



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

LUZ NATURAL

**APORTACIONES CUANTITATIVAS Y CUALITATIVAS PARA LA PRECISIÓN EN EL
PRONÓSTICO DE LA LUZ NATURAL EN UN INMUEBLE DEL SIGLO XIX DEL CENTRO
HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

CECILIA GENOVEVA GUADARRAMA GANDARA

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

CIUDAD DE MÉXICO, 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

LUZ NATURAL

APORTACIONES CUANTITATIVAS Y CUALITATIVAS PARA LA PRECISIÓN EN EL PRONÓSTICO DE LA LUZ NATURAL EN UN INMUEBLE DEL SIGLO XIX DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

TESIS QUE PRESENTA

CECILIA GENOVEVA GUADARRAMA GANDARA

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN ARQUITECTURA EN EL CAMPO DE TECNOLOGÍA



PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA



JURADO



DIRECTOR DE TESIS: MAESTRO LEONARDO ZEEVAERT ALCÁNTARA

JURADO: MAESTRO FRANCISCO REYNA GÓMEZ
DOCTOR DIEGO MORALES RAMÍREZ
DOCTOR HERMILO SALAS ESPÍNDOLA
DOCTOR MAURO VALDÉS BARRÓN

AGRADECIMIENTOS

A

Expreso mi gratitud a la Dirección General de Estudios de Posgrado (DGEP) con el Programa de Becas para Estudios de Posgrado por el apoyo económico para la realización de la Maestría en Arquitectura en el campo de conocimiento de Tecnología, así como al Programa de Apoyo a los Estudios de Posgrado (PAEP) por facilitar el equipo, con el cual fue realizado el trabajo experimental presentado en esta tesis.

Al Maestro Leonardo Zeevaert quiero agradecerle por haber dirigido este trabajo, por la orientación en el tema de la luz natural, por la oportunidad de poder contar con el material y los espacios necesarios para la realización de las mediciones fotométricas presentadas en este documento, por su tiempo y dedicación.

Agradezco al jurado de esta tesis formado por el Maestro Francisco Reyna, el Doctor Diego Morales, el Doctor Hermilo Salas y el Doctor Mauro Valdés por la orientación y el tiempo dedicado para la elaboración de este trabajo, así como al arquitecto Héctor Ferreiro por haber apoyado esta investigación en su primera etapa.

Me gustaría agradecerle, especialmente, al Dr. Agustín Muhlia por el apoyo para el entendimiento de diferentes conceptos relacionados a la luz natural, los cuales fueron fundamentales para esta investigación. También me gustaría agradecerle al Observatorio de Radiación Solar del Instituto de Geofísica y al Instituto de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM.

Con cariño agradezco a Guillermo, Cecilia, Carlos Andrés, Diana y Juanchis por su apoyo incondicional; a mi familia Guadarrama, Gándara y Rodríguez; a Mario, Diana, Gabriel y a la familia Lencer por formar parte de mi familia; y a todos aquellos que, sin saberlo, contribuyeron a mi interés por la luz natural.

Quiero dedicarle esta tesis a Daniel por su comprensión, cariño y apoyo.

CONTENIDO



PÁGINA

INTRODUCCIÓN

13

1. FACTORES URBANOS Y ARQUITECTÓNICOS

I. INTRODUCCIÓN

II. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

- LA TRAZA URBANA A TRAVÉS DEL TIEMPO
- GEOMETRÍA URBANA Y EL ASOLEAMIENTO
- ORIENTACIÓN DE LA TRAZA URBANA
- ÁNGULO DE OBSTRUCCIÓN
- URBANISMO BIOCLIMÁTICO
- CONCLUSIONES

17

III. CASO DE ESTUDIO, INFORMACIÓN URBANA Y ARQUITECTÓNICA

IV. CONCLUSIONES

2. ELEMENTOS Y FACTORES CLIMÁTICOS Y ATMOSFÉRICOS DE ESTUDIO

I. INTRODUCCIÓN

II. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

- MESOMICROCLIMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO
- RADIACIÓN SOLAR Y LA ATMÓSFERA

29

III. ANÁLISIS DE LOS DATOS METEOROLÓGICOS DEL DÍA DE ESTUDIO, 14 DE ABRIL DE 2008

IV. CONCLUSIONES

3. FACTORES GEOMÉTRICOS, ASTRONÓMICOS Y GEOGRÁFICOS

I. INTRODUCCIÓN

II. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

- GEOMETRÍA SOLAR
- FÓRMULAS DE LA GEOMETRÍA SOLAR

III. PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA PARA LA LATITUD Y LONGITUD DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

47

IV. ANÁLISIS, COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS VALORES OBTENIDOS POR FÓRMULAS MATEMÁTICAS DE LA GEOMETRÍA SOLAR CON LOS VALORES DADOS POR EL ANUARIO DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL Y LOS VALORES OBTENIDOS DEL TRAZO DE LA PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA

V. CONCLUSIONES

4. LUZ NATURAL DISPONIBLE

I. INTRODUCCIÓN

II. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

- LUZ NATURAL
- DISPONIBILIDAD DE LA LUZ NATURAL
- ILUMINANCIA A LA DISTANCIA MEDIA TIERRA-SOL Y SU COMPORTAMIENTO FUERA DE LA ATMÓSFERA
- ILUMINANCIA DIRECTA DEL SOL
- ILUMINANCIA PRODUCIDA POR EL CIELO (LUZ DIFUSA)
- LUMINANCIA DEL CIELO

77

III. ANÁLISIS, COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS DATOS DE ILUMINANCIA OBTENIDOS POR LAS FÓRMULAS DE LA IESNA Y LOS VALORES MEDIDOS EN EL SITIO DE ESTUDIO BAJO CONDICIONES DE CIELO REAL

IV. CONCLUSIONES

5. LUZ NATURAL DENTRO DEL CAÑÓN URBANO DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

I. INTRODUCCIÓN

II. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

- ILUMINACIÓN NATURAL EN EL CAÑÓN URBANO

107

III. ANÁLISIS, COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA DISMINUCIÓN LUMÍNICA DENTRO DEL CAÑÓN URBANO EN EL SITIO Y DÍA DE ESTUDIO, BAJO CONDICIONES DE CIELO REAL.

IV. CONCLUSIONES

6. MODELO A ESCALA Y SIMULACIÓN EN COMPUTADORA, DOS HERRAMIENTAS PARA EL PRONÓSTICO DE LA LUZ NATURAL EN LOS INTERIORES Y EXTERIORES ARQUITECTÓNICOS

I. INTRODUCCIÓN

II. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

- LUZ NATURAL EN LOS ESPACIOS INTERIORES
- PREDICCIÓN DE LA LUZ NATURAL

123

III. ANÁLISIS, COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS MEDICIONES DE ILUMINANCIA EN ESCALA REAL Y EN EL MODELO A ESCALA

IV. ANÁLISIS, COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS MEDICIONES DE ILUMINANCIA EN ESCALA REAL Y LA SIMULACIÓN EN COMPUTADORA CON EL PROGRAMA Agi32.

V. CONCLUSIONES DE LA COMPARACIÓN DE LAS DOS HERRAMIENTAS ESTUDIADAS PARA EL PRONÓSTICO DE LA LUZ NATURAL EN LA ARQUITECTURA

7. REQUERIMIENTOS DE ILUMINANCIA CON RELACIÓN A LOS VALORES LUMÍNICOS DENTRO DEL ESPACIO DE ESTUDIO (SALÓN PRINCIPAL) Y LAS NORMAS DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL, RESPECTO A LA INCIDENCIA DE LUZ NATURAL EN LOS ESPACIOS INTERIORES	
I. INTRODUCCIÓN	
II. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	203
III. ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS DE ILUMINANCIA CON RELACIÓN A LOS VALORES LUMÍNICOS DENTRO DEL ESPACIO DE ESTUDIO (SALÓN PRINCIPAL) Y LAS NORMAS DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL, RESPECTO A LA INCIDENCIA DE LUZ NATURAL EN LOS ESPACIOS INTERIORES	
IV. CONCLUSIONES	
CONCLUSIONES GENERALES	211
GLOSARIOS DE TÉRMINOS	219
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	227
ANEXO 1	231
I. MICROCLIMAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO; LA RADIACIÓN SOLAR Y LA CONSTANTE SOLAR	
ANEXO 2	239
I. TRAZADO DE LA PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA	
ANEXO 3	243
I. INSTRUMENTACIÓN DE MEDICIÓN Y RECOPIACIÓN DE DATOS	
ANEXO 4	247
I. TABLA CON LA REFLECTANCIA DE LOS MATERIALES APLICADAS AL MODELO DE LA SIMULACIÓN EN COMPUTADORA	
ANEXO 5	251
I. LEGISLACIÓN RESPECTO A LA LUZ NATURAL	
• ZONIFICACIÓN SOLAR	
• TAMAÑO Y ORIENTACIÓN DE VENTANAS	
• NIVELES LUMÍNICOS	
• LEGISLACIÓN EN LA CIUDAD DE MÉXICO	

INTRODUCCIÓN

La luz natural es indispensable en la arquitectura y para los seres humanos. Es gracias a la luz natural que las formas arquitectónicas se muestran. Además provee sentido de orientación y nos ofrece información de la hora y del día del año.

Para usar adecuadamente la luz natural en la arquitectura es necesario que el arquitecto o el diseñador del espacio conozca los factores que influyen en la variabilidad de la luz natural en el sitio geográfico de estudio con el fin de integrar, esta última, en el proceso del diseño arquitectónico.

La variabilidad en la cantidad de luz natural disponible en un sitio geográfico en específico depende, en principio, de factores de orden climático y atmosférico pero también de factores propios del sitio de interés como los geométricos, astronómicos y geográficos. Aunado a esto, la variabilidad de los valores lumínicos y de la distribución de la luz natural en los espacios urbanos y arquitectónicos, depende también de las múltiples características de estos ambientes, por lo que el pronóstico de la luz natural en los interiores y exteriores arquitectónicos se vuelve complejo.

Actualmente, es posible que el arquitecto se apoye en herramientas de diseño como son los modelos a escala y las simulaciones en computadora, para predecir los valores lumínicos y la distribución de la luz natural en los espacios arquitectónicos. Sin embargo, dada la complejidad en el pronóstico de la luz natural por diversos factores, ya mencionados, es necesario evaluar estas herramientas de diseño, respecto a su precisión cuantitativa y cualitativa, para que los diseñadores puedan apoyarse en ellas durante el proceso del diseño arquitectónico y sean capaces de crear ambientes con una luz natural adecuada.

Así, el fin de este trabajo de investigación es conocer la precisión cuantitativa y cualitativa del pronóstico de la luz natural en un inmueble del siglo XIX del Centro Histórico de la Ciudad de México, a través de dos herramientas de diseño, comúnmente utilizadas en despachos de arquitectura, como son los modelos a escala y las simulaciones en computadora.

Por lo tanto, la idea que nos guía a través de este trabajo es la siguiente: para conocer con qué precisión es posible predecir (por medio de fórmulas matemáticas y herramientas de diseño como modelos a escala y simulaciones en computadora) la cantidad de luz natural disponible en un punto en específico, así como los valores lumínicos y la distribución de la luz natural en un espacio urbano y arquitectónico, es necesario contar con el equipo especializado para poder realizar mediciones fotométricas, con cuyos datos se podrán realizar comparaciones y evaluaciones, ya que estos datos proporcionan información lumínica, la cual refleja la variabilidad de la luz natural, contemplando todos los factores que influyen en ésta.

El desarrollo de este trabajo, al mismo tiempo que nos lleva en búsqueda de conclusiones, es una guía

recomendable para realizar y presentar estudios de este tipo, en los cuales se evalúan los recursos naturales disponibles para ser aprovechados en la arquitectura. De tal manera que los capítulos en esta tesis son el resultado del proceso que se llevó a cabo para este trabajo experimental, al mismo tiempo que son el orden de los pasos que sería adecuado llevar a lo largo de un trabajo experimental de este tipo. (Ver imagen: Lámina explicativa del documento de tesis por capítulos)

En los primeros tres capítulos se analizan y evalúan los factores que influyen en la luz natural del sitio y día de estudio. De tal manera que en el primer capítulo se analizan los factores urbanos y arquitectónicos que influyen en la luz natural del punto geográfico y se presenta el caso de estudio. En el segundo capítulo se analiza y evalúa los elementos y factores climáticos y atmosféricos del Centro Histórico para tres días dentro de la época de secas en la Ciudad de México con el fin de conocer las características y el tipo de cielo de los días de estudio. En el tercer capítulo se analizan los factores geométricos, astronómicos y geográficos del sitio y día de estudio con el fin de conocer la posición del Sol relacionada al tiempo y, con esto, la incidencia de los rayos solares en el espacio arquitectónico de estudio.

El resultado del análisis de los tres primeros capítulos junto con los datos lumínicos de las mediciones fotométricas in situ y bajo condiciones de cielo reales son, el punto de partida de los siguientes capítulos, en los cuales se llevan a cabo comparaciones entre los valores lumínicos de las mediciones fotométricas y los resultados lumínicos de las fórmulas matemáticas y de las dos herramientas de diseño para el pronóstico de la luz natural, antes mencionadas.

Por lo tanto, en el capítulo cuarto se lleva a cabo el análisis, la evaluación y la comparación de los valores lumínicos de las mediciones fotométricas y el resultado lumínico de las fórmulas matemáticas, las cuales pronostican la cantidad de luz natural disponible para un sitio, tiempo y tipo de cielo en específico.

En el capítulo quinto de este trabajo se analiza la luz natural medida dentro del Cañón Urbano del punto geográfico de estudio ubicado en el Centro Histórico de la Ciudad de México, a partir de la luz natural medida in situ del cielo libre de obstrucciones de este mismo punto.

En el capítulo seis se realizan dos comparaciones y evaluaciones. Por un lado, los valores lumínicos de las mediciones fotométricas del espacio de estudio en escala real son comparados con los valores lumínicos de las mediciones fotométricas en un modelo a escala (las cuales se realizan simultáneamente y bajo condiciones de cielo reales) y por el otro lado se comparan con el resultado lumínico calculado por la simulación en computadora en el programa de cómputo Agi32.

Por último, en el séptimo capítulo de este trabajo, se analizan los requerimientos de iluminancia que plantea el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF, Arnal y Betancourt, 05) y la Institución IESNA¹ (IESNA, 00) con relación a los valores lumínicos medidos dentro del espacio interior de estudio en escala real. Esto, con el fin de conocer las actividades que pueden llevarse a cabo al interior de este espacio con las características actuales. En este último capítulo también se realiza un análisis en el cual se simula que el espacio de estudio cumple con las normas del RCDF, respecto al porcentaje mínimo del área de ventana que requiere un espacio para la incidencia de luz natural, con el fin de evaluar si bajo las normas establecidas en el reglamento, con respecto a la iluminación natural, este espacio interior cuenta con los requerimientos de iluminancia para la realización de diversas actividades el día de estudio.

Las aportaciones cuantitativas de este trabajo van enfocadas a analizar con qué precisión es posible predecir los valores de luz natural disponible, para un punto geográfico y tiempo en específico, así como para los interiores y exteriores arquitectónicos de una edificación del siglo XIX ubicada en el Centro Histórico de la Ciudad de México el día 14 de abril de 2008.

1 Por su siglas en inglés (IESNA), *Illuminating Engineering Society of North America*, la autoridad con respecto a la iluminación en Estados Unidos.

Las aportaciones cualitativas de este trabajo, se enfocan en analizar con qué precisión, estas dos herramientas de diseño, reproducen la calidad de la luz natural en el espacio arquitectónico de estudio.

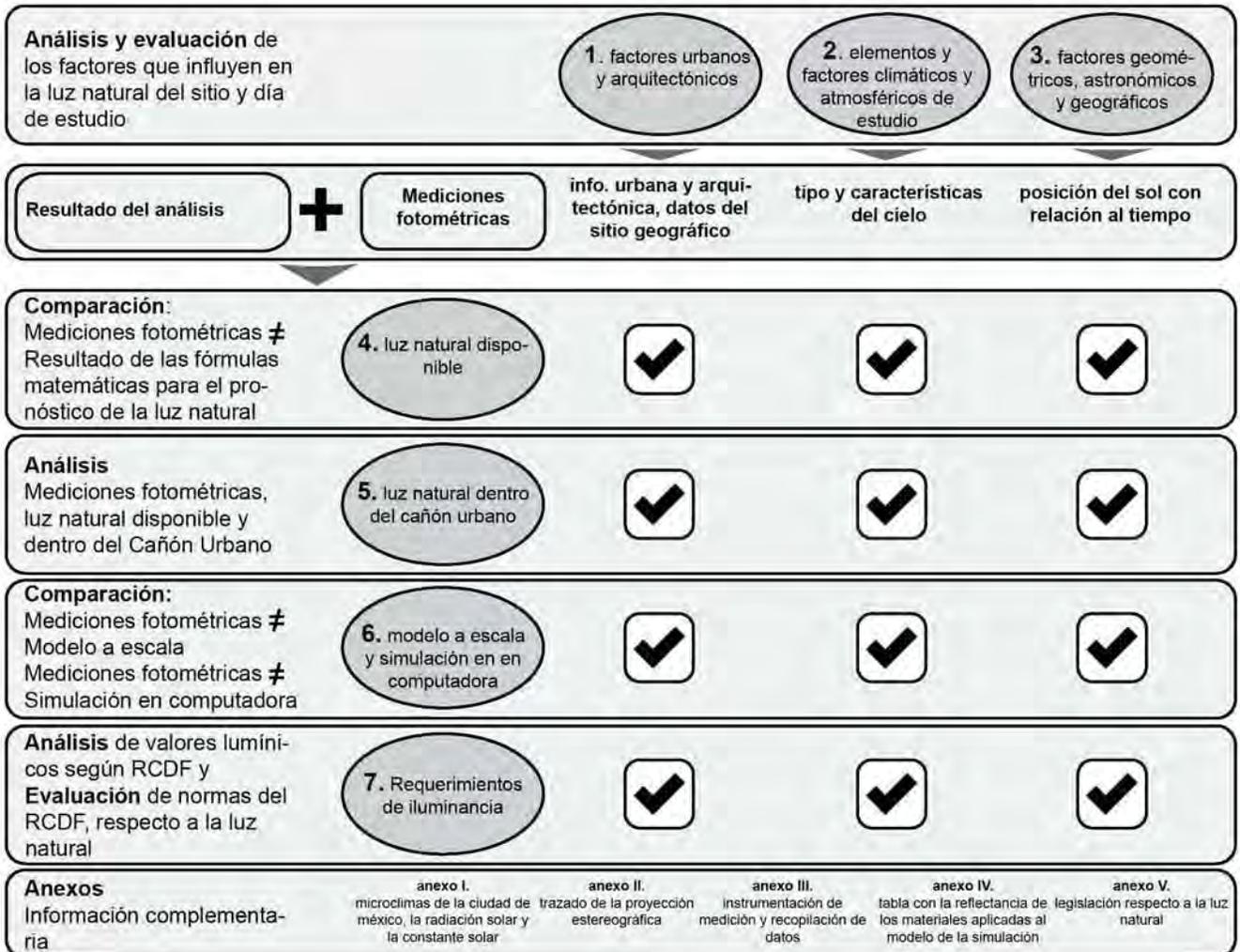


Imagen: Lámina explicativa del trabajo de investigación por capítulos

FACTORES URBANOS Y ARQUITECTÓNICOS

INTRODUCCIÓN

La cantidad y calidad de la luz natural incidente al interior de un espacio arquitectónico depende mayormente de la geometría urbano-arquitectónica, así como de las propiedades de los materiales en el espacio urbano. Por lo tanto es de suma importancia el análisis de los factores urbanos y arquitectónicos que influyen en la luz natural del sitio de estudio.

