciones y propuestas con respecto a las mediciones en el caso de estudio.

Las mediciones realizadas en este edificio son una primera aproximación para la obtención de los niveles lumínicos dentro de un espacio de oficinas. Sin embargo resulta necesario conocer algunas de las desventajas que se presentaron al realizar las mediciones, para que a futuro puedan ser corregidas y obtener datos aún más certeros.

La primera desventaja en este experimento fue que no se tuvo el control absoluto del piso en donde se colocó el equipo. Dada esta situación, fue necesario adaptarse al movimiento de los usuarios, a los horarios de los mismos y sobre todo, al hecho de no poder apagar la iluminación artificial en periodos de trabajo (a pesar de no ser necesaria en distintos lapsos) Este último factor es el primordial, en una segunda medición de oficinas, sería óptimo mantener la iluminación artificial apagada en las horas en las que se detectó que hay niveles adecuados de iluminación.

En una segunda medición también sería conveniente hacer pruebas con respecto a dos panoramas:

1.- En donde se deje que el usuario sea el que controle la iluminación. Esto con el propósito de observar cómo es el comportamiento de estos usuarios y bajo qué motivos es que toman la decisión de usar la luz artificial; así como tomar datos

de la iluminación natural en estos periodos y si se requiere realmente.

2.- La segunda perspectiva sería que se tome control absoluto de la iluminación; no dejar que los usuarios enciendan las luminarias y registrar los niveles de iluminación natural; ya que al conocer cuáles son los niveles de iluminancia que se consideran como adecuados (de acuerdo a la normativa) para realizar actividades de oficinas, se puede observar si los usuarios solicitan que se enciendan las luminarias o si realmente trabajan normalmente sin ésta.

En ambos casos resultaría interesante realizar una encuesta en la que se tomen cuenta aspectos cuantitativos y cualitativos que involucren las mediciones reales del caso de estudio en cuestión, así como el comportamiento de los trabajadores.

Como ya mencionó anteriormente, en el caso de estudio se observó que los usuarios mantienen encendida la iluminación artificial, incluso cuando los datos arrojados indican que se cumplen con los niveles lumínicos y que hay disponibilidad de iluminación natural tanto en el exterior como en el interior. Por ello se hace énfasis en lo explicado en el párrafo previo.

Este equipo, como ya se mencionó, pertenece al Laboratorio de Interacción con el Medio del Posgrado de Arquitectura, sin embargo, para poder retirarlo de las instalaciones fue necesario tramitar una serie de permisos y seguros que restringían su ocupación y con ello, las mediciones.

Por lo que otro aspecto fue que al contar solamente con un equipo de adquisición de datos, las mediciones fueron

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

limitadas a un solo nivel. De haberse tenido más equipo, se hubieran podido realizar mediciones en otro nivel para comparar las diferencias en los niveles de iluminación. Es importante que en una segunda medición, se pueda revisar simultáneamente el comportamiento de la luz natural.

Con respecto al control del edificio, éste necesario para poder colocar fotómetros en diferentes orientaciones y distintos tipos de espacios (cerrados y abiertos) para así poder tener diferentes parámetros.

También sería ideal poder medir durante periodos largos, es decir, no solo una semana; sino durante varios meses o un año completo. En esta etapa solo se consiguió medir durante una semana laboral debido a los permisos tanto del edificio, como por la prestación del equipo; pero el poder medir mayor tiempo, permitiría analizar la iluminación natural en las distintas épocas del año.

Estos fueron los aspectos principales que se observaron durante la estancia en el caso de estudio y que pueden y deben ser mejorados en una futura investigación, con el objetivo de obtener otros parámetros y validar aún más las mediciones.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En nuestros días, la preocupación por generar ahorros y disminuir el consumo de la energía, así como por cuidar al medio ambiente y aprovechar los recursos renovables ha aumentado. La presente investigación tuvo por objetivo principal, comprobar cuantitativamente el ahorro de energía que podía ser obtenido mediante el uso de la luz natural; así mismo, se buscó comprobar de alguna manera que la luz natural cumple con las normativas mexicanas de iluminación de espacios. En este apartado se describen las conclusiones obtenidas a lo largo de esta investigación.