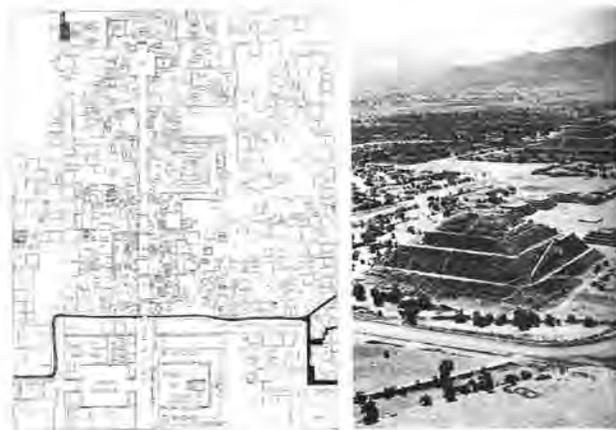
ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

LA TRAZA URBANA A TRAVÉS DEL TIEMPO

En la antigüedad condicionantes como el asoleamiento, el viento y el agua formaban los principios básicos de la planeación urbana. Así, protegerse de los vientos desfavorables y aprovechar los favorables, orientar las calles en función del movimiento del sol y considerar el abastecimiento de agua son, sin duda, aspectos fundamentales en el diseño y traza urbana que, aunado al uso de retículas como consecuencia de la idea de crear un orden espacial y eficiencia funcional, dieron por resultado ciudades con alto grado de integración ambiental (Viqueira, Rodríguez, Figueroa, Fuentes, 01). En ciudades como Mohenjo Daro en la India, 3000 a.C., Teotihuacan en México, 500 d.C. es posible ver el predominio de retículas orientadas según los puntos cardinales en algunos casos con la jerarquización de uno de los ejes, ya sea Norte-Sur o Este-Oeste (Rodríguez Viqueira, 01). (Ver imagen: Mohenjo Daro en la India, 3000 a.C. y Teotihuacan en México, 500 d.C.)



Mohenjo Daro en la India, 3000 a.C., (Behling, 00).



Teotihuacan en México, 500 d.C., (Behling, 00).

Uno de los registros escritos teóricos más significativos con referencia a la arquitectura y al urbanismo de la antigüedad se refiere al libro *De Architectura*, escrito por el arquitecto romano, Marco Vitruvio Pollio, durante la época del emperador Augusto. La primera edición impresa del *De Architectura* fue obra de un filólogo, cuya fecha de aparición generalmente aceptada, aunque con reservas, parece ser la de 1486. A partir de este momento el libro de Vitruvio se convierte en un elemento de referencia inevitable en la teoría de la arquitectura de la Edad Moderna (Rodríguez Ruiz, 00). En el libro sexto en el primer capítulo, sobre las condiciones climáticas y la disposición de los edificios, menciona lo siguiente (retomado del libro de Vitruvio, de la traducción de Oliver, 00):

Los edificios privados estarán correctamente ubicados si se tiene en cuenta, en primer lugar, la latitud y la orientación donde van a levantarse. Muy distinta es la forma de construir en Egipto, en España, en el Ponto, en Roma e igualmente en regiones o tierras que ofrecen características diferentes, ya que hay zonas donde la tierra se ve muy afectada por el curso del sol; otras están muy alejadas y otras, en fin, guardan una posición intermedia y moderada. Como la disposición de la bóveda celeste respecto a la tierra se posiciona según la inclinación del zodiaco y el curso del sol, adquiriendo características muy distintas, exactamente de la misma manera se debe orientar la disposición de los edificios, atendiendo a las particularidades de cada región y a las diferencias del clima. Parece conveniente que los edificios sean abovedados en los países del norte, cerrados mejor que descubiertos y siempre orientados hacia las partes más cálidas. Por el contrario, en países meridionales, castigados por un sol abrasador, los edificios deben ser abiertos y orientados hacia el cierzo. Así, por medio del arte se deben paliar las incomodidades que provoca la misma naturaleza. De igual modo se irán adaptando las construcciones en otras regiones, siempre en relación con sus climas diversos y con su latitud.

Posteriormente, los conquistadores y colonizadores de América ... fundan las nuevas ciudades con un modelo uniforme, que surge de la tradición medieval, de la cultura renacentista, de los textos de los tratados (Vitruvio, Alberti, etcétera) y del espíritu de regularidad geométrica. Este modelo fue impuesto por las autoridades desde los primeros años de la Conquista con base en las leyes de 1573, quizá la primera norma urbanística de la edad moderna. Dentro de ésta se menciona de manera clara la orientación que deben tener las ciudades (Las ordenanzas de Felipe II se componen de 148 artículos, divididos en tres grandes apartados, en el segundo, De las Nuevas Poblaciones, artículos del 110 al 135, se encuentran las referencias respecto a los aspectos físicos y de trazo, retomado de Rodríguez Viqueira, 01, que al mismo tiempo fue retomado de L. Benévolo, *Diseño de la Ciudad*, Barcelona, Gustavo Gili, Vol. 4, 1982, pp.112-116):

...La plaza central debe situarse en el centro de la ciudad, de forma oblonga, con la longitud igual, al menos, a una vez y media su anchura...

...Las cuatro calles principales conducen fuera de la plaza, cada una de ellas desde el punto medio de cada lado, y dos desde cada uno de los ángulos. Estos deben estar orientados hacia los cuatro puntos cardinales, porque así las calles que salen de la plaza no estarán expuestas directamente a los cuatro vientos principales. Toda la plaza y las cuatro calles principales que divergen de ella estarán provistas de pórticos porque son muy necesarios a las personas que en ellos se congregan para comerciar...

En diferentes casos la nueva orientación de las trazas propuesta por las ordenanzas de Felipe II resultaba conveniente, ya que ésta coincidía con la traza de los asentamientos prehispánicos y en consecuencia se sobreponían, como es el caso de la Ciudad de México (Rodríguez Viqueira, 01).

Posteriormente, aspectos estéticos, de control y seguridad dieron lugar a las grandes avenidas con vegetación, dando lugar a espacios más salubres, sin embargo la orientación y los asoleamientos no fueron determinantes en este trazado. En México, durante el Porfiriato, se retomaron algunos de los postulados, de la traza Haussmaniana, en los planes de expansión de la Ciudad de México (Rodríguez Viqueira, 01).

Con la corriente funcionalista en el siglo XX renace el interés por la orientación de las trazas, la cual debe de ser pensada en relación a las necesidades fundamentales de los hombres y por lo tanto en la salud de éstos. Se pensaba que los rayos solares tienen efectos curativos, en específico relacionado con la enfermedad de la tuberculosis. En 1933 en el Congreso Internacional de Arquitectura Moderna (CIAM), en Atenas, Grecia, se le dio un espacio importante a los aspectos ambientales (Rodríguez Viqueira, 01), lo que se reflejó en los siguientes

puntos de La Carta de Atenas (La Carta de Atenas, 1954, las explicaciones que aclaran los artículos han sido redactadas por el primer delegado del CIAM por Francia, Le Corbusier, y por Jeanne de Villeneuve, baronesa de Aubigny):

12, dentro de la segunda parte, crítico estado actual de las ciudades, para la habitación, observaciones:

...El primer deber del urbanismo es el ponerse de acuerdo con las necesidades fundamentales de los hombres. La salud de cada uno depende en gran parte de su sometimiento a las "condiciones de naturaleza". El sol, que preside a todo crecimiento, debería entrar al interior de cada vivienda para derramar en ella los rayos en cuya ausencia se marchita la vida...

...El sol, el verdor, el espacio, son las tres materias primas del urbanismo...

26, dentro de la segunda parte, crítico estado actual de las ciudades, para la habitación, hay que exigir:

...que un número mínimo de horas de soleamiento sea fijado para cada vivienda.

Al estudiar la ciencia las radiaciones solares, ha revelado las que son indispensables a la salud humana y también aquellas que en ciertos casos pudieran perjudicarla.

El sol es el señor de la vida.

La medicina ha mostrado que la tuberculosis se instala allí donde el sol no penetra; pide que el individuo se en lo posible vuelte a colocar en "condiciones de naturaleza". El sol debe penetrar en cada vivienda varias horas diarias, aún durante la estación menos favorecida.

La sociedad no tolerará más que familias enteras sean privadas de sol, y por ende destinadas al debilitamiento.

Todo plano de casa en el que una sola vivienda estuviera toda mal orientada, o privada de sol por causa de sombras proyectadas, será rigurosamente condenado.

Debe exigirse a los constructores el plano demostrativo de la penetración del sol en cada vivienda durante dos horas como mínimo en el solsticio de invierno. Sin lo cual se negará la autorización para construir.

Introducir al sol es el nuevo y más imperioso deber del arquitecto.

Más tarde con la industrialización, la energía barata y el dominio de la tecnología sobre las condiciones ambientales, trajeron como consecuencia el abandono de la preocupación por la buena orientación de las calles y construcciones. Así, las construcciones podrían recurrir a nuevas tecnologías en sistemas activos de calefacción, enfriamiento, humidificación y lavado de aire, entre otras (Rodríguez Viqueira, 01).

Actualmente en la arquitectura y en el urbanismo el consumo de energía óptimo es determinante para la orientación tanto urbana como arquitectónica. El emplazamiento de las construcciones y la orientación de las calles debe de estar sujeta a las condiciones particulares del lugar, con el fin del confort en sus exteriores e interiores (Rodríguez Viqueira, 01).

GEOMETRÍA URBANA Y EL ASOLEAMIENTO

El estudio de la trayectoria solar y la incidencia de los rayos solares en los espacios urbanos deben formar parte de la estrategia del diseño urbano, ya que el ancho de las calles y la altura de las edificaciones pueden imposibilitar la entrada de los rayos solares en las edificaciones. Al espacio confinado por las edificaciones y el espacio público se le conoce como Cañón Urbano. (Ver imagen: Cañón urbano, espacio confinado por las edificaciones y el espacio público)

Es importante tomar en cuenta que la adecuada orientación de una construcción no garantiza la cantidad de horas de sol requeridas para la misma dentro del entramado urbano (Higueras, 06), ya que las

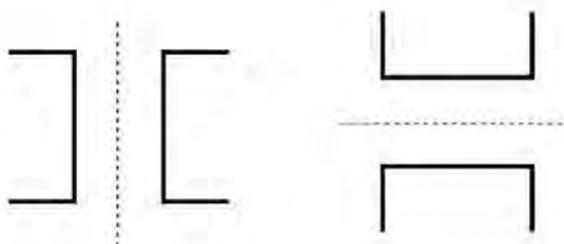


Cañón urbano, espacio confinado por las edificaciones y el espacio público

características de éste pueden provocar que se reduzca o incremente considerablemente la incidencia solar. Por lo tanto es fundamental el análisis de la geometría urbana con respecto al asoleamiento, ya que se entiende que bajo una alta densidad urbana la incidencia de los rayos solares en los espacios interiores será menor (Higuera, 06).

ORIENTACIÓN DE LA TRAZA URBANA

Si se considera el asoleamiento y el viento en las trazas urbanas se tiene a consecuencia una buena orientación de las fachadas arquitectónicas, las cuales constituyen el espacio urbano. A continuación se mencionan dos casos en donde la orientación de las trazas es ortogonal a las 4 orientaciones principales, Norte, Sur, Este y Oeste.



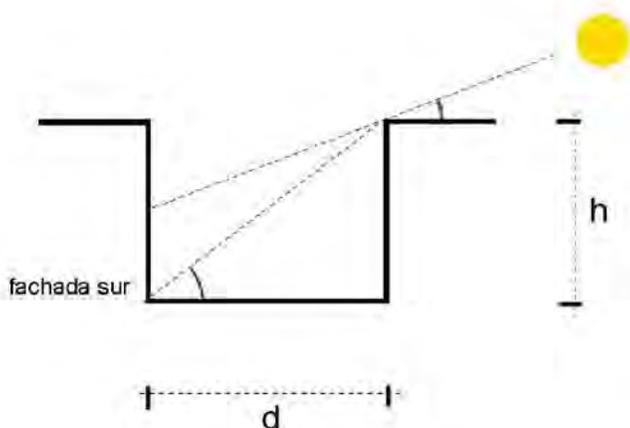
Calles con directriz norte-sur generan fachadas orientadas al Este y al Oeste (Higuera, 06)

Calles con directriz este-oeste generan fachadas orientadas al Norte y al Sur (Higuera, 06)

En el primer caso, las calles generan fachadas al este y oeste, en las cuales el sol incide por la mañana o por la tarde respectivamente. Esta solución permite que todas las fachadas dispongan de horas de sol, pero nunca en las horas centrales del día, que es cuando el sol calienta más. Pero tampoco generan viviendas orientadas sólo al norte. Así pues, es una solución recomendable en latitudes mayores a 40° y siempre que los veranos no sean excesivamente calurosos, ya que el calentamiento sobre la fachada oeste puede ser muy negativo para el confort interior de las viviendas. Sería aconsejable tratar el espacio exterior con arbolado caduco, sobre todo en la fachada oeste (Higuera, 06). (Ver imagen: Calles con directriz Norte-Sur generan

fachadas orientadas al Este y al Oeste)

En el segundo caso aparecen edificios con una fachada óptima en invierno (la fachada sur) y otra en verano (la fachada norte). En esta situación, es un requisito imprescindible tomar en consideración la relación entre la altura del edificio y la distancia entre fachadas, ya que condicionará la entrada de sol (sobre todo cuando la altura solar es menor, es decir, durante el invierno) en las plantas más inferiores (Higuera, 06). (Ver imagen: Calles con directriz Este-Oeste generan fachadas orientadas al Norte y al Sur)



ángulo de obstrucción
 $h_o = \arctan h/d$, en grados

Ángulo de Obstrucción (Higuera, 06)

ÁNGULO DE OBSTRUCCIÓN

La preocupación por la buena orientación vuelve con la corriente funcionalista. En este periodo el postulado racional de Walter Gropius establece las "reglas" para la definición de las distancias óptimas mínimas entre dos fachadas enfrentadas (retomado de Higuera, 06):

"iguales a una vez y media la altura de los mismos, preferible en el caso de una orientación norte-sur y dos veces y media si se trata de una orientación este-oeste".

Es decir:

$D = 1.5 h$ en fachadas con orientación norte-sur.

$D = 2.5 h$ en fachadas este-oeste.

Cuando estos postulados de Gropius pasaron a los textos normativos, quedaron plasmados de la siguiente manera: las relaciones entre fachadas de bloques "separados

al menos la altura entre ellos", ($d = H$), sin vinculación a la orientación de las fachadas, un factor que produce obstrucciones solares en las fachadas orientadas al sur, y que no cumplen con las necesidades mínimas de soleamiento consideradas como óptimas en cualquier orientación (Higueras, 06).

La distancia entre fachadas genera la relación entre el ancho de calle y la altura de la edificación, esta relación determina el Ángulo de Obstrucción h_0 (Higueras, 06). (Ver imagen: Ángulo de Obstrucción) Este término es utilizado en la normativa de construcción en base a la provisión de luz natural en muchos países. Obviamente, un ángulo grande de obstrucción significa menos luz del día disponible. Evans, en 1980, recomienda límites en los ángulos de obstrucción, para diferentes latitudes, para una buena iluminación con luz natural. Sin embargo, el uso de un Ángulo de Obstrucción único causa problemas en los entornos urbanos densos donde las obstrucciones son grandes e irregulares (Cheung, Chung, 05).