Con los antecedentes analizados, se amplió la visión en cuanto a lo existente y en qué lugares del mundo se están desarrollando investigaciones enfocadas al ahorro de energía que se puede obtener por el uso de la luz natural. Asimismo, la trascendencia de estos estudios está en que brindan porcentajes y cuantificaciones obtenidas por la sustitución de luz artificial por el uso de luz natural, mismos que sirvieron de referencia para obtener parámetros en la Ciudad de México.

Derivado de estas investigaciones previas, se detectó la carencia de estudios relevantes e información suficiente enfocada al uso de la luz natural en México, específicamente destinados a los espacios arquitectónicos. Se menciona que el potencial de ahorro es alto, así como los beneficios del uso de la luz diurna en relación a la iluminación artificial, sin embargo no se aplican a casos reales o con ejemplos sustentados, por lo que el objetivo de esta investigación se vio reforzado.

El hecho de realizar una evaluación arquitectónica y una energética de manera particular en cada edificio fue necesario para poder tener una apreciación completa y entender específicamente el comportamiento y el potencial de ahorro de energía en cada edificio. La línea base establecida en la investigación, y los dos tipos de análisis particulares a cada edificio fueron los indicadores del potencial de ahorro de energía para cada inmueble, en lo individual y posteriormente a nivel general.

Con estas evaluaciones se consiguió detectar el comportamiento energético de cada edificación, así como la manera en la que está distribuida la energía. Aunado a esto, y con mayor relevancia, es la parte arquitectónica, ya que se detectó que las áreas en donde hay incidencia de luz natural son suficientes y sobre todo, adecuadas para el desarrollo de las actividades diarias de los usuarios.

En primer lugar, se comprobó que sí existe potencial de ahorro de energía por el uso de la luz natural. De los cinco casos de estudio se determinó que el porcentaje promedio de ahorro de energía en el uso final de iluminación en oficinas del centro del país es del 31%, con lo que se confirma la hipótesis planteada. Con respecto al consumo total del edificio, el ahorro es del 9%

El edificio que presenta mayor ahorro es el número dos, con 48%, incluso en el edificio en el que hay menor ahorro (9%), sigue existiendo un potencial. Sin embargo se debe realizar un análisis por cada edificio, ya que al ser distintos, los ahorros pueden no resultar significativos en todos los casos (ver resultados particulares en el capítulo 5)

Se notó que los porcentajes del consumo en las fachadas con aportación de luz natural rebasan el 40% del

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

total del consumo en iluminación del edificio, por lo que representan un alto porcentaje del total del uso en iluminación. Estos consumos pueden ser reducidos si se utilizara la luz natural.

Se estableció que los porcentajes de ahorro tienen relación con el porcentaje de fachada acristalada existente, sin embargo no es una regla determinante, ya que la tecnología lumínica instalada en los espacios contiguos a las fachadas también influye de manera directa en el consumo. Esto quiere decir que aunque exista un edificio con mayor envolvente acristalada que otro, si las luminarias instaladas son obsoletas en el primero, generarán mayor consumo, y por ende el ahorro producido también será mayor, en comparación con el segundo. Por lo que la relación no es directamente proporcional.

No hay uso eficiente de la energía, a pesar de existen áreas con aportación natural de acuerdo a los rangos que solicita la normativa.

La arquitectura está sumamente ligada a la reducción del consumo energético. En los edificios utilizados como caso de estudio resaltaron los materiales; en todos los edificios analizados, los materiales que predominan poseen colores claros, lo que aumenta el confort visual. Un buen diseño arquitectónico, en donde se plantee un diseño lumínico de manera natural, conduce a la reducción del consumo de recursos.

Es lógico que cada edificio sea diferente, sin embargo en este análisis se ubicaron las características similares en el diseño de los casos de estudio. Se halló que todos son edificios tienen fachadas libres (sin colindancias); los cinco

casos de estudio tienen fachada acristalada en el norte y sur; y solo dos también tienen cristal en el este y el oeste.

En cuanto a los materiales, se detectó que a pesar de ser diferentes edificios, en los interiores hay características similares. Los materiales predominantes son cristal sin película, tablaroca en color blanco y/o beige, piso vinílico y/o cerámico en color claro (blanco, gris claro y/o beige), plafón de tablaroca en colores claros (blanco y/o beige)

Este tipo de materiales permitió establecer una constante en cuanto a la relación que hay con la incidencia de la luz natural, ya que el hecho de que predominen los colores claros, indica que hay mayor absorción de la luz en las superficies, con lo que se reduce la necesidad de utilizar la luz artificial.