URBANISMO BIOCLIMÁTICO

Los principios generadores del urbanismo bioclimático se pueden resumir del modo siguiente (retomado de Higueras, 06):

A cada lugar una planificación mediante:

- Una traza que responda a criterios de asoleamiento y viento local.
- Calles adaptadas a la topografía, buscando las orientaciones óptimas de asoleamiento y viento local.
- Zonas verdes adecuadas a las necesidades de humedad y evaporación ambiental (en superficie, conexión y especies vegetales apropiadas).
- El emplazamiento de manzanas que generen fachadas bien orientadas y una adecuada proporción de patios de manzana según el clima.
- Parcelación que genere edificios con fachadas y patios bien orientados.
- Tipología edificatoria diversa y adecuada a las condiciones del sol y viento del lugar.

Los criterios de los nuevos trazados reguladores son ajenos, normalmente, a las condiciones del medio natural. Es frecuente que (retomado de Higueras, 06):

- encontremos edificios de más de cuatro plantas, sin considerar las obstrucciones solares que provocan sobre otros edificios o las sombras arrojadas que se producen sobre los espacios libres urbanos;
- aparezcan las mismas dimensiones de huecos en la fachada norte que en las otras restantes;
- encontremos balcones en las orientaciones sin sol;
- se construya con elementos y técnicas constructivas de "estilo internacional", sin tomar en consideración los factores intrínsecos y propios de la localidad;
- aparezcan azoteas planas o bloques elevados sobre pilotis, que causan graves perjuicios sobre los espacios libres, pues quedan sometidos a fuertes corrientes de viento y provocan la consiguiente pérdida de calor sobre la losa del primer piso.

CONCLUSIONES

La planificación urbana y arquitectónica dependen de los factores naturales del lugar del emplazamiento, por lo tanto es necesario conocerlos y estudiarlos para poder proyectar nuestra ciudad y nuestra arquitectura.

El asoleamiento y por lo tanto la iluminación natural en una situación urbana es un asunto complejo, que necesita un correcto entendimiento para poder luego articular las estrategias oportunas (Higueras, 06).

Para poder definir la óptima orientación de trazas y edificios, respecto al asoleamiento y a la iluminación natural, para un sitio en específico, es necesario estudiar los aspectos cuantitativos y cualitativos de estos recursos naturales. Es posible conocer estos aspectos a través de mediciones in-interrumpidas y por un periodo de tiempo significativo en el lugar de estudio, lo que generará valores, los cuales darán pie al análisis de la orientación óptima de trazas y edificios con respecto al asoleamiento y a la iluminación natural, en un contexto urbano.

Además, atendiendo a lo que dice Higueras (2006) no se deben adoptar nunca soluciones o requisitos

climáticos y lumínicos provenientes de zonas diferentes a la que es objeto de estudio.

Es preciso equilibrar todos los aspectos que contemplan un asentamiento urbano en un medio natural, para el bienestar de las personas que lo habitan y para generar el menor impacto en el medio ambiente.

La conclusión, por lo tanto, es que la búsqueda de la adecuación completa y óptima entre el medio natural y urbano continúa y continuará mientras el ser humano siga habitando las ciudades y el planeta.

CASO DE ESTUDIO INFORMACIÓN URBANA Y ARQUITECTÓNICA

La edificación de estudio se localiza en el Centro Histórico de la Ciudad de México, cuya latitud es 19.43° Norte y cuya longitud es 99.13° Oeste.

La traza urbana del Centro Histórico de la Ciudad de México está orientada a los cuatro puntos cardinales con una ligera inclinación a partir del Norte geográfico al Este de aproximadamente 8.4°. (Ver imagen: Traza urbana del Centro Histórico de la Ciudad de México). Esto genera que las fachadas de las edificaciones tengan orientación Nor-Este, Nor-Oeste, Sur-Oeste y Sur-Este, siendo este último el caso de la orientación de la fachada de la edificación de estudio. La cual se ubica sobre la calle de Isabel la Católica No. 67, entre Mesones y República del Salvador. (Ver imagen: Ubicación de la edificación de estudio)

El espacio urbano de ese tramo de la calle Isabel La Católica esta conformado por edificaciones de dos a tres niveles, excepcionalmente, de cinco niveles. Las edificaciones mantienen un lineamiento homogéneo sobre el borde del predio hacia el espacio urbano. La proporción de los vanos tiende a ser más vertical que horizontal



Traza urbana del Centro Histórico de la Ciudad de México (Google, 10)



Ubicación de la edificación de estudio (Google, 10)

para casi todas las fachadas a excepción de dos fachadas. Una de ellas es la colindante al Sur con la edificación de estudio y la otra es una de las edificaciones enfrentadas al objeto de estudio. La altura promedio de las edificaciones es de aproximadamente 12 metros. Los materiales de las fachadas son principalmente de piedra y aplanados en colores blancos, terracota y amarillos tenues. (Ver imagen: Imagen urbana de la calle Isabel La Católica, vista de Mesones a República del Salvador e Imagen urbana de la calle Isabel La Católica, vista de República del Salvador a Mesones)

El espacio urbano está compuesto por una vía con dos carriles en dirección Nor-Este y una banqueta de cada lado. El ancho de vía pública es, aproximadamente, de 13 metros y se constituye de un material tipo concreto estampado gris oscuro. Es más oscuro el de los carriles que el de las banquetas.



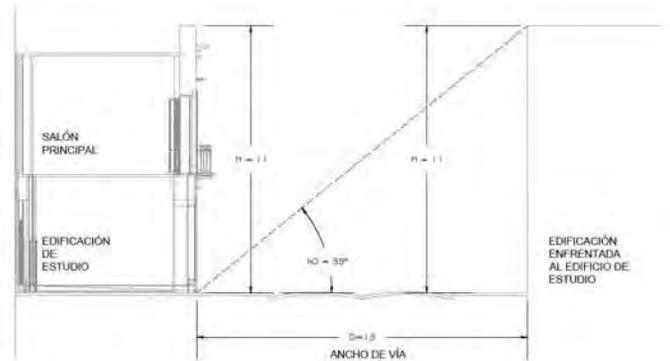
Imagen urbana de la calle Isabel La Católica, vista de Mesones a República del Salvador.



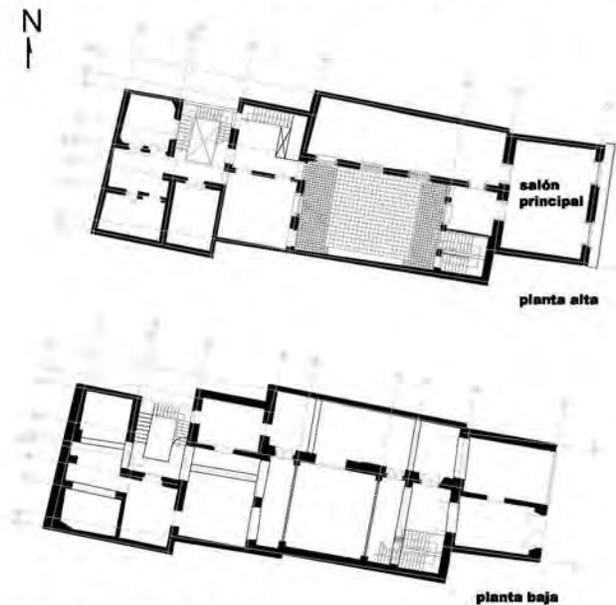
Imagen urbana de la calle Isabel La Católica, vista de República del Salvador a Mesones (Stock.xchng, 10)

Respecto a la geometría urbana podemos decir que la proporción del Cañón Urbano (espacio confinado por las edificaciones y el espacio público) es de casi 1 a 1, en donde la altura promedio es de 12 metros y el ancho de vía de 13 metros. Con un Ángulo de Obstrucción promedio de 42° grados. En el punto de la edificación de estudio el Ángulo de Obstrucción es de 39° grados. (Ver imagen: Corte Transversal de la calle Isabel La Católica)

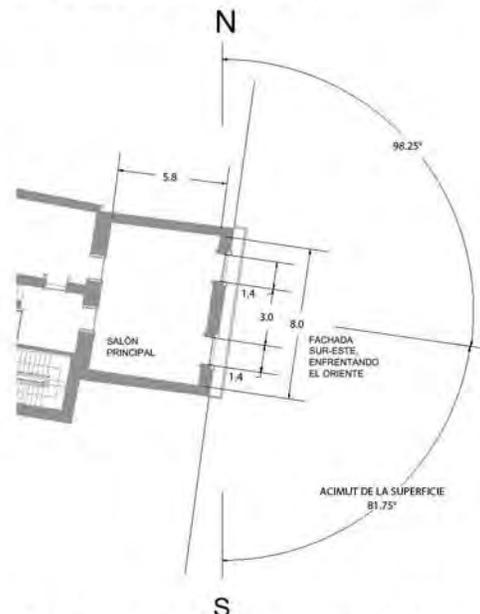
La fachada del edificio de estudio enfrenta el Oriente, específicamente tiene una orientación Sur-Este con un acimut de la superficie de fachada de 81.75° grados del Sur geográfico y a 98.25° grados del Norte geográfico. Esta fachada tiene una altura de 10.5



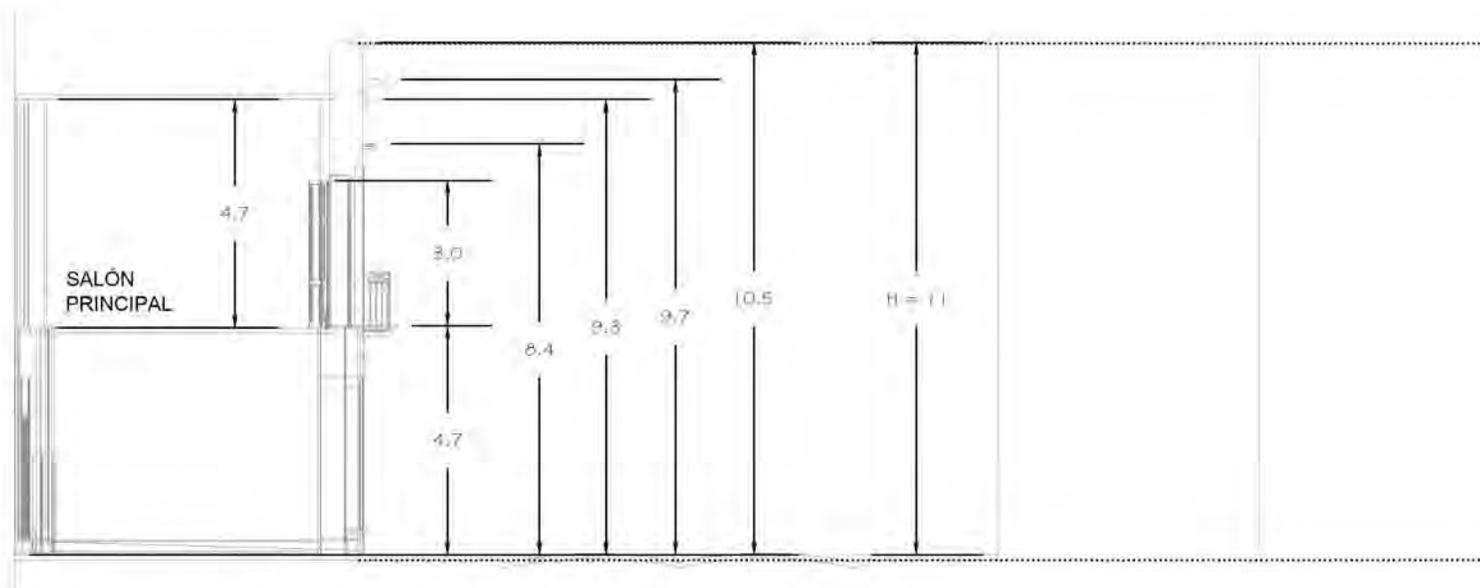
Corte transversal de la calle Isabel La Católica, entre Mesones y República del Salvador a la altura de la edificación de estudio, muestra la altura de la edificaciones y ancho de vía, así como el Ángulo de Obstrucción de 39° grados.



Plantas del edificio de estudio



Planta del salón principal y orientación de la fachada del edificio de estudio



Corte del salón principal y la fachada del edificio de estudio enfrentada al Oriente

metros y un ancho de 8.9 metros, aproximadamente. La edificación tiene 4 vanos hacia la calle 2 puertas en la planta baja y dos vanos tipo puertas en el primer nivel. Por estos vanos es posible salir a un balcón, de 1 metro de ancho y 9 metros de largo (largo de la fachada) contenido por un barandal de hierro de 1.10 metros de alto, aproximadamente. En esta fachada existen 4 elementos de cornisas de cantera de los cuales dos son corridos y del largo de la fachada a una altura de 9.3 y 9.8 metros del nivel de calle y otros dos a la altura de 8.4 metros del nivel de calle centrados sobre cada vano con un largo de 2.7 metros cada uno. (Ver imagen: Planta del salón principal y orientación de la fachada del edificio de estudio)

El espacio arquitectónico interior de estudio es el salón principal en primer nivel, a 4.7 metros del nivel de calle, con dimensiones de 5.8 metros de profundidad, 8 metros de ancho y 4.7 metros de alto, por lo que tiene 46.4 metros cuadrados de área, aproximadamente. Al interior, tiene dos puertas de acceso, de 4.5 x 1.4 metros, respectivamente, y dos vanos hacia la calle, de 3 x 1.4 metros (sin contar el marco exterior de cantera y madera), aproximadamente. Este espacio se compone de una viguería de madera en el techo, un piso de madera clara y un acabado de paredes tipo aplanado color blanco. Las puertas de acceso al espacio son de madera. Los vanos de acceso al balcón están formados por dos tipos de puertas de madera las primeras, del exterior al interior, cuentan con tres aperturas rectangulares con vidrio simple, a una altura de 80 centímetros, dos verticales y una horizontal sobre estas últimas dos y las segundas cuentan con 4 aperturas, verticales con vidrio simple a un altura de 80 centímetros, y 4 aperturas más chicas sobre las verticales. La distancia entre estos dos vanos es de 40 centímetros y el remetimiento de la primera puerta desde el paramento de la fachada es de 20 centímetros, aproximadamente. En el interior, los vanos tienen un marco de madera el cual sobresale 10 centímetros del paño interior del espacio. Mientras que hacia el exterior los vanos tienen un marco de cantera el cual sobresale 6 centímetros del paño de la fachada. (Ver imagen: Planta del salón principal y orientación de la fachada del edificio de estudio)

La arquitectura de la edificación de estudio presenta características de una casa habitación típica del siglo XIX.



Fachada del edificio de estudio y los edificios colindantes, Isabel La Católica, entre Mesones y República del Salvador, Centro Histórico de la Ciudad de México, vista hacia República del Salvador.



Fachada del edificio de estudio enfrentada al Oriente, ubicado sobre Isabel La Católica, en el Centro Histórico de la Ciudad de México



Interior del salón principal del edificio de estudio.



Interior del salón principal del edificio de estudio

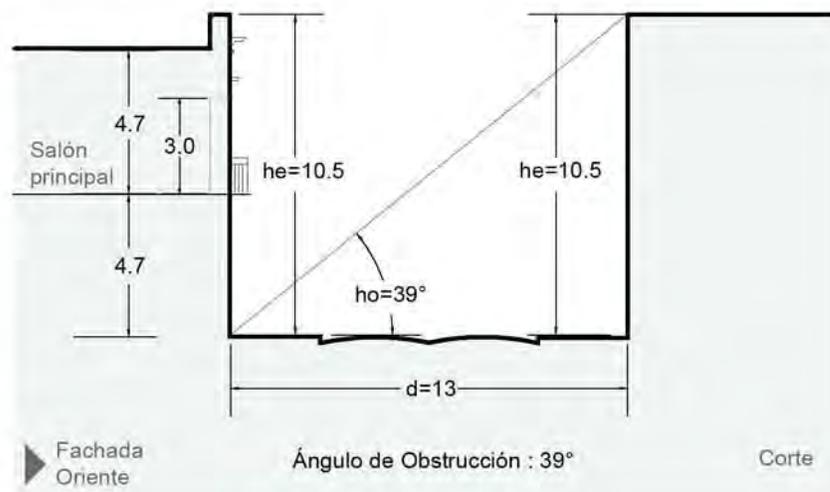
CONCLUSIONES

Estudiar las zonas urbanas consolidadas, como es el Centro Histórico de la Ciudad de México, en el caso de este trabajo, permite evaluar las condiciones lumínicas actuales y poder sugerir acciones para las nuevas zonas urbanas de la ciudad, así como para mejorar las ya existentes.

La dirección de la calle Isabel La Católica al Nor-Este genera edificaciones orientadas al Oriente y al Poniente. La edificación de estudio presenta una fachada orientada al Oriente. Por lo cual los espacios con vanos en esta fachada, como el salón principal ubicado en el primer nivel del edificio, recibirá luz solar por las mañanas.

El corte transversal de la calle Isabel La Católica entre Mesones y República del Salvador a la altura del número 67 (edificio de estudio) presenta un Ángulo de Obstrucción de 39° grados, menor de 45° grados, que por lo que indican algunas normas (en donde se requiere que la distancia entre edificios enfrentados sea de mínimo la altura de éstos con un Ángulo de Obstrucción mínimo de 45° grados), este ángulo debería de garantizar luz natural suficiente, en los interiores arquitectónicos del edificio de estudio, ubicados sobre esta fachada, así como ciertas horas de luz solar al interior de los mismos. Por otro lado, existen estudios como el de Gropius en donde para orientaciones Este-Oeste se recomendaba que la distancia fuera 2.5 veces la altura de los edificios, para garantizar la incidencia de luz natural y luz solar. Para lo cual, la distancia entre el edificio de estudio y el edificio enfrentado debería ser de 26.25 metros con un Ángulo de Obstrucción de 24° grados, aproximadamente. No se debe dejar de lado, la importancia de relacionar las sugerencias de planificación, en este caso respecto al Ángulo de Obstrucción, con la latitud del sitio geográfico de estudio, ya que ésta determinará la trayectoria solar y con esto se tendrá información precisa de la incidencia de los rayos solares a lo largo del año.

Es necesario corroborar si el espacio interior, en este caso el salón principal del edificio de estudio, recibe suficiente cantidad de luz natural para desempeñar las actividades requeridas.



Factores urbanos y arquitectónicos



ELEMENTOS Y FACTORES CLIMÁTICOS Y ATMOSFÉRICOS DE ESTUDIO

INTRODUCCIÓN

Factores climáticos, como la latitud, la altitud, la topografía, así como algunos de los elementos climáticos, como la temperatura, los vientos, la humedad y las precipitaciones; y algunos factores atmosféricos son importantes en el estudio de la luz natural para un punto geográfico en específico. Estos determinan, en parte, la cantidad y calidad de la luz natural que tenemos disponible para el sitio de estudio.

Los elementos climáticos que influyen de forma relevante en el confort humano de los habitantes de la ciudad se ha alterado con el proceso de urbanización. Esto ha ocurrido en el siglo XX, específicamente para nuestro país, donde éste se transformó de una nación rural a una urbana. De ahí la relevancia que tienen los estudios del clima de las ciudades y su modificación en el proceso de urbanización (Jáuregui, 06).

ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

MESOMICROCLIMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Los fenómenos meteorológicos se clasifican generalmente en tres grupos de acuerdo a su extensión horizontal (Huschke, 1959, retomado de Jáuregui, 71)). Se entiende que las perturbaciones macrometeorológicas son detectables a la escala de los mapas meteorológicos que usualmente comprenden, para nuestra ubicación, la Ciudad de México, casi toda Norteamérica, México y el Caribe. En cambio cuando se estudia el ambiente atmosférico de un área generalmente menor de un kilómetro de extensión se entra al dominio de la microclimatología. Al clima de la Ciudad de México se le clasifica como mesoclima entendiendo que en 1935 el meteorólogo francés H. Scaetta propone que entre el macroclima y el microclima debía de haber un mesoclima o clima regional. En la medida en que la distribución de los diversos factores del clima que se analizarán abarca áreas mayores de un kilómetro (Jáuregui, 71). Dentro del área urbana de la Ciudad de México también se detectan microclimas lo que ha dado pie al estudio del fenómeno de la "Isla de Calor Urbana".

Aunque la situación geográfica de la Cuenca de México, donde se ubica la Ciudad de México, se encuentra dentro de la zona tropical su gran altura sobre el nivel del mar (más de 2000 m) le da algunas características de los países templados. El mesoclima de la Cuenca de México varía de templado a muy frío por la disminución de la temperatura con la altitud, así la zona templada comprende el lecho de la cuenca y las laderas de las montañas que lo rodean, hasta una altitud de 2800 m aproximadamente, la zona semifría abarca las laderas montañosas de altitud comprendida entre 2800 y 4000 m, la zona fría, con altitudes entre 4000 y 5272 m y la zona muy fría, en las partes más elevadas. (García, 68)



Cuenca de México, climas, según el sistema de clasificación climática de Köppen modificado por Enriqueeta García (García, 68), redibujado por la autora de este tesis.

este último el que se encuentra en dos puntos dentro de la cuenca, a este clima se le clasifica como clima semiseco, templado con verano cálido. Las características del clima BS_1 son: temperatura media anual entre 12°C y 18°C , temperatura media del mes más frío entre -3°C y 18°C y la temperatura media del mes más caliente sobre 18°C con régimen de lluvias de verano: por lo menos 19 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco (García, 68).

El comportamiento de la temporada del clima en la Ciudad de México, se divide principalmente en tres: la época de secas, la época de calor y la época de lluvias. Cada una con características diferentes (Jáuregui, 06).

La época de secas en la Ciudad de México, que va generalmente de noviembre a abril, presenta las siguientes características: días cortos, ya que nos referimos a la estación invernal, en donde la luz diurna tiene un periodo de 10 horas y abundante radiación, por los cielos despejados (Jáuregui, 06).

La época de calor, en los meses de marzo a abril, es una época de transición entre la de secas y la de lluvias, esta presenta las siguientes características: abundancia de radiación solar; atenuación del rayo solar por la contaminación particulada, por el efecto de la absorción de la radiación global por partículas que flotan en el aire urbano, las cuales absorben una parte de la radiación global; temperaturas extremas; mañanas frías; tardes calurosas; casos extremos de ondas de calor (Jáuregui, 06).

La época de lluvias, de mediados de mayo a mitad de octubre, se caracteriza por lo siguiente: amanece nublado, por el aire estratificado; en la mañana la radiación directa dispersa las capas de aire y presenta un cielo despejado; después del medio día, se forman nubes convectivas, las cuales proporcionan una radiación difusa; al final de la tarde es cuando se presentan las precipitaciones; a media noche, al haberse gastado la energía, queda un cielo despejado; en la segunda mitad de la media noche el aire estratificado forma niebla o capa de estratos al nivel del suelo (Jáuregui, 06).

Estudios realizados desde el siglo XIX han detectado el contraste térmico ciudad-campo. A este fenómeno se le conoce como la "Isla de Calor Urbana", el cual se manifiesta cuando las áreas verdes son sustituidas por elementos que componen a la ciudad. Esta sustitución induce un aumento en la temperatura de la urbe con relación a la de la periferia. a consecuencia de la incidencia de radiación solar en la zona urbana, en donde los objetos son expuestos a la los rayos solares de los cuales absorben parte de la longitud de onda corta y la emiten

A excepción de las partes más elevadas y de las partes bajas de la cuenca, el tipo de clima que predomina es templado subhúmedo con lluvias en verano, $C(w_{0-2})$ (clasificación modificada por García a partir de la clasificación de Köppen), en donde $C(w_0)$ es el más seco de los subhúmedos y $C(w_2)$ el más húmedo. Así, en algunas áreas de la Cuenca será más seco que en otras. Las características del clima $C(w)$ son: temperatura media para el mes más frío entre -3°C y 18°C ; temperatura media para el mes más caliente mayor de 6.5°C ; precipitación del mes más húmedo de la mitad caliente del año mayor de 10 veces la del mes más seco; precipitación del mes más seco menor que 40 mm (García, 68).

En las partes bajas de la cuenca se encuentran zonas de clima seco BS_{0-1} (clasificación modificada por García a partir de la clasificación de Koeppen), en donde BS_0 es el más seco y BS_1 menos seco, siendo

como longitud de onda larga, la cual es percibida por el ser humano como calor. Mientras que la longitud de onda corta, incluida en la radiación solar, responde a la luz visible por el ser humano (Jáuregui, 06)

La "Isla de Calor Urbana" es un fenómeno que tiene un cambio estacional, este esta presente en tiempo de secas (noviembre-abril), ya que la variable del vapor de agua es determinante para este fenómeno y de largo periodo. En ciudades europeas se ha notado que la "Isla de Calor Urbana" es un fenómeno nocturno, mientras que en las ciudades tropicales este fenómeno se presenta al amanecer y al atardecer. En la tarde tiene influencia el efecto antropogénico entre las 7 y 9 de la noche. Propician el fenómeno las noches despejadas y con aire en calma, características de la estación seca del mesoclima de la Ciudad de México (Jáuregui, 06).

Este fenómeno genera un microclima urbano y el calentamiento del aire de la ciudad trae diferentes consecuencias como lo son, la elevación de la temperatura y con esto la intensificación de la lluvia y la atenuación de la radiación solar (Jáuregui, 06).

RADIACIÓN SOLAR Y LA ATMÓSFERA

La cantidad de radiación solar que recibe la superficie terrestre depende de factores tanto astronómicos como geométricos y también de las características de transmisión atmosférica (Zeevaert, 84).

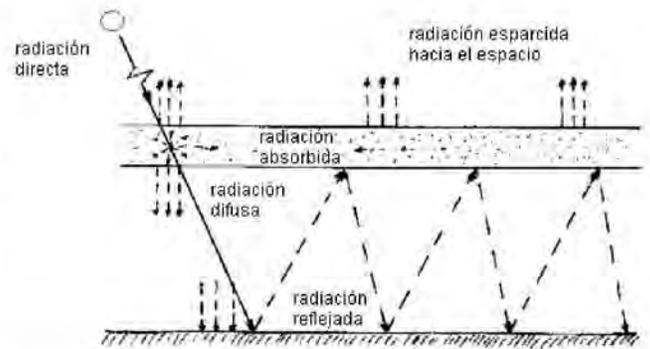
La radiación solar que llega a la superficie terrestre se puede clasificar como radiación directa y radiación difusa (Zeevaert, 84). Aún bajo condiciones de días despejados la radiación directa que llega a la superficie terrestre es absorbida y dispersada por la atmósfera terrestre (Zeevaert, 84).

La cantidad de energía que se atenúa depende del espesor de la atmósfera por lo que a mayor altitud la atenuación atmosférica debida a la absorción y a la dispersión es menor (Zeevaert, 84).

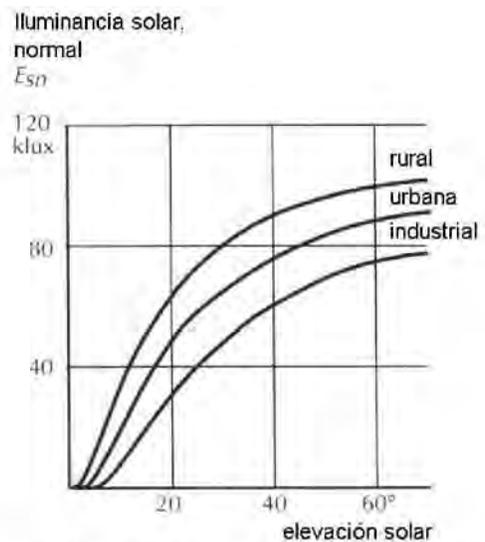
La radiación solar se absorbe por gases (ozono, oxígeno, dióxido de carbono), por agua (vapor de agua, gotas) y por aerosoles (polvo, partículas y contaminantes atmosféricos) (Zeevaert, 84).

En una atmósfera limpia, la absorción depende principalmente del vapor de agua. Parte de la radiación que se absorbe, se dispersa y llega a la superficie terrestre como radiación difusa (Zeevaert, 84). Por lo tanto aún bajo condiciones de días despejados, tendremos radiación directa del sol, radiación difusa proveniente del cielo y radiación reflejada por la superficie terrestre (Zeevaert, 84). (Ver imagen: Esquema del proceso de las reflexiones múltiples entre la atmósfera y la superficie subyacente)

A la atenuación por presencia de aerosoles se le conoce como turbiedad atmosférica (Zeevaert, 84). La turbiedad influye en los niveles de iluminancia, ésta última representa la luz emitida por una superficie.



Esquema del proceso de las reflexiones múltiples entre la atmósfera y la superficie subyacente (Muhlia, ANES (Asociación Nacional de Energía Solar, 06).



Iluminancia sobre una superficie que enfrenta la luz solar directa, para diferentes ubicaciones (Tregenza y Loe, 98).

(Ver glosario de términos) Estudios en Inglaterra muestran que la claridad de la atmósfera afecta los niveles de iluminancia, por ejemplo de un ambiente industrial, a uno urbano y a uno rural (Tregenza y Loe, 98). (Ver imagen: Iluminancia sobre una superficie que enfrenta la luz solar directa, para diferentes ubicaciones)

Mientras más bajo esté el Sol en el cielo, más larga es la distancia atmosférica atravesada por el rayo solar y por lo tanto mayor es la atenuación (Tregenza y Loe, 98). Por lo tanto en gráficas en donde se muestra la iluminancia sobre una superficie directa orientada al Sol, conocida como iluminancia normal solar, en relación a la altitud solar es posible ver como con una altitud solar baja los niveles de iluminancia normal solar son menores. (Ver imagen: Iluminancia sobre una superficie que enfrenta la luz solar directa, para diferentes ubicaciones)

ANÁLISIS DE LOS DATOS METEOROLÓGICOS DEL DÍA DE ESTUDIO, 14 DE ABRIL DE 2008

El mes de abril se caracteriza por ser parte de la estación de secas del mesoclima de la Ciudad de México. Para esta estación suponemos abundante radiación por los días despejados y prácticamente nada de precipitación.

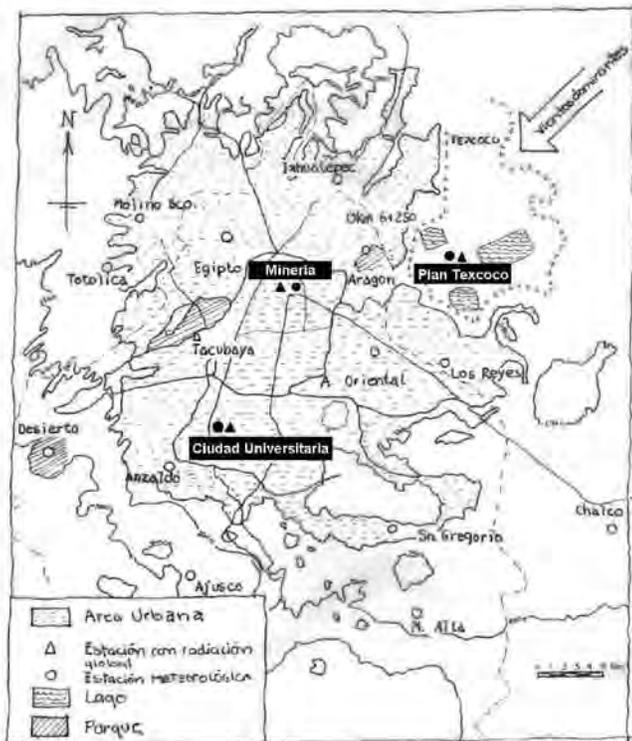
Los datos meteorológicos fueron proporcionados por la Red del grupo de Climatología Urbana dentro del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM. El análisis se llevó a cabo principalmente con los datos de la estación meteorológica del Palacio de Minería y de la estación de Plan Texcoco. Se seleccionaron estas estaciones ya que, en el caso del Palacio de Minería, ésta es la más cercana a la localidad del caso de estudio, ubicado del mismo modo en el Centro Histórico de la Ciudad de México. En cambio a la estación Plan Texcoco se recurrió, debido a que es importante presentar las diferencias meteorológicas entre estas dos estaciones,

con el fin de detectar el posible fenómeno de la "Isla de Calor Urbana". (Ver imagen: Ubicación de estaciones meteorológicas). Los datos de radiación global, directa y difusa fueron proporcionados por el Observatorio de Radiación Solar (ORS)¹ del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México, en Ciudad Universitaria, específicamente en la azotea del edificio del Instituto de Geofísica, siendo éste observatorio el único que mide radiación global, directa y difusa.

Se analizaron tres días continuos refiriéndonos al 13, 14 y 15 de abril de 2008 en la estación de Minería, Plan Texcoco y Ciudad Universitaria.

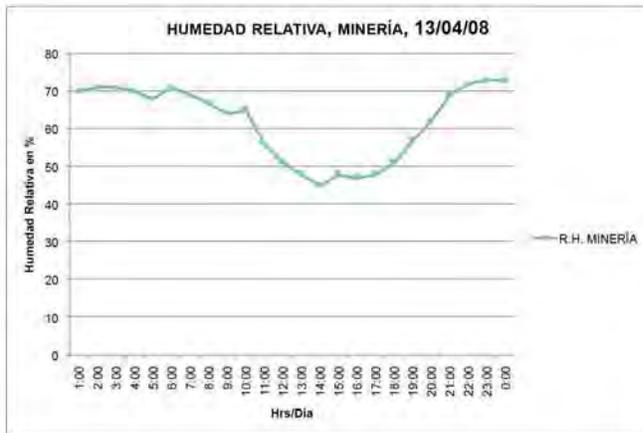
HUMEDAD RELATIVA Y PRECIPITACIÓN

En la estación de Minería para el día 13 y 14 de abril de 2008, no hay registro de lluvias, mientras que el día 15 de abril de 2008 presenta lluvias en la tarde. Con respecto a la humedad relativa, el día 13 de abril, alcanza más porcentaje de humedad, con un valor de 45% a comparación del día 14 con un valor mínimo de 30% y el día 15 con un valor mínimo de 24% alrededor del medio día, aproximadamente (Ver

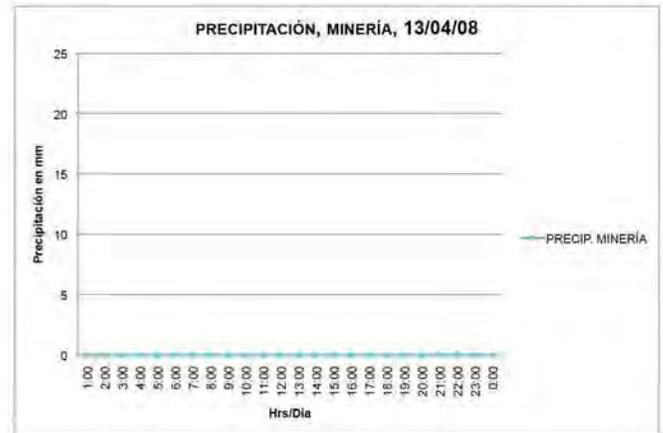


Ubicación de estaciones meteorológicas (Jáuregui, 99), dibujado por la autora de esta tesis

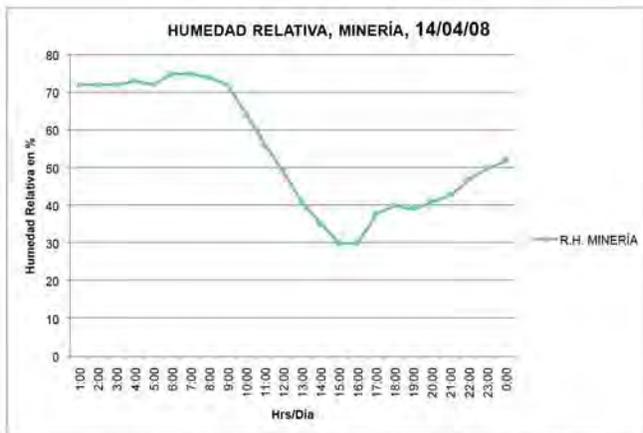
1 El observatorio de Radiación Solar (ORS) cuenta con 35 años de experiencia en la medición, evaluación e investigación en el campo de la radiación solar, en su calidad de Centro Radiométrico Regional (CRR) para la Medición de la Radiación Solar, capacitado para la referenciación de pirheliómetros y piranómetros, con reconocimiento oficial de la Región IV de la Organización Meteorológica Mundial desde 1985 (Muhlía, 06).