La tecnología instalada encontrada en los casos de estudio es, en general, eficiente. Lo que indica que se han hecho cambios tecnológicos en las oficinas y se ha fomentado el ahorro de energía. Sin embargo no se impulsa al uso de la luz natural.

Otro aspecto que es más bien cualitativo pero que afecta a cada inmueble, es la utilización del edificio por parte de los usuarios. Al haber hecho los levantamientos y recorridos por cada una de las instalaciones, se pudo observar que las personas que laboran en dichos espacios tienen las luminarias encendidas, inclusive cuando no son necesarias.

Por lo que los usuarios sí tienen influencia directa en el uso de los edificios, mucho depende de la cultura y utilización del mismo para poder tener ahorros energéticos. El usuario tiene intervención en la iluminación, el cual se rige por patrones de comportamiento, mismos que pueden ser

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

modificados con control inteligente en las instalaciones y/o un cambio de educación.

Con las mediciones realizadas en el caso de estudio, se descubrió que la disponibilidad del luz natural en el Distrito Federal es alta, sin embargo no es aprovechada lo suficiente y eficazmente, ni explotada al 100%. Es preciso fomentar su utilización y aprovechamiento en cualquier tipo de edificación, no importando su uso.

En el caso de estudio en donde fueron realizadas las mediciones se encontró que únicamente el 6% del total de iluminación del exterior, es el que incide en el interior de las oficinas. Esto evidentemente se debe a la envolvente arquitectónica, así como las condiciones del exterior, como el clima y la vegetación, que tienen influencia en la disminución de los niveles lumínicos en el interior de los espacios.

Hay una pérdida en promedio de 94% de la iluminancia externa en relación con la iluminancia interna. Lo que indica que como usuarios y/o arquitectos, no hemos tenido un buen manejo del diseño enfocado al aprovechamiento de la iluminación natural.

En lo que respecta a las mediciones obtenidas de los cinco fotómetros, se planteó la obtención de datos a cada minuto, los promedios por hora, así como los niveles mínimos de iluminancia en cada espacio. Con estas mediciones se estableció que los niveles de iluminación sí cumplieron con la normativa durante esta semana. Dicha norma determina que se requieren como mínimo 300 luxes para realizar actividades de oficina.

El comportamiento de la luz natural, como ya se ha insistido, es variable; por lo que resultaba importante obtener

los niveles mínimos de iluminación, teniendo en cuenta que si dichos niveles sobrepasaban los 300 luxes, éste sería el peor de los casos, por lo que sí habría iluminación suficiente para efectuar las actividades.

Los datos obtenidos a cada minuto, así como los promedios por hora ayudaron a observar las condiciones de la luz durante la semana de medición, así como para tener un parámetro de los luxes en el periodo laboral.

También se observó que existen al menos 10 horas de iluminación en el exterior. En esta investigación, se plantean entre 8 horas laborables con el uso de la luz diurna. Por lo que se puede afirmar que la luz es eficaz para satisfacer al usuario durante gran parte del periodo laboral, pero no se puede hacer de lado el uso de la iluminación artificial.

Existen tres turnos laborables en el caso de estudio, sin embargo se decidió que el horario en el que era importante enfocar el análisis de datos era de 9 a 18 horas, ya que es cuando existe mayor número de trabajadores en el edificio.

La luz natural y la luz artificial están sumamente ligadas. Cuando no hay luz natural es necesario recurrir a la segunda, sin embargo es importante seguir creando conciencia en las personas y fomentar el uso eficiente de la energía y en el aprovechamiento de los recursos renovables.

Si bien es necesario impulsar el uso de la iluminación natural en los edificios en general, también es importante hacer mejoras en la tecnología en iluminación, ya que no hay manera de desprenderse de ella.

Para la investigación resultó benéfico conocer de qué manera se puede aprovechar la luz natural y relacionarla con

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

la iluminación artificial, ya que de esta manera se brindan opciones a los usuarios y recomendaciones del aprovechamiento y ahorro de la energía. Es importante conocer esto desde el punto energético, pero principalmente arquitectónico, ya que es el área en el que como diseñadores y arquitectos, podemos establecer sugerencias y mejoras en cada edificación.