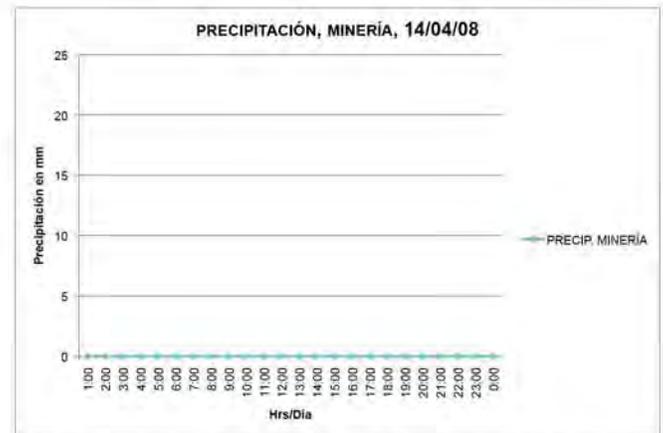
Gráfica: Humedad Relativa en la estación de Minería el día 13 de abril de 2008



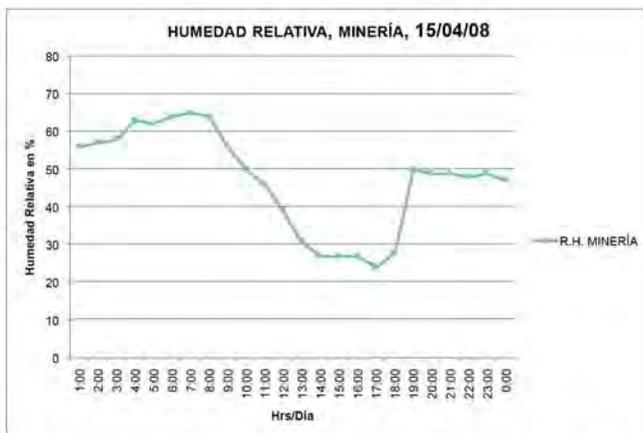
Gráfica: Precipitación en la estación de Minería el día 13 de abril de 2008



Gráfica: Humedad Relativa en la estación de Minería el día 14 de abril de 2008



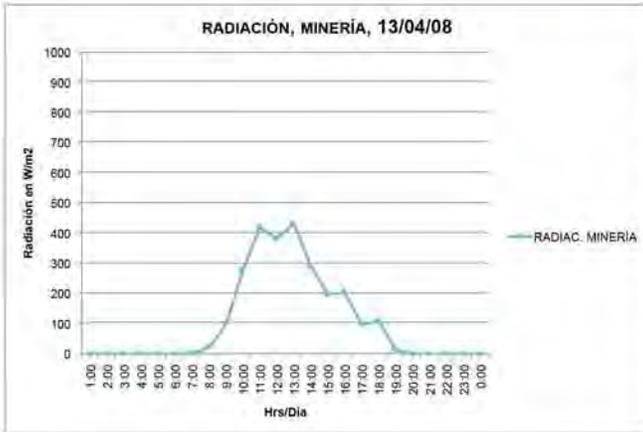
Gráfica: Precipitación en la estación de Minería el día 14 de abril de 2008



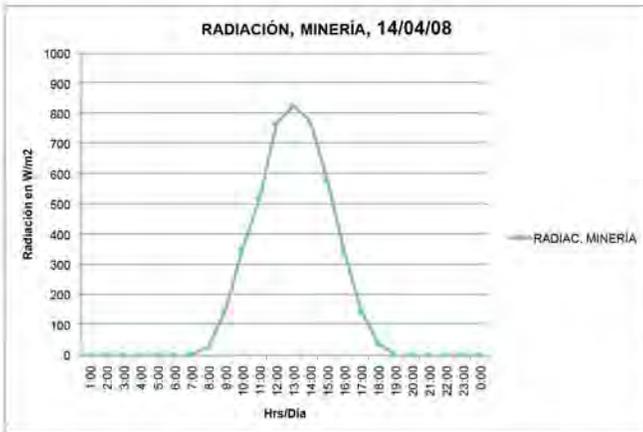
Gráfica: Humedad Relativa en la estación de Minería el día 15 de abril de 2008



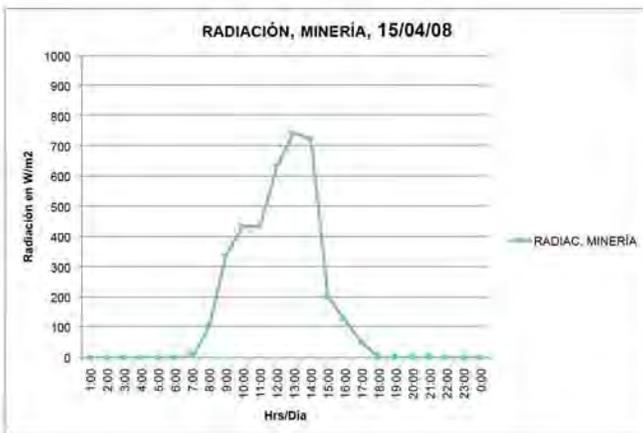
Gráfica: Precipitación en la estación de Minería el día 15 de abril de 2008



Gráfica: Radiación Solar Global en la estación de Minería el día 13 de abril de 2008



Gráfica: Radiación Solar Global en la estación de Minería el día 14 de abril de 2008



Gráfica: Radiación Solar Global en la estación de Minería el día 15 de abril de 2008

gráficas: Humedad Relativa en la estación de Minería el día 13 de abril de 2008, el día 14 de abril de 2008 y el día 15 de abril de 2008 y Precipitación en la estación de Minería el día 13 de abril de 2008, el día 14 de abril de 2008 y el día 15 de abril de 2008)

Es por la nula presencia de precipitación y por los valores continuos de radiación, que el día de estudio seleccionado es el 14 de abril de 2008, en vez del día 13 y 15 de abril de 2008. (Ver gráficas: Radiación Solar Global en la estación de Minería el día 13 de abril de 2008, el día 14 de abril de 2008 y el día 15 de abril de 2008)

TIPOS DE CIELO

Con respecto al tipo de cielo se aplica un método llamado Razón de Cielo² en donde se divide la radiación difusa entre la radiación global obteniendo una relación no mayor del valor 1, ya que si tuviéramos cielo totalmente nublado el valor de la radiación global y el valor de la radiación difusa serían iguales y con esto el resultado de la división sería 1. De esta manera si la Razón de Cielo es menor o igual a 0.3 se le clasifica al cielo como despejado, si es mayor a 0.3 y menor a 0.8 se le clasifica como cielo parcialmente nublado y si el valor es mayor a 0.8 hasta 1 se le caracteriza con cielo nublado. (Ver tabla 1: Tipos de Cielo)

Tabla 1. Tipos de cielo, retomado de la IESNA

cielo despejado		razón de cielo	≤	0.30	
cielo parcialmente nublado	0.30	<	razón de cielo	<	0.80
cielo nublado	0.80	≤	razón de cielo		

Al utilizar este método de Razón de Cielo establecemos que los días 14 y 15 de abril de 2008 son días con cielo parcialmente nublado y el día 13 de abril presenta un cielo nublado, en general. El día 14 y 15 de abril de 2008 presentan un valor promedio de 0.6, durante el día astronómico, lo que corresponde a un día parcialmente nublado, mientras que el día 15 de abril de 0.9, por lo tanto es un día con cielo nublado. El día

² Método descrito por la IESNA, *Illuminating Engineering Society of North America, Lighting Handbook, 9th Edition.*

14 y 15 de abril de 2008 presentan mayor nubosidad en las primeras y últimas horas del día astronómico. La Razón de Cielo se establece, en este caso, con los datos de la Estación Meteorológica y del ORS de Ciudad Universitaria, ya que es en este último donde miden, como se había mencionado, la radiación global, directa y difusa. (Ver gráficas: Razón de Cielo en la estación de Ciudad Universitaria el día 13 de abril de 2008, el día 14 de abril de 2008 y el día 15 de abril de 2008)

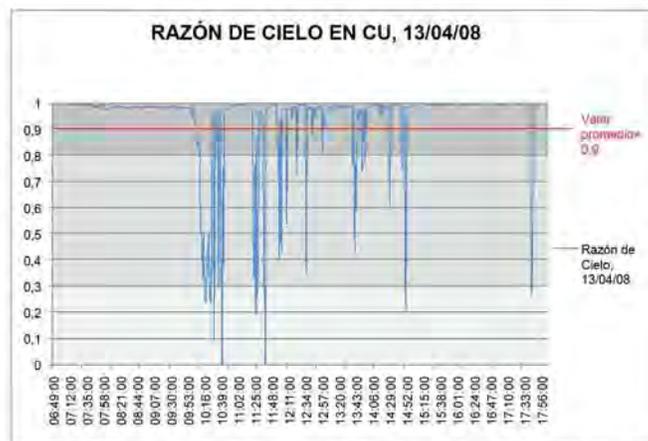
Se esperaba que el mes de abril fuera representativo de la época de secas del mesoclima de la Ciudad de México. Sin embargo afirmamos, basándonos en este análisis de datos, los días 13, 14 y 15 de abril de 2008 no son completamente representativos, de la época de secas, ya que presentan precipitación y tipo de cielo parcialmente nublado. Tampoco son representativos de la época de calor, ya que los valores de temperatura máximos no rebasan los 23°C (14.00 horas, día 15 de abril). (Ver tablas: Temperatura Diurna en la estación de Minería el día 13 de abril de 2008, el día 14 de abril de 2008 y el día 15 de abril de 2008 y Temperatura Máxima Diurna en la estación de Minería el día 13 de abril de 2008, el día 14 de abril de 2008 y el día 15 de abril de 2008)

MICROCLIMAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO, COMPARACIÓN DE MINERÍA Y TEXCOCO

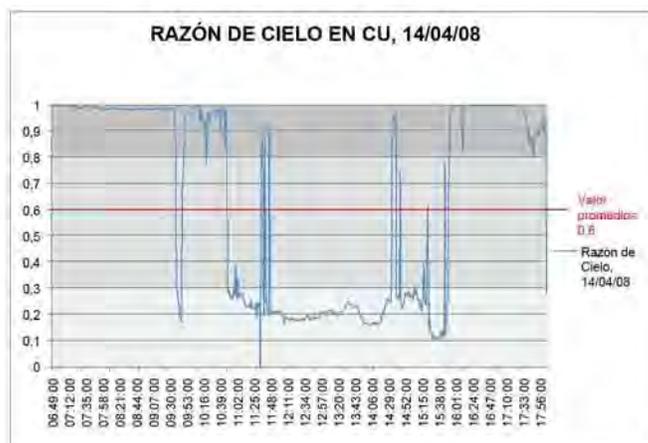
Para entender el microclima del Centro Histórico de la Ciudad de México con datos de la estación meteorológica del Palacio de Minería, es necesario compararlo con otro microclima que en este caso es Texcoco, con datos de la estación meteorológica de Plan Texcoco.

TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

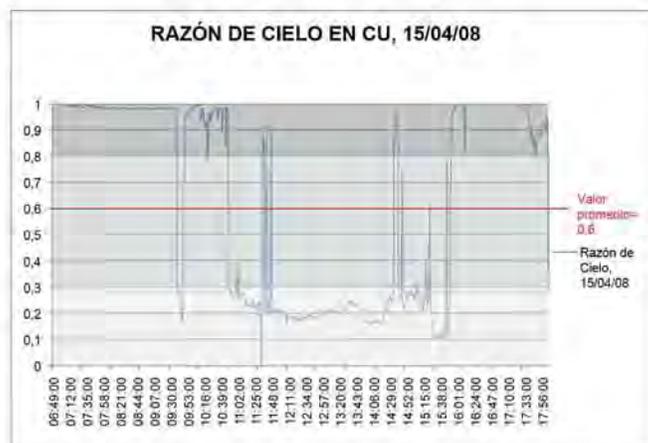
Se esperaba que siendo el mes de abril parte de la época de secas, el fenómeno de la "Isla de Calor Urbana" se presentara en la estación de Minería en comparación con la estación de Texcoco. Sin embargo al analizar los datos meteorológicos y detectar que nuestros días de estudio no son representativos de tal época, observamos que el fenómeno aparece pero el contraste de temperatura mínima rural y



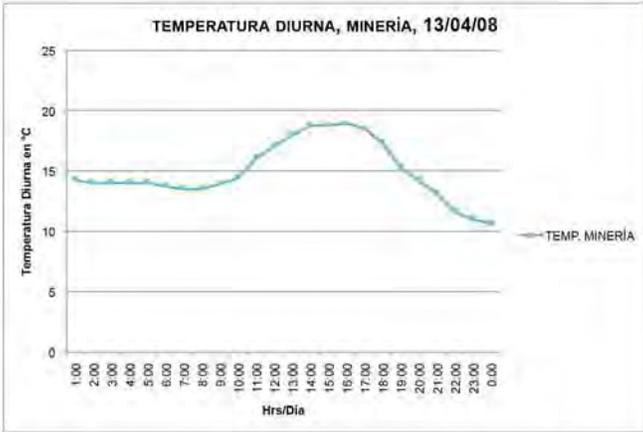
Gráfica: Razón de Cielo en la estación de Ciudad Universitaria el día 13 de abril de 2008



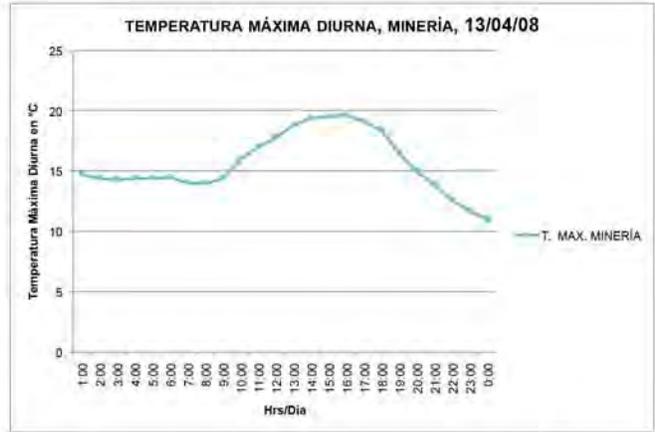
Gráfica: Razón de Cielo en la estación de Ciudad Universitaria el día 14 de abril de 2008



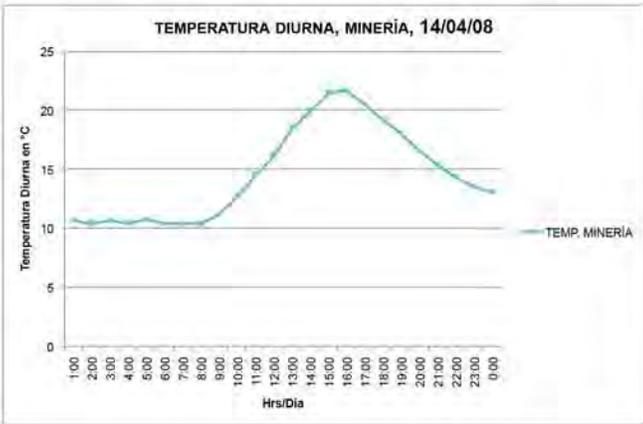
Gráfica: Razón de Cielo en la estación de Ciudad Universitaria el día 15 de abril de 2008



Gráfica: Temperatura Diurna en la estación de Minería el día 13 de abril de 2008



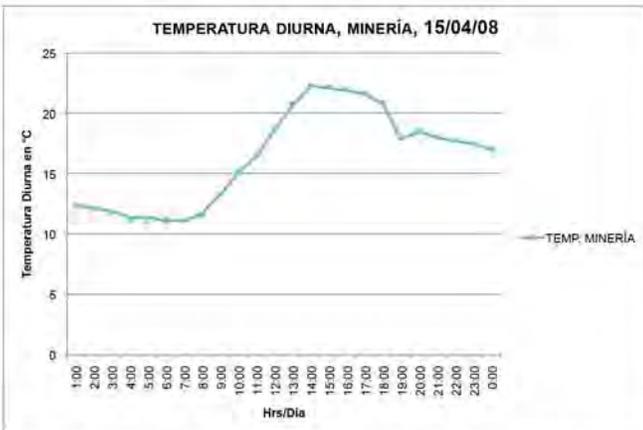
Gráfica: Temperatura Máxima Diurna en la estación de Minería el día 13 de abril de 2008



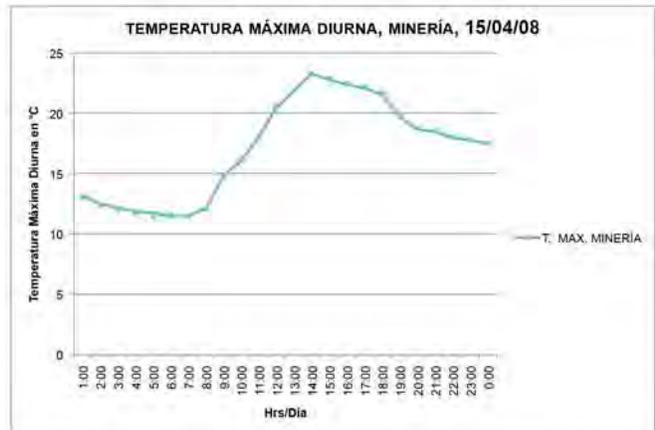
Gráfica: Temperatura Diurna en la estación de Minería el día 14 de abril de 2008