Algunas **recomendaciones** importantes son:

Es primordial conocer la importancia y el potencial de uso de iluminación natural en México, ya que con estos parámetros se motiva a seguir buscando el impulso de ésta, y el uso racional y eficiente de la luz artificial.

Promover el uso adecuado de la energía en los espacios de oficina y proponer que se instale la tecnología más eficiente para impulsar el ahorro energético. Otra alternativa recomendable es la instalación de equipos de control (sistematización) y detección de presencia en los edificios públicos, para reducir el uso de la luz artificial; esto aminoraría la utilización de la electricidad requerida para la iluminación.

Es importante capacitar a los usuarios de los inmuebles públicos para fomentar la cultura del ahorro de energía, así como el planteamiento de los beneficios que tiene el uso de la luz natural. El comportamiento de los usuarios influye directamente en los ahorros energéticos que se pueden obtener por la disminución del consumo de la iluminación artificial.

Sería ideal realizar mediciones en otras oficinas de gobierno, para continuar con el estudio del aprovechamiento de los recursos naturales y renovables, especialmente en

estas áreas, en donde los horarios laborales son prácticamente de todo el día.

Dado que los materiales tienen gran influencia en la transmisión de la luz dentro de los espacios. Es recomendable elegir dichos materiales adecuadamente antes de hacer cualquier tipo de construcción y/o remodelación de las áreas (factor que ocurre con frecuencia en los edificios públicos)

Es importante realizar una base de datos que contenga datos lumínicos mensuales para poder establecer estadísticas en cuanto al comportamiento de la luz natural a largo plazo en la Ciudad de México.

Dada la disponibilidad en iluminación que tiene el Distrito Federal, se debe continuar con el uso de la luz natural y evitar el uso de la iluminación artificial. Todos estos aspectos se verán traducidos no solo en ahorros energéticos, sino económicos y ambientales. La correcta utilización y aprovechamiento de los recursos beneficia de gran manera en la calidad de vida de las personas.

A lo largo de esta investigación surgieron otros cuestionamientos con respecto a la luz natural y al ahorro de energía. Estas preguntas plantean nuevas líneas de investigación, mismas que se reflejan en los siguientes puntos:

Es necesario continuar con mediciones en edificios en donde se tenga el control total de los mismos. Es decir, poder ubicar fotómetros y tener las luces apagadas, esto ayudaría a tener mayor conocimiento de los niveles de iluminación en diferentes áreas y las mediciones serían todavía más contundentes.

Así mismo resulta importante ampliar la muestra para

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

observar el comportamiento de la luz natural en edificios ubicados en distintas zonas, no solo de la Ciudad de México, sino de otras latitudes.

Una de las inquietudes que se presentaron en esta investigación, fue realizar una relación entre los tamaños de ventana con respecto a la aportación de luz natural que existe en los espacios; sin embargo para ello era necesario tener una muestra mucho más amplia y distintos tipos de ventana para observar las características en cada uno de ellos; por lo que es interesante realizar una investigación en donde se aborden variables tales como: tamaño, material, orientación, incidencia de luz solar, etc.

Como la tecnología tiene inferencia directa en el ahorro, también sería interesante observar el tipo de luminarias que predomina en los edificios públicos y si ha habido una mejora en los últimos años.

Analizar el potencial económico que se obtendría con la utilización de la luz natural en oficinas del centro del país, con la seriedad y compromiso de utilización de este recurso natural.

También es sustancial analizar qué tipo de estrategias arquitectónicas son las más adecuadas para aprovechar la luz natural en los edificios públicos, así como la propuesta de mejoras sin modificar radicalmente las condiciones de estos inmuebles.

Crear guías y/o normativas específicas en la utilización de la luz natural en México, en donde se brinden recomendaciones para su correcto uso y aplicación, y hacer énfasis en la potencial que tiene su uso para el ahorro de energía.

Finalmente se alienta a continuar con otras investigaciones enfocadas al aprovechamiento total de los recursos renovables y al máximo uso eficiente de la energía, en donde se busquen no solo los beneficios económicos y ambientales sino también la calidad de vida de las personas en la actualidad y futuro.

**Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural.
Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.**

REFERENCIAS.

REFERENCIAS.

BIBLIOGRAFÍA:

- Ander, Greg (1995) *Daylighting performance and design*, E.U.A.: John Wiley & Sons.
- Aguilar Galván, A., García Vidal, G., Moreno Aduna, G., Adame González, A., & García Neri, R. (2012). *Recomendación estratégica sobre tecnologías y subsectores, como orientación para sustentar acciones de eficiencia energética en el sector PyME. Instituto de Investigaciones Eléctricas. México: GIZ.*
- CIBSE, *SLL Lighting Guide: Daylighting and Window design*, Inglaterra, 1999.
- CIE, *Guide to recommended practice of daylight measurement*, CIE, Viena, 1994.
- De Buen Rodríguez, O. (2010). *Evaluación de la Sustentabilidad Ambiental en la Construcción y Administración de Edificios en México*. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Doty, S. (2008). *Commercial energy auditing reference handbook*. E.U.A.: The Fairmont Press.
- Edwards, B. (2003). *Green buildings pay*. Londres: Spon Press.
- Edwards, B. (2011). *Guía básica de la sostenibilidad*. (2ª ed.). España: Gustavo Gili.

- Hordeski, M. (2003). *New Technologies for energy efficiency*. E.U.A.: The Fairmont press.
- McGuiness, Stein, & Reynolds. (2003). *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*. (J. W. sons, Ed.) E.U.A.
- Szokolay, S. (1980). *Environmental Science Handbook for Architects and Builders*. (T. C. Ltd, Ed.) E.U.A.
- Tejeda, & García. (2002). *Atmósfera*. México.
- Viqueira, R. (2001). *Introducción a la arquitectura bioclimática*. (Limusa, Ed.) México.

TESIS:

- Escobedo Izquierdo, M. A. (2005). *Indicadores energéticos en iluminación para inmuebles destinados al uso de oficinas públicas caso: centro del País. Tesis de para obtener el grado de Maestro en Ingeniería*. México: UNAM.
- Preciado Olvera, O. U. (2011). *Potencial estimado de la iluminación natural en México. Tesis para obtener el título de Maestro en Ingeniería*. México.: UNAM.
- Valeriano Flores, A. (2010). *Iluminación Natural En Arquitectura Validación de los métodos de cálculo en la Ciudad de México. Tesis para obtener el título de Maestro en Arquitectura*. México: UNAM.
- Velazco Contreras, I. (2013). *Estimación del potencial de ahorro eléctrico, económico y ambiental en vivienda plurifamiliar vertical tarifa 1. Tesis para obtener el grado de Maestro en Arquitectura*. México: UNAM.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

HEMEROGRÁFICAS:

- Al-Shemmeri, T. (2011). *Energy audits. A worknook for Energy Management in Buildings*. E.U.A.: Wiley-Blackwell.
- Beggs, C. (2009). *Energy: Management, Supply and Conservation*. E.U.A.: ELSEVIER.
- Bodart, M., & De Herde, A. (2002). *Global energy savings in office buildings by the use of daylighting*. (Vol. 24). Bélgica: ELSEVIER.
- Borg, N. (2009). *Guidelines for integrating sustainable summer comfort into public procurement schemes for office equipment and lighting, Keep cool program*. (S. E. Agency, Ed.) Suecia: ELSEVIER. Capehart, B. L. (2011). *Guide to energy management*. (6ª ed.). E.U.A. : The Fairmont press.
- Bülow-Hübe, H. (2008). *Daylight in glazed office buildings: a comparative study of day- light availability, luminance and illunance distribution for an office room with three different glass areas*. Lund, Suecia: Lund University, Department of Architecture and Built Environment, Division of Energy and Building Design.
- Çakmanus, İ. (2007). *Renovation of existing office buildings in regard to energy economy: An example from Ankara, Turkey*. (Vol. 42). Turquía: ELSEVIER.
- Dascalaki, E., & Santamouris, M. (2002). On the potential of retrofitting scenarios for offices. *Building and environment.*, 37.
- Dubois, M.-C., & Blomsterberg, Å. (2011). *Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European, low energy office buildings: A literature review*. *Energy and buildings*. (Vol. 55). Suecia: ELSEVIER.
- Embrechts, R., & Van Bellegem, C. (1997). Increased Energy Savings by Individual Light Control. En *roceedings of Right Light 4* (págs. 179-182). Copenhague, Noruega.
- Escobedo Izquierdo, A. (2013). Apuntes de la materia: Diagnóstico energético de edificios no residenciales. UNAM. México.
- García, T. y. (2002). *A comparative simple method for human bioclimatic conditions applied to seasonally hot/warm cities of Mexico* (Vol. 15). México: Atmosfera.
- Ghisi, E. (2004). *An Ideal Window Area concept for energy efficient integration of daylight and artificial light in buildings*. (Vol. 40). Brasil- Inglaterra. : ELSEVIER.
- Hong, T. (2008). *A close look at the China Design Standard for Energy Efficiency of Public Buildings*. (Vol. 41). (E. a. Buildings., Ed.) E.U.A.: ELSEVIER.
- Ihm, P., Nemri, A., & Krarti, M. (21 de abril de 2008). Estimation of lighting energy savings from daylighting. 44 . Corea del Sur: ELSEVIER.
- Labib, R. (2012). *Improving daylighting in existing classrooms using laser cut panels*. (S. Publications, Ed.) Berkeley, California, E.U.A.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