Gráfica: Temperatura Máxima Diurna en la estación de Minería el día 14 de abril de 2008



Gráfica: Temperatura Diurna en la estación de Minería el día 15 de abril de 2008

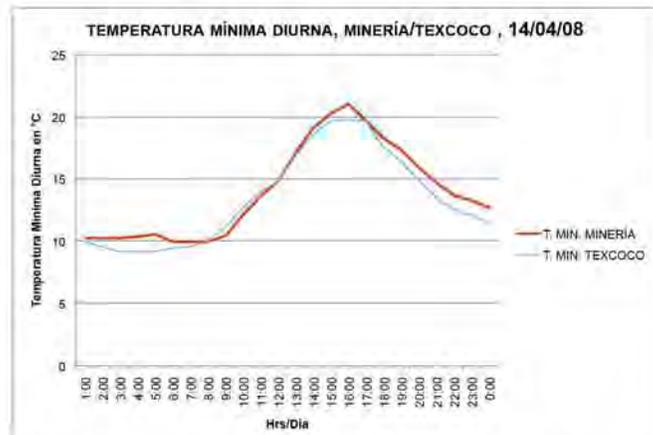


Gráfica: Temperatura Máxima Diurna en la estación de Minería el día 15 de abril de 2008

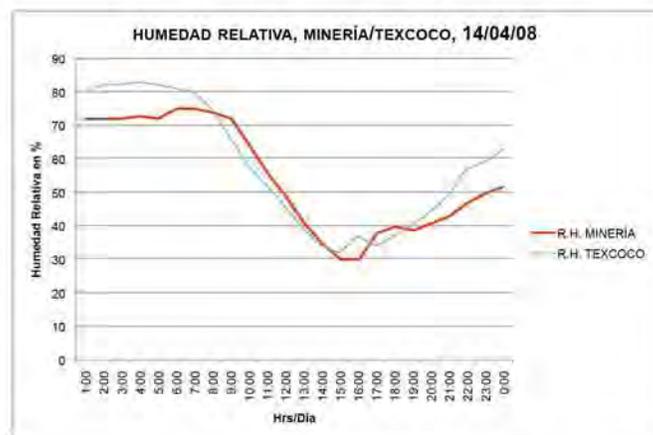
urbana, para el día 14 de abril de 2008, no es mayor a 1.1°C en las primeras horas del día (4.00 a.m.) y a 1.3°C en las últimas horas del día (12.00 a.m.). (Ver gráfica: Temperatura Mínima Diurna en la estación de Minería y Texcoco el día 14 de abril de 2008) Para las primeras y últimas horas del día, la humedad relativa de Texcoco presenta valores más altos. Suponemos que se debe principalmente a que las áreas urbanas son secas en relación con el campo, ya que existen pocas superficies de evaporación (excepto algunos parques y jardines). En los recorridos que se hicieron para medir la distribución de la humedad relativa en el área urbana de la Ciudad de México (1969), se encontraron diferencias del 25% (Jáuregui, 71). Para el día de estudio la diferencia de la humedad relativa en las primeras y últimas horas del día es del 12% al 15% mientras que cuando la temperatura llega a sus máximos valores, a las 15.00 horas, la diferencia de la humedad relativa en Minería y Texcoco disminuye con una diferencia del 6%, aproximadamente. (Ver gráfica: Humedad Relativa en la estación de Minería y Texcoco el día 14 de abril de 2008) Para el día 14 de abril de 2008 no se presentan lluvias en la estación de Minería ni en la estación de Texcoco. (Ver gráfica: Precipitación en la estación de Minería y Texcoco el día 14 de abril de 2008) Para el día 14 de abril de 2008, parece que la diferencia en humedad relativa es lo que da pie, junto con otros factores de igual importancia, al contraste térmico ciudad-campo, con una diferencia de temperaturas entre la estación de Minería en el Centro de la Ciudad de México y la estación Plan Texcoco en Texcoco, en las primeras y últimas horas del día.

VIENTOS URBANOS Y RURALES

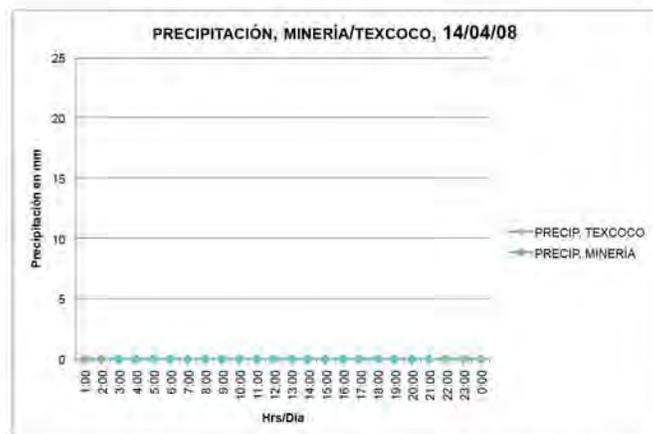
La intensidad de los vientos urbanos y rurales son determinantes para el análisis de los valores meteorológicos. En la ciudad los vientos pierden energía al chocar con superficies edificadas, por lo tanto pierden intensidad a comparación de los vientos en zonas rurales. De la misma manera por factores meteorológicos y geográficos la dirección de los vientos en diferentes puntos del área metropolitana es diferente trayendo consigo diferente movimiento de vapor de agua y partículas de la atmósfera. La época de secas, en la cuenca de México, presenta días despejados y aire en calma, principalmente en las noches (Jáuregui, 71). Los periodos



Gráfica: Temperatura Mínima Diurna en la estación de Minería y Texcoco el día 14 de abril de 2008

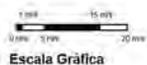


Gráfica: Humedad Relativa en la estación de Minería y Texcoco el día 14 de abril de 2008



Gráfica: Precipitación en la estación de Minería el día 15 de abril de 2008

13/04/08	Minería	<p>130408 Bloque 1 de las 1.00-8.00 hrs. Minería</p>	<p>130408 Bloque 2 de las 9.00-17.00 hrs. Minería</p>	<p>130408 Bloque 3 de las 18.00-24.00 hrs. Minería</p>
	Texcoco	<p>130408 Bloque 1 de las 1.00-8.00 hrs. Texcoco</p>	<p>130408 Bloque 2 de las 9.00-17.00 hrs. Texcoco</p>	<p>130408 Bloque 3 de las 18.00-24.00 hrs. Texcoco</p>
14/04/08	Minería	<p>140408 Bloque 1 de las 1.00-8.00 hrs. Minería</p>	<p>140408 Bloque 2 de las 9.00-17.00 hrs. Minería</p>	<p>140408 Bloque 3 de las 18.00-24.00 hrs. Minería</p>
	Texcoco	<p>140408 Bloque 1 de las 1.00-8.00 hrs. Texcoco</p>	<p>140408 Bloque 2 de las 9.00-17.00 hrs. Texcoco</p>	<p>140408 Bloque 3 de las 18.00-24.00 hrs. Texcoco</p>
15/04/08	Minería	<p>150408 Bloque 1 de las 1.00-8.00 hrs. Minería</p>	<p>150408 Bloque 2 de las 9.00-17.00 hrs. Minería</p>	<p>150408 Bloque 3 de las 18.00-24.00 hrs. Minería</p>
	Texcoco	<p>150408 Bloque 1 de las 1.00-8.00 hrs. Texcoco</p>	<p>150408 Bloque 2 de las 9.00-17.00 hrs. Texcoco</p>	<p>150408 Bloque 3 de las 18.00-24.00 hrs. Texcoco</p>



Esquema de la intensidad y orientación de los vientos urbanos y rurales, Minería y Texcoco

de más de 7 horas de aire en calma ocurren durante la noche con más frecuencia, pero también se observan en el día y durante casi todo el año (Jáuregui, 71).

Para los días de estudio, 13, 14 y 15 de abril de 2008, se muestra la diferencia de intensidad de los vientos de la estación urbana y la rural a lo largo del día, ejemplificado en tres bloques: de 1.00-8.00, de 9.00-17.00 y de 18.00 a 24.00 horas. Así mismo, se aprecia la diferencia en la dirección del viento en Texcoco, siendo que el viento del Nor-Este predomina a lo largo del día, mientras que en Minería la dirección del viento es del Nor-Este y del Nor-Oeste, principalmente, teniendo más frecuencias los vientos del Nor-Oeste. (Ver imagen: Esquema de la intensidad y orientación de los vientos urbanos y rurales, Minería y Texcoco)

Para el día de estudio, el 14 de abril de 2008, observamos que en el segundo bloque (9.00-17.00 horas, casi todo el día astronómico), tenemos también presencia de vientos del Sur-Este en la estación de Minería, lo que probablemente da lugar a un día más despejado y un poco más libre de partículas contaminantes en la atmósfera y es lo que probablemente, ya que la Ciudad de México al ser una cuenca con salida al Nor-Este, cuando la dirección de los vientos proviene del Sur, estos limpian la atmósfera de las partículas contaminantes.

RADIACIÓN SOLAR

La modificación del equilibrio de radiación por la contaminación del aire es uno de los factores importantes en la determinación del clima ciudadano. Geiger (1965) estima que durante el día un parte de la radiación global (directa del sol y difusa del cielo) no llega a la superficie del suelo en la ciudad, dependiendo de la altura del sol y del grado de turbiedad, debido a que es absorbida y dispersada por las capas de bruma urbana (Jáuregui, 71). Por la noche esta misma nube emite una cantidad considerable de radiación de onda larga hacia la ciudad reduciendo las pérdidas de calor por radiación nocturna. A este efecto se suma el debido a las numerosas fuentes de calor por combustión (Jáuregui, 71). Esta es otra causa del contraste térmico ciudad-campo que encontramos en las primeras y últimas horas del día de estudio.

Se lleva a cabo el análisis comparativo de la radiación global de las tres estaciones meteorológicas, Minería, Texcoco y Ciudad Universitaria en los tres días de estudio 13, 14 y 15 de abril de 2008 en relación con la radiación sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera, con el fin de conocer la reducción de la radiación en cada uno de los puntos de la Ciudad de México a través de sus estaciones meteorológicas. (Ver tabla: Tabla 2. con valores y la reducción de la radiación para los días 13, 14 y 15 de abril de 2008, para la estación de Minería, Texcoco y Ciudad Universitaria a comparación de los valores obtenidos según modelos matemáticos de la radiación sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera y gráficas: Radiación Global, sobre una superficie horizontal en el "tope de la atmósfera y en la estación de: Minería, Texcoco y Ciudad Universitaria el día 13 de abril de 2008, el día 14 de abril de 2008 y el día 15 de abril de 2008)

El valor de la radiación (o el comportamiento de la irradiancia) sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera es calculado según modelos matemáticos en los cuales se toma en cuenta: la Constante Solar a la distancia media Tierra-Sol; la latitud del lugar; la Declinación Solar del Día Juliano; el Ángulo Horario para esa hora del día; y el Factor de Corrección de la Distancia media Tierra-Sol. Todos estos conceptos serán explicados más adelante en este trabajo.

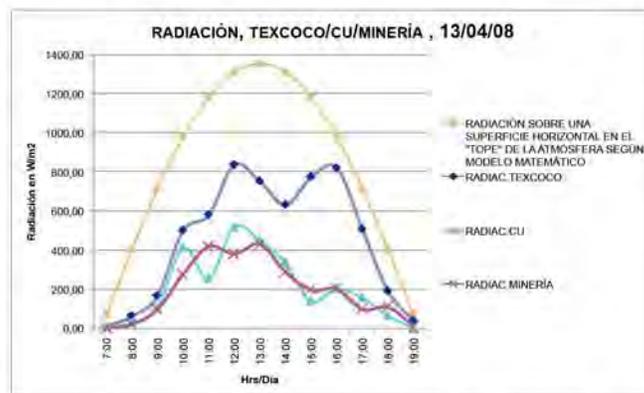
Tabla 2. con valores y la reducción de la radiación para los días 13,14 y 15 de abril de 2008, para la estación de Minería, Texcoco y Ciudad Universitaria a comparación de los valores obtenidos según modelos matemáticos de la radiación sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera.

Año	Fecha	Hora	Radiación Texcoco	Radiación CU	Radiación Minería	Radiación en el "tope" de la atmósfera según modelo matemático	Reducción de la Radiación de Texcoco y Minería	Reducción de la radiación en el "tope" de la atmósfera y Texcoco	Reducción de la radiación en el "tope" de la atmósfera y CU	Reducción de la radiación en el "tope" de la atmósfera y Minería
			W/m2	W/m3	W/m2	W/m2	%	%	%	%
2008	13/04	07:00	10	14.56	3	70.40	70.00	85.80	79.32	95.74
2008	13/04	08:00	61	28.55	22	402.47	63.93	84.84	92.91	94.53
2008	13/04	09:00	166	106.98	98	711.92	40.96	76.68	84.97	86.23
2008	13/04	10:00	501	413.45	278	977.64	44.51	48.75	57.71	71.56
2008	13/04	11:00	579	254.82	419	1181.54	27.63	51.00	78.43	64.54
2008	13/04	12:00	838	519.09	381	1309.71	54.53	36.02	60.37	70.91
2008	13/04	13:00	751	448.48	431	1353.43	42.61	44.51	66.86	68.15
2008	13/04	14:00	631	333.45	289	1309.71	54.20	51.82	74.54	77.93
2008	13/04	15:00	773	137.47	197	1181.54	74.51	34.58	88.37	83.33
2008	13/04	16:00	821	203.53	203	977.64	75.27	16.02	79.18	79.24
2008	13/04	17:00	506	155.1	98	711.92	80.63	28.92	78.21	86.23
2008	13/04	18:00	190	64.86	109	402.47	42.63	52.79	83.88	72.92
2008	13/04	19:00	37	0	14	70.40	62.16	47.44	100.00	80.11
PROMEDIOS							56	51	79	79
2008	14/04	7:00	7	13.31	3	73.33	57.14	90.45	81.85	90.45
2008	14/04	8:00	50	63.49	26	405.25	48.00	87.66	84.33	93.58
2008	14/04	9:00	295	265.43	149	714.55	49.49	58.72	62.85	79.15
2008	14/04	10:00	726	237.13	352	980.16	51.52	25.93	75.81	64.09
2008	14/04	11:00	823	650.44	518	1183.96	37.06	30.49	45.06	56.25
2008	14/04	12:00	963	963.15	766	1312.08	20.46	26.60	26.59	41.62
2008	14/04	13:00	1015	938.69	827	1355.77	18.52	25.13	30.76	39.00
2008	14/04	14:00	978	892.67	774	1312.08	20.86	25.46	31.97	41.01
2008	14/04	15:00	820	790.62	576	1183.96	29.76	30.74	33.22	51.35
2008	14/04	16:00	413	155.07	341	980.16	17.43	57.86	84.18	65.21
2008	14/04	17:00	479	24.56	142	714.55	70.35	32.97	96.56	80.13
2008	14/04	18:00	100	6.06	38	405.25	62.00	75.32	98.50	90.62
2008	14/04	19:00	6	0	2	73.33	66.67	91.82	100.00	97.27
PROMEDIOS							42	51	66	68
2008	15/04	07:00	13	36.57	11	76.24	15.38	82.95	52.04	85.57
2008	15/04	08:00	131	211.36	102	408.00	22.14	67.89	48.20	75.00
2008	15/04	09:00	363	510.48	337	717.15	7.16	49.38	28.82	53.01
2008	15/04	10:00	558	635.95	434	982.62	22.22	43.21	35.28	55.83
2008	15/04	11:00	679	763.76	435	1186.32	35.94	42.76	35.62	63.33
2008	15/04	12:00	896	860.44	633	1314.38	29.35	31.83	34.54	51.84
2008	15/04	13:00	965	988.76	745	1358.05	22.80	28.94	27.19	45.14
2008	15/04	14:00	994	317.16	724	1314.38	27.16	24.37	75.87	44.92
2008	15/04	15:00	585	48.83	202	1186.32	65.47	50.69	95.88	82.97
2008	15/04	16:00	319	167.86	126	982.62	60.50	67.54	82.92	87.18
2008	15/04	17:00	82	21.38	50	717.15	39.02	88.57	97.02	93.03
2008	15/04	18:00	9	0.6	7	408.00	22.22	97.79	99.85	98.28
2008	15/04	19:00	6	0	4	76.24	33.33	92.13	100.00	94.75
PROMEDIOS							31	59	63	72

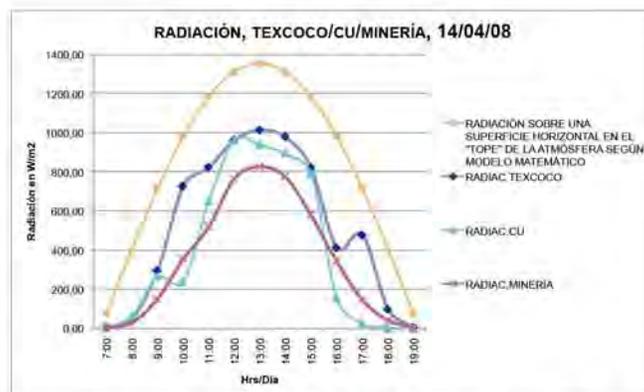
La radiación solar del Centro de la Ciudad de México, con su estación meteorológica en Minería, el 13 de abril de 2008, siendo el día más húmedo de los tres, presenta una reducción, en promedio, durante todo el día, del 79% de la radiación sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera. El día 14 de abril una reducción del 68% y el día 15 de abril una reducción del 72%. (Ver tabla: Tabla 2. con valores y la reducción de la radiación para los días 13,14 y 15 de abril de 2008, para la estación de Minería, Texcoco y Ciudad Universitaria a comparación de los valores obtenidos según modelos matemáticos de la radiación sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera y gráficas: Reducción de la Radiación Global, sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera y en la estación de Minería el día 13 de abril de 2008, el día 14 de abril de 2008 y el día 15 de abril de 2008)

La reducción promedio de la radiación sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera a la estación de Ciudad Universitaria presenta valores del 79%, el día 13 de abril, el 14 de abril presenta un valor del 66% y el 15 de abril un valor del 63%. (Ver tabla: Tabla 2. con valores y la reducción de la radiación para los días 13,14 y 15 de abril de 2008, para la estación de Minería, Texcoco y Ciudad Universitaria a comparación de los valores obtenidos según modelos matemáticos de la radiación sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera y gráficas: Reducción de la Radiación Global, sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera y en la estación de Ciudad Universitaria el día 13 de abril de 2008, el día 14 de abril de 2008 y el día 15 de abril de 2008)

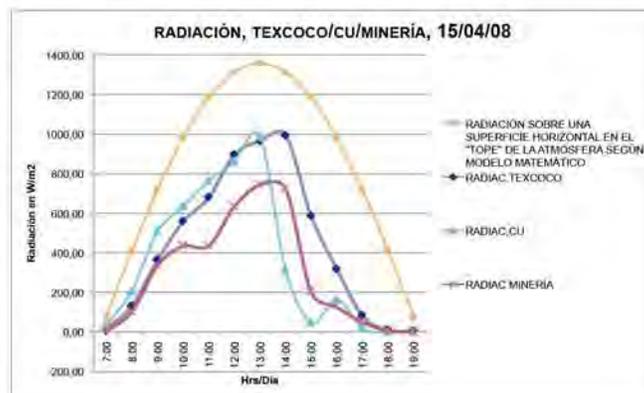
Mientras que la reducción promedio de la radiación sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera a la estación de Texcoco presenta valores, el día 13 y 14 de abril, de 51% y el día 15 de abril de un 59%. (Ver tabla: Tabla 2. con valores y la reducción de la radiación para los días 13,14 y 15 de abril de 2008, para la estación de Minería, Texcoco y Ciudad Universitaria a comparación de los valores obtenidos según modelos matemáticos de la radiación sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera y gráficas: Reducción de la Radiación Global, sobre una



Gráfica: Radiación Global, sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera y en la estación de: Minería, Texcoco y Ciudad Universitaria el día 13 de abril de 2008



Gráfica: Radiación Global, sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera y en la estación de: Minería, Texcoco y Ciudad Universitaria el día 14 de abril de 2008



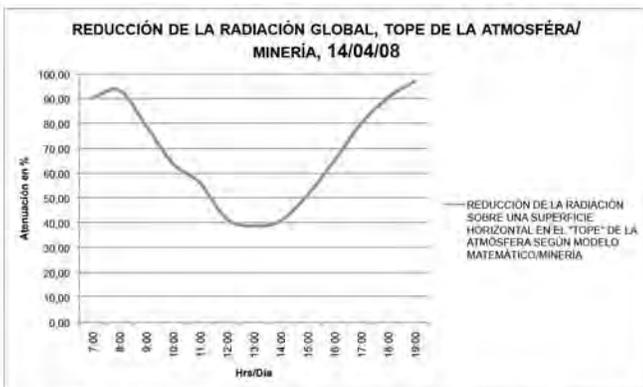
Gráfica: Radiación Global, sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera y en la estación de: Minería, Texcoco y Ciudad Universitaria el día 15 de abril de 2008



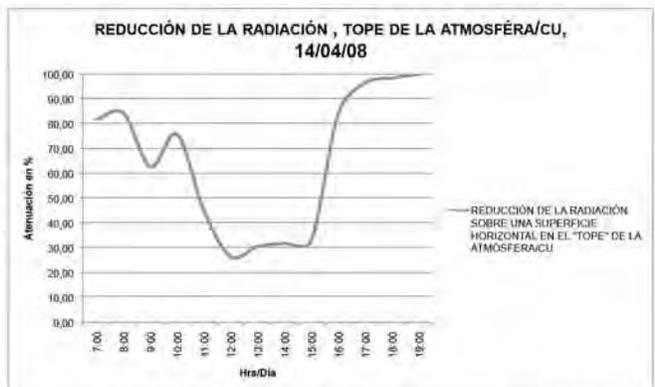
Gráfica: Reducción de la Radiación Global, sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera y en la estación de Minería el día 13 de abril de 2008



Gráfica: Reducción de la Radiación Global, sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera y en la estación de Ciudad Universitaria el día 13 de abril de 2008



Gráfica: Reducción de la Radiación Global, sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera y en la estación de Minería el día 14 de abril de 2008



Gráfica: Reducción de la Radiación Global, sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera y en la estación de Ciudad Universitaria el día 14 de abril de 2008



Gráfica: Reducción de la Radiación Global, sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera y en la estación de Minería el día 15 de abril de 2008



Gráfica: Reducción de la Radiación Global, sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera y en la estación de Ciudad Universitaria el día 15 de abril de 2008

superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera y en la estación de Texcoco el día 13 de abril de 2008, el día 14 de abril de 2008 y el día 15 de abril de 2008)

Los valores de radiación en el día de estudio, 14 de abril de 2008, para las tres estaciones, Minería, Texcoco y Ciudad Universitaria, presentan un desarrollo continuo con referencia a la curva de la radiación sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera (Ver gráfica: Radiación global, sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera y en la estación de: Minería, Texcoco y Ciudad Universitaria el día 14 de abril de 2008). Los valores de reducción promedio van desde 51%, en la estación de Texcoco, hasta 68%, en la estación de Minería, pasando por el valor de 66%, en Ciudad Universitaria.

De la misma manera, la reducción de la radiación global de la estación de Texcoco a la estación de Minería los días 13,14 y 15 de abril de 2008 es, en promedio, de 56%, 42% y 31% respectivamente. (Ver gráficas: Reducción de la Radiación Global, en la estación de Minería y Texcoco el día 13 de abril de 2008, el día 14 de abril de 2008 y el día 15 de abril de 2008)

Con esto afirmamos que la estación de Minería ubicada en el Centro de la Ciudad de México recibe menos radiación global a comparación de la estación de Texcoco a 8 kilómetros de distancia, en los límites de la ciudad. Y que la reducción de la radiación entre la estación de Minería y la de Ciudad Universitaria varía según otros factores.

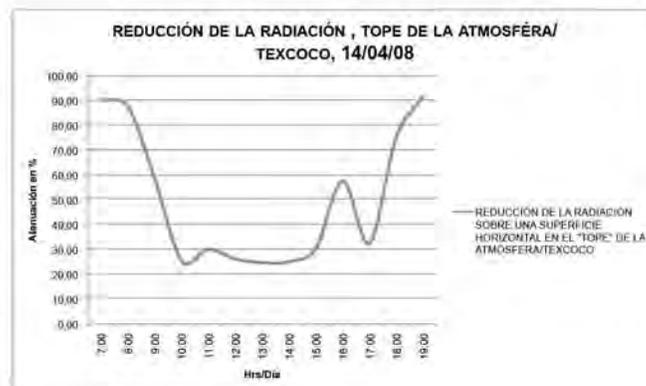
CONCLUSIONES

La radiación solar, en conjunto con otros elementos y factores climáticos y atmosféricos en el punto de estudio son determinantes para el entendimiento de la luz natural en un punto geográfico en específico.

Es importante que las estaciones meteorológicas estén equipadas con instrumentos para medir no sólo la radiación global, sino también la directa y la difusa, ya que, a falta de estos datos de la estación del Palacio de Minería, la Razón de Cielo (lo que determina el tipo de cielo) tuvo que ser obtenida



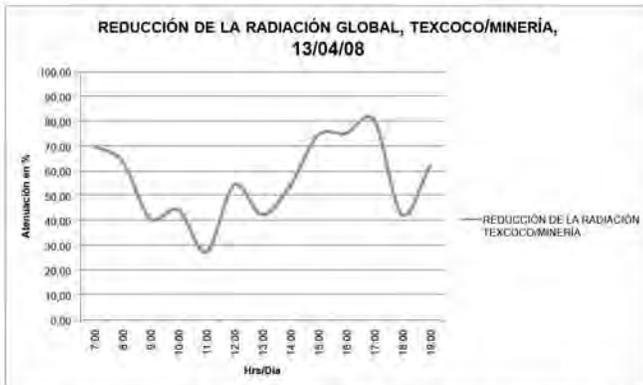
Gráfica: Reducción de la Radiación Global, sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera y en la estación de Texcoco el día 13 de abril de 2008



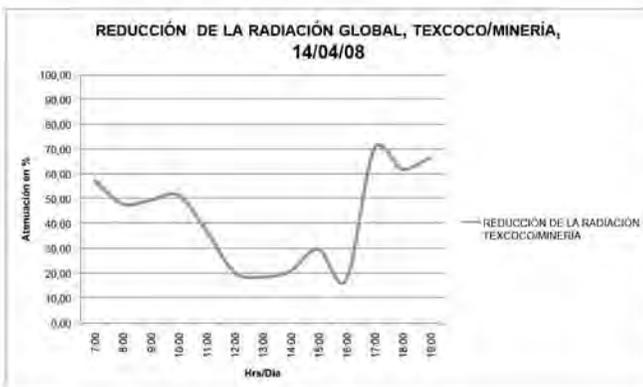
Gráfica: Reducción de la Radiación Global, sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera y en la estación de Texcoco el día 14 de abril de 200



Gráfica: Reducción de la Radiación Global, sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera y en la estación de Texcoco el día 15 de abril de 200



Gráfica: Reducción de la Radiación Global, en la estación de Minería y Texcoco el día 13 de abril de 2008



Gráfica: Reducción de la Radiación Global, en la estación de Minería y Texcoco el día 14 de abril de 2008



Gráfica: Reducción de la Radiación Global, en la estación de Minería y Texcoco el día 15 de abril de 2008

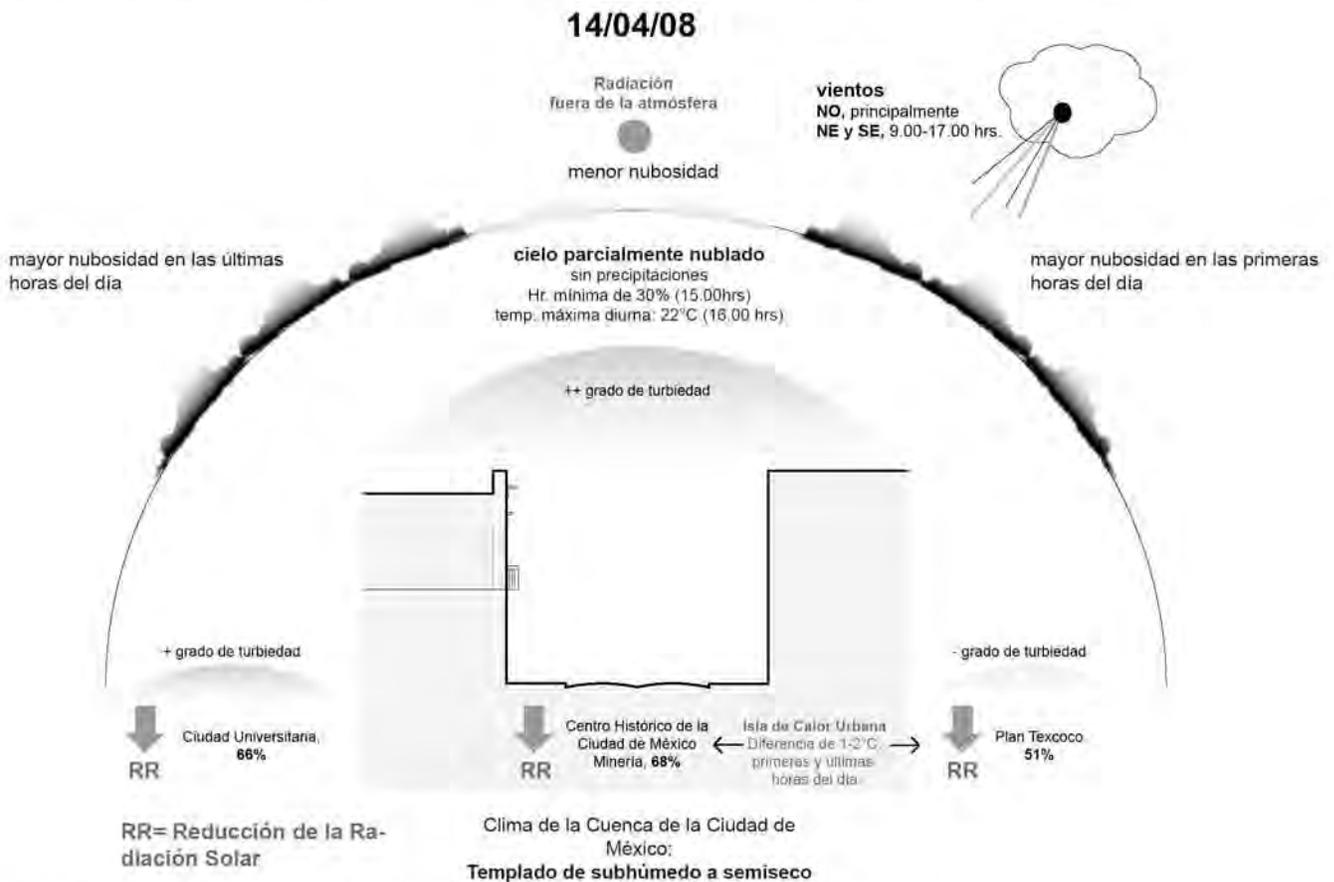
con datos de otra estación meteorológica, en este caso la de Ciudad Universitaria, a varios kilómetros de distancia del sitio de estudio ubicado en el Centro Histórico de la Ciudad de México.

La comparación de los elementos y factores climáticos y atmosféricos fue realizada con las estaciones de Minería, Texcoco y en relación a la radiación global con Ciudad Universitaria para mostrar las diferencias de los microclimas dentro de la Ciudad de México. Se menciona que la estación de Texcoco se ubica en una zona rural y la estación de Minería en una zona urbana, sin embargo por estudios realizados por Jáuregui y Luyando en 1999, se afirma que la estación de Texcoco tiene una clara influencia de contaminantes atmosféricos similares a los de la estación de Minería. Por lo que no podemos afirmar que la estación de Texcoco represente un ambiente rural. Al analizar los diferentes tipos de climas del mesoclima de la Cuenca de México se observa que estos también pueden tener una influencia en los microclimas que se encuentran en la Ciudad de México. Así, la comparación realizada en este trabajo no es significativa para la comparación del contraste término campo-ciudad, pero si nos da una pauta para conocer la reducción de la radiación por densidad de contaminantes en la atmósfera o por algunos elementos y factores climáticos influyentes del Centro de la Ciudad de México

El mismo estudio realizado por Jáuregui y Luyando en 1999 sugiere que, si bien los niveles de partículas contaminantes tienden a ser más bajos durante la época de lluvias (debido a la eliminación de la atmósfera de una cantidad considerable de aerosoles por la suspensión por lluvia y el efecto de "lavado"), altos valores de humedad favorecen un aumento en la turbiedad, suponiendo que esas partes de aerosoles son higroscópicos, aumentando su tamaño en un ambiente más húmedo. Esto implicaría que los niveles inferiores de las concentraciones de aerosoles durante la temporada de lluvias tienen un efecto similar de reducción de radiación a la observada durante la estación de secas, cuando los aerosoles son más numerosos y se encuentran más densificados. En los días de estudio, 13,14 y 15 de abril de 2008, podemos

observar cómo a mayor humedad, en el día 13 de abril de 2008, mayor reducción de radiación encontramos entre la estación en Texcoco y la estación en Minería con un valor de 56% (reducción de la radiación de Texcoco y Minería, 13/04/08) a comparación de los valores del 42% (reducción de la radiación Texcoco y Minería, 14/04/08) y 31% (reducción de la radiación Texcoco y Minería, 15/04/08). (Ver tabla: Tabla 2. con valores y la reducción de la radiación para los días 13,14 y 15 de abril de 2008, para la estación de Minería, Texcoco y Ciudad Universitaria a comparación de los valores obtenidos según modelos matemáticos de la radiación sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera)

En conclusión el día 14 de abril de 2008 presenta un cielo parcialmente nublado, con mayor nubosidad en las primeras y últimas horas del día astronómico; sin precipitaciones; con una humedad relativa mínima del 30% a las 15.00 horas y con una temperatura diurna máxima de 22°C a las 16.00 horas, como parte del clima templado de la Cuenca de la Ciudad de México. Los vientos predominantes en el Centro Histórico de la Ciudad de México, con su estación en Minería, para el día 14 de abril de 2008, son del Nor-Oeste pero también existen vientos del Nor-Este y del Sur-Este, el día de estudio en el bloque de las 9.00 a las 17.00 horas, lo que corresponde, en su mayor parte, al día astronómico. Respecto a la radiación solar, existe una reducción promedio de la radiación del "tope" de la atmósfera al Centro Histórico de un 68%, superior a la de Texcoco (51%) y al de Ciudad Universitaria (66%), en el día de estudio. Lo que sugiere que el grado de turbiedad del Centro Histórico de la Ciudad de México es mayor que el de Texcoco y ligeramente mayor al de Ciudad Universitaria, el día de estudio. El 14 de abril de 2008 existe una presencia en el contraste térmico, entre la estación de Minería y Texcoco, con el fenómeno conocido como "Isla de Calor Urbana", en las primeras y últimas horas del día de 1°C a 2°C.