- Ma, Z., Cooper, Daly, & Ledo. (2012). *Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art*. (Vol. 55). (E. a. buildings., Ed.) Australia: ELSEVIER.
- Opdal, K., & Brekke, B. (1995). Energy saving in Lighting by Utilisation of Daylight, in: *Proceedings of Right Light 3* . Newcastle-upon-Tyne.
- Santamouris, M., & Dascalaki, E. (2002). *Passive retrofitting of office buildings to improve their energy performance and indoor environment: the OFFICE project*. (Vol. 37). (B. a. environment., Ed.) Grecia: ELSEVIER.
- Shin, J. Y. (2011). *Evaluation of Daylighting Effectiveness and Energy Saving Potentials of Light-Pipe Systems in Buildings. Indoor and Built Environment*. Sage Publications. Corea: Sage Publications.
- Szerman, M. (1993). Superlink: a Computer tool to evaluate the impact o daylight-controlled lighting system onto the overall energetic behavior of buikdings, En *Proceedings of Right Light 2* (págs. 673-685). Arhem.
- Tagliabuea, L. C. (2012). *Energy saving through the sun: Analysis of visual comfort and energy consumption in office space*. (Vol. 30). Italia: ELSEVIER.
- Zeguers, J. Energy-saving Lighting Electronics. A Triple Win: for the Organization, for the Human Being and for the Environment . En *Proceedings of Right Light 2* (págs. 158-163). 1993.

- Zonneveldt, L., & Rutten, A. (1993). The Electronic Control of Lighting. En *Proceedings of Right Light 2* (págs. 151-157). Arhem

NORMAS Y REGLAMENTOS:

- Gobierno Federal. (2011). *Diario Oficial de la Federación*. Secretaría de Gobernación., México.
- Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2009-2012.
- Secretaría de Energía. (2001). *Eficiencia Energética en Edificaciones, Envolve de Edificios No Residenciales*. NOM-008-ENER-2001, Secretaría de Energía.
- Secretaría de Energía. (2004). *Eficiencia energética en sistemas de alumbrado en edificios no residenciales*. NOM-007-ENER-2004, Secretaría de Energía, México.
- Secretaría de Energía. (2011). *Programa Nacional de Ahorro de Energía eléctrica para edificaciones públicas*.
- Secretaría Del Trabajo Y Previsión Social. (2008). *Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones De Iluminación En Los Centros De Trabajo*. México: Diario Oficial De La Federación.

Potencial De Ahorro De Energía En Iluminación Por Uso De Luz Natural. Caso De Estudio: Oficinas Públicas Del Distrito Federal.

PÁGINAS DE INTERNET:

- Comisión Federal de Electricidad. (2014). *Comisión Federal de Electricidad*. Obtenido de <http://www.cfe.gob.mx/paginas/Home.aspx>
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (1999). *Eficiencia Energética en Inmuebles de la Administración Pública Federal: De Diagnósticos Energéticos a Programas de Gran Alcance*. Recuperado el 11 de octubre de 2013, de http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/2155/1/images/APF_spanish.pdf
- CONUEE (s.f.). *Eficiencia Energética en Inmuebles de la Administración Pública Federal: De Diagnósticos Energéticos a Programas de Gran Alcance*. Recuperado el 11 de octubre de 2013, de http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/2155/1/images/APF_spanish.pdf
- CONUEE(2013). <http://www.conuee.gob.mx>.
- Energy Information Administration. (2013). <http://www.eia.gov/>. Recuperado el 13 de septiembre de 2013, de Energy Information Administration: http://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/sec7_9.pdf
- Estantes de luz y bandejas reflectoras. (2013). *ARQHYS Arquitectura*. (R. M. Esperilla, Ed.) Recuperado el 21 de octubre de 2013, de <http://www.arqhys.com/construccion/estantes-luz-bandejas.html>
- Fundación Este País. (2008). Recuperado el 10 de octubre de 2013, de El sector energético en México. Cinco temas clave: http://www.estepais.com/inicio/historicos/205/18_indicadores_el%20sector%20energ.pdf
- Gobierno de Australia. (2010). *Commercial Building Disclosure*. Recuperado el 25 de agosto de 2014, de <http://www.cbd.gov.au>
- Lámparas y luminarias. (2014). Recuperado el 28 de abril de 2015, de Lámparas y Luminarias : <http://lamparasyluminarias.com.mx/>
- La iluminación natural y el ahorro de energía. (2000). <http://www.imcyc.com/>. (S. Arias Orozco, Ed.) Recuperado el 22 de octubre de 2013, de Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. Revista Construcción y Tecnología.: <http://www.imcyc.com/revista/2000/junio2000/iluminacion4.htm>
- LUTRON. (2015). <http://www.lutron.com>. Obtenido de <http://www.lutron.com/es-LA/Experience-Light-Control/Paginas/Lutron/SaveEnergy.aspx>
- Prospectiva del sector eléctrico 2010-2025. (2010). *Secretaría de Energía*. Recuperado el 10 de octubre de 2013, de <http://www.sener.gob.mx/>: http://www.sener.gob.mx/res/1825/SECTOR_ELECTRICO.pdf
- SENER(2004)Recuperado el 11 de octubre de 2013, de:<http://www.sener.gob.mx/webSener/portal/Default.aspx?id=857>

ANEXOS.

ANEXOS.

Los anexos presentados a continuación, son las bases de datos generadas para cada uno de los edificios caso. En donde se incluyen la tecnología instalada, así como las características arquitectónicas de las envolventes y un resumen de la información específica de cada uno de ellos.

EDIFICIO 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

<table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>11</td> <td>12</td> <td>13</td> <td>14</td> <td>15</td> <td>16</td> <td>17</td> <td>18</td> <td>19</td> <td>20</td> <td>21</td> <td>22</td> <td>23</td> <td>24</td> <td>25</td> <td>26</td> <td>27</td> <td>28</td> <td>29</td> <td>30</td> <td>31</td> <td>32</td> <td>33</td> <td>34</td> <td>35</td> <td>36</td> <td>37</td> <td>38</td> <td>39</td> <td>40</td> <td>41</td> <td>42</td> <td>43</td> <td>44</td> <td>45</td> <td>46</td> <td>47</td> <td>48</td> <td>49</td> <td>50</td> <td>51</td> <td>52</td> <td>53</td> <td>54</td> <td>55</td> <td>56</td> <td>57</td> <td>58</td> <td>59</td> <td>60</td> <td>61</td> <td>62</td> <td>63</td> <td>64</td> <td>65</td> <td>66</td> <td>67</td> <td>68</td> <td>69</td> <td>70</td> <td>71</td> <td>72</td> <td>73</td> <td>74</td> <td>75</td> <td>76</td> <td>77</td> <td>78</td> <td>79</td> <td>80</td> <td>81</td> <td>82</td> <td>83</td> <td>84</td> <td>85</td> <td>86</td> <td>87</td> <td>88</td> <td>89</td> <td>90</td> <td>91</td> <td>92</td> <td>93</td> <td>94</td> <td>95</td> <td>96</td> <td>97</td> <td>98</td> <td>99</td> <td>100</td> </tr> </table>																																																																																																				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																																																																																				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

...