Elementos y Factores climáticos y atmosféricos de estudio, para el día 14 de abril de 2008

FACTORES GEOMÉTRICOS, ASTRONÓMICOS Y GEOGRÁFICOS

INTRODUCCIÓN

Los factores astronómicos y geométricos, relacionados al sitio geográfico, a la Tierra y el Sol, junto con los factores geográficos del lugar, son los que determinan, en parte, la cantidad y calidad de luz natural del sitio de interés. Por ello, es necesario conocerlos junto con los flujos de energía de radiación, con el fin de conocer la iluminancia proveniente del cielo.

El objetivo de este análisis es comparar y evaluar diferentes fórmulas matemáticas establecidas por diversos especialistas con valores, por un lado del Anuario del Observatorio Astronómico Nacional (AOAN), con el fin de encontrar las fórmulas matemáticas que más precisión tengan en relación a nuestra latitud y longitud. Y por el otro lado con los valores obtenidos por la trayectoria solar derivada de la Proyección Estereográfica, trazada con los datos precisos del sitio de estudio, con el fin de trabajar con fórmulas precisas en el pronóstico de la iluminación natural para el caso de estudio de este trabajo, ubicado en el Centro Histórico de la Ciudad de México.

ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

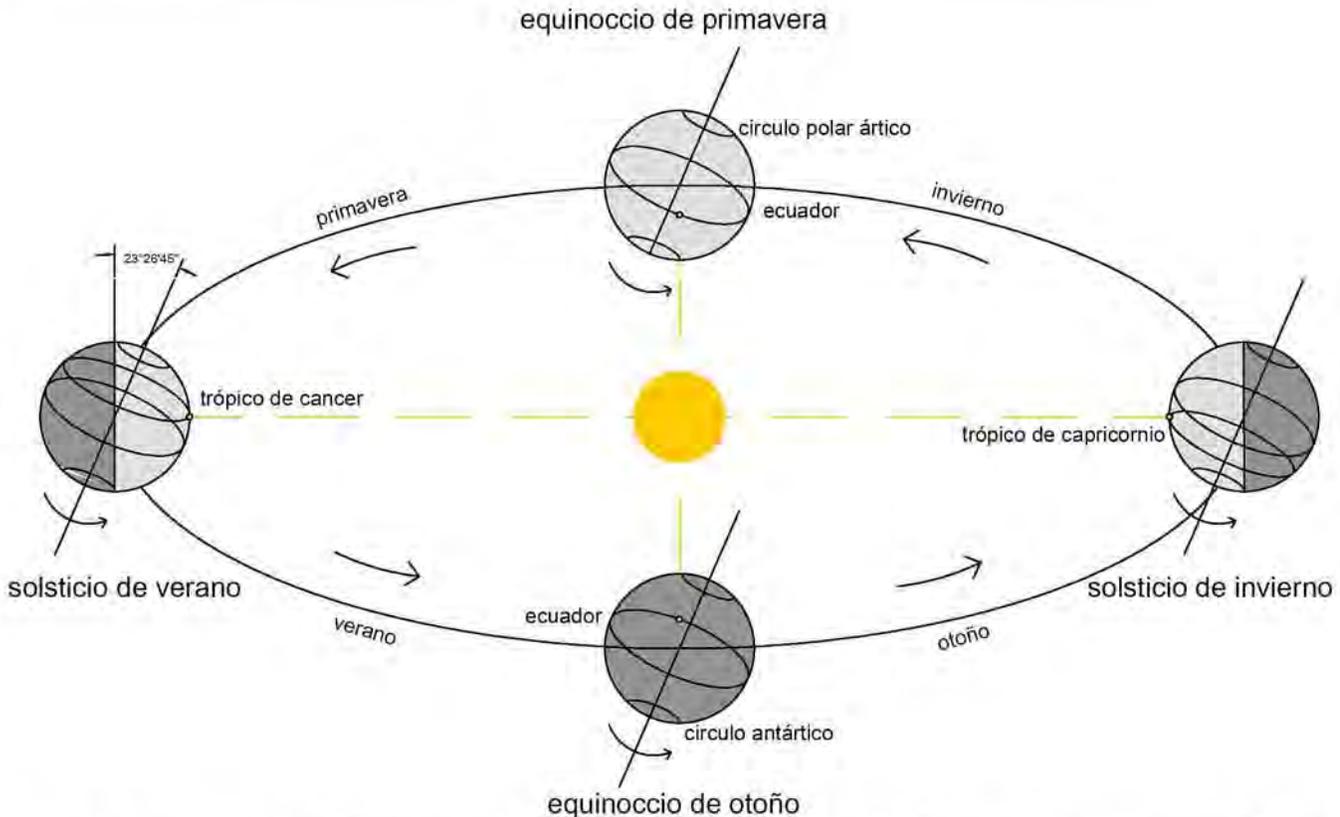
Diferentes especialistas en todo el mundo han trabajado para establecer fórmulas matemáticas con el fin de obtener a través de éstas la posición del sol, relacionada al tiempo, desde el punto de vista del observador; la duración del día astronómico; valores de irradiación; y valores de iluminancia, entre otros.

El saber en que posición se encuentra el sol y con esto su trayectoria tiene el objeto de conocer la influencia de la radiación solar en el espacio urbano a la hora de planificar la ciudad existente o de proponer nuevos asentamientos, para obtener las mejores condiciones de soleamiento y mejorar la calidad de vida de sus ocupantes (Higuera, 06). Así, el análisis de la trayectoria solar y la incidencia del Sol en un punto en específico debe de condicionar los diseños de las fachadas de los edificios y determinar factores de los espacios públicos, como calles, plazas y zonas verdes, de las ciudades.

GEOMETRÍA SOLAR

Si conocemos los factores geométricos que afectan los flujos de radiación solar podemos pronosticar los valores de la iluminancia en el punto geográfico de estudio.

Por un lado está el movimiento de translación de la Tierra alrededor del Sol en una órbita elíptica. La tierra se mueve en una trayectoria de forma elíptica en uno de cuyos focos se localiza el Sol, la distancia media de la Tierra al Sol es de 149.6 millones de kilómetros...La distancia del Sol a la Tierra varía día con día, de tal manera que a lo largo del año la variación total es de aproximadamente $\pm 1.7\%$, lo cual tiene consecuencias en la variación diaria de la "Constante Solar" (Muhlía, 06).



Esquema que representa el sistema astronómico formado por el Sol y la Tierra. En este esquema también se muestra la posición de la Tierra al comienzo de cada estación (solsticios y equinoccios) a lo largo de un ciclo anual (Muhlia, 06, dibujado por la autora de esta tesis)

La Constante Solar o la irradiancia solar extraatmosférica es la cantidad de energía radiante que incide en una superficie perpendicular a los rayos solares por unidad de área (1m^2) en una unidad de tiempo (1 seg.) a una distancia media tierra-sol fuera de la atmósfera terrestre (Zeevaert, 84)

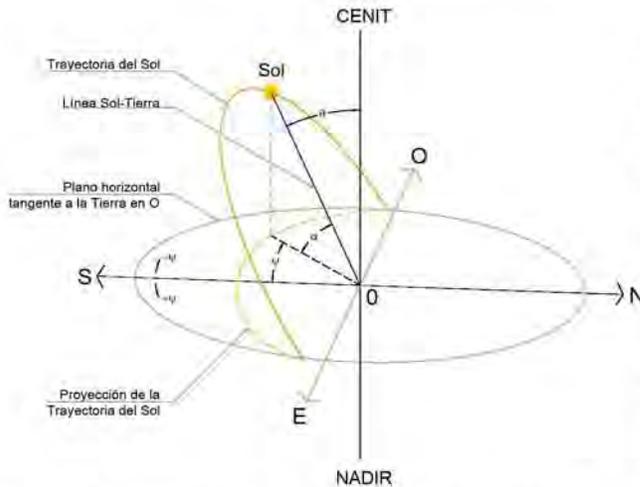
Si consideramos que la Tierra gira alrededor de su eje polar y que su órbita está en el plano de la elíptica... el ángulo que forma este eje con este plano es de $23^{\circ}:26':45''$ (23.45°) y permanece (casi) constante a lo largo del año; a este ángulo se le llama oblicuidad del eje terrestre respecto del plano de la elíptica (Muhlia, 06).

FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA DISTANCIA DEL SOL A LA TIERRA

Como una de las manifestaciones de estas circunstancias geométricas se presentan las estaciones a lo largo de un ciclo anual de translación de la tierra alrededor del Sol. (Ver imagen: Esquema que representa el sistema astronómico formado por el Sol y la Tierra) Al mismo tiempo, la variación de la distancia de la Tierra al Sol repercute en la densidad del flujo de energía de radiación que llega a la Tierra variando en razón inversamente proporcional al cuadrado de su distancia al Sol (Muhlia, 06). El Factor de Corrección de la Distancia de la Tierra al Sol, toma en cuenta esta última variación; la irradiancia solar extraatmosférica (Constante Solar) a la distancia media Tierra-Sol; el flujo de energía de radiación total a esta distancia; el flujo de energía de radiación total a cualquier otra distancia (dependiendo del día de estudio, día juliano) y la ley de conservación de la energía (Muhlia, 06). El Día Juliano es un número del sistema de numeración sucesiva de días, comenzando por el 1 de enero (AOAN, 10).

SISTEMA DE COORDENADAS LOCAL Y SISTEMA DE COORDENADAS GEOCÉNTRICO

La radiación solar incide a diferentes ángulos sobre una superficie localmente horizontal en posición tangente a la Tierra. Para cuantificar la variación del ángulo de incidencia de los rayos solares a lo largo del día y a lo



Sistema de Coordenadas Local con origen en el punto O sobre la superficie terrestre. El plano horizontal es tangente a la Tierra en O (Muhlia, 06, dibujado por la autora de esta tesis)



El movimiento aparente del Sol en la esfera celeste y el ángulo de Declinación de la línea Sol-Tierra respecto del plano de la elíptica (Muhlia, 06, dibujado por la autora de esta tesis)



Las Coordenadas Locales y las Coordenadas Geocéntricas del Sol con origen común en la Tierra (Muhlia, 06, dibujado por la autora de esta tesis)

largo del año, se recurre a dos sistemas de coordenadas, por medio de los cuales se describe el movimiento aparente del Sol respecto de un punto sobre la Tierra y respecto de la Tierra misma, estos sistemas son denominados como Sistema de Coordenadas Local y Sistema de Coordenadas Geocéntrico, respectivamente (Muhlia, 06).

SISTEMA DE COORDENADAS LOCAL

En este sistema un punto en el espacio (v.g. el Sol) se localiza por medio de las coordenadas angulares llamadas Ángulo Cenital, θ , y Ángulo Acimutal, ψ , no hace falta una tercera coordenada ya que se considera que el punto se encuentra en la esfera celeste de radio unitario. En la Imagen, Sistemas de Coordenadas Local, se ilustra este sistema en donde se observan los ejes de coordenadas formados por las líneas, ortogonales entre sí en el punto O, Norte-Sur, Este-Oeste y Cenit-Nadir, respecto de los cuales se miden θ y ψ ; el origen de coordenadas está en el punto O sobre la superficie de la Tierra, cuya posición geográfica (latitud ϕ y longitud λ_0) es conocida; en esta imagen: Sistema de Coordenadas Local, θ es el ángulo formado por la línea Sol-Tierra y la línea Cenit-Nadir (vertical local), y ψ es el ángulo formado por la línea Norte-Sur y la proyección de la línea Sol-Tierra sobre el plano horizontal, este ángulo es positivo si la posición del Sol es antes del medio día solar y negativo si la posición del Sol es después del medio día solar y es cero cuando el Sol pasa por el meridiano del lugar (Muhlia, 06).

La latitud es la distancia angular en la tierra, medida al norte o al sur del ecuador, a lo largo de un meridiano (AOAN, 10). La latitud del centro de la Ciudad de México es de $19^{\circ}25'59''$ en grados, minutos y segundos y 19.43° en grados decimales.

Mientras que la longitud, es la distancia angular en el plano del ecuador, al Este o al Oeste del meridiano de Greenwich (AOAN, 10). La longitud del centro de la Ciudad de México es $99^{\circ}7'58''$ en grados, minutos y segundos y 99.13° en grados decimales.

SISTEMA DE COORDENADAS GEOCÉNTRICO

En este sistema un punto sobre la esfera celeste (de radio unitario) se localiza por medio de las coordenadas angulares llamadas la Declinación Solar (δ) y el Ángulo Horario (ω o Ah como a veces se denota). En cualquier momento, la posición del Sol en relación con el plano del ecuador celeste, describe el ángulo de declinación, como se puede ver en la imagen: El movimiento aparente del Sol en la esfera celeste y el ángulo de Declinación de la línea Sol-Tierra respecto del plano de la elíptica, δ varía a lo largo del año de $\sim +23.5^{\circ}$

(Solsticio de Verano) a $\sim -23.5^\circ$ (Solsticio de Invierno) pasando por cero en los Equinoccios de Primavera y de Otoño. El Ángulo Horario (ángulo diedro) es el que forman los planos que contienen el círculo máximo que pasa por el Polo Norte Celeste, el Cenit Local y el Centro de la Tierra, y el círculo máximo que pasa por el Polo Norte Celeste, el Sol y el Centro de la Tierra ... Éste ángulo está señalado con ω , por definición, este ángulo es cero cuando el Sol pasa por el meridiano del lugar, es positivo antes del medio día solar y negativo después del medio día solar (Muhlia, 06). (Ver imagen: Las Coordenadas Locales y las Coordenadas Geocéntricas del Sol con origen común en la Tierra).

ECUACIÓN DEL TIEMPO

La llamada Ecuación del Tiempo que se refiere al efecto acumulado de la variación del Día Solar, v.g. del retraso o adelanto del paso del Sol por el meridiano del lugar como consecuencia de dos factores principales: 1) el radio vector del Sol a la Tierra no barre áreas iguales en tiempos iguales sobre el plano de la elíptica en su movimiento de translación alrededor del Sol, y 2) el eje de rotación de la Tierra permanece oblicuo respecto del plano de la elíptica. El promedio de esta variación a lo largo del año se ajusta a cero de tal manera que el efecto acumulativo anual de estas variaciones se anula (Muhlia, 06). En otras palabras la Ecuación del Tiempo da la diferencia entre el Tiempo Solar y la Hora Local, del reloj debido a la órbita elíptica de la Tierra y la Declinación Solar de su eje (IESNA, 00).

TIEMPO SOLAR VERDADERO Y HORA LOCAL

El tiempo del día indicado por el Sol, el tiempo que puede ser leído de un reloj solar, es conocido como Tiempo Solar. Este no es necesariamente el mismo de Hora Local o del reloj por tres razones. Una es que el tiempo solar depende de la longitud, el amanecer ocurre una hora más tarde cada 15° hacia el oeste, pero todos los relojes en un mismo huso horario están sincronizados. Otra es que dependiendo de la reglamentación del lugar, esta puede adoptar el horario de verano, que es una alteración de la hora del reloj para que la hora local se empalme más con las horas de luz de día, así se tiene una hora más de luz de día en las tardes a costa de un amanecer más tardío por las mañanas. La tercera es porque la órbita de la Tierra alrededor del sol es elíptica, por lo que el tiempo solar parece irregular en comparación con un reloj perfecto, lo que da lugar a la Ecuación del Tiempo (Tregenza y Loe, 98).

FÓRMULAS DE LA GEOMETRÍA SOLAR

Algunas fórmulas sencillas para el cálculo, correspondiente a cualquier día del año, Día Juliano ($j = 1$ para el primero de enero), del ángulo de Declinación Solar, de la Ecuación del Tiempo y del Factor de Corrección Tierra-Sol son las siguientes:

DECLINACIÓN SOLAR

Se encontraron 6 Fórmulas para calcular la Declinación Solar, δ , más los datos que da el AOAN¹:

Fórmula 1, Declinación Solar, de acuerdo con Perrin de Brichambaut (con ajustes en los documentos del Dr. Muhlia²), en radianes:

$$\delta(j) = \text{Sen}^{-1}[0.399 \text{Sen}(2\pi (j-81)/365.25)]$$

Fórmula 1.1, Declinación Solar, de acuerdo con Perrin de Brichambaut, en radianes:

$$\delta(j) = \text{Sen}^{-1}[0.399 \text{Sen}(2\pi (j-82)/365)]$$

Fórmula 2, Declinación Solar, de acuerdo con la Comunidad Económica Europea, en radianes:

$$\delta(j) = \text{Sen}^{-1}[0.3978 \text{Sen}(0.01721j + 0.03347 \text{Sen}(0.01721j)) - 1.4096]$$

¹ Anuario del Observatorio Astronómico Nacional del Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México, 2008.

² Estos documentos fueron proporcionados en el Seminario de Interacción con el Medio, Posgrado de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, 2006-2, con el apoyo del Dr. Agustín Muhlia y generados por este último.

Fórmula 3, Declinación Solar, de acuerdo con Dogniaux y Page, en grados:

$$\delta(j) = \left[\sum_{i=1}^3 (c_i \cos(qj) + d_i \sin(qj)) + 0.33281 \right]$$

con:

$$q = 2\pi/366$$

$$c_1 = -22.9840,$$

$$c_2 = -0.3499,$$

$$c_3 = -0.1398,$$

$$d_1 = 3.78720,$$

$$d_2 = 0.03205,$$

$$d_3 = 0.07187,$$

Fórmula 4, Declinación Solar, de acuerdo con la IESNA³, en radianes:

$$\delta(j) = 0.4093 \sin(2\pi(j-81)/368)$$

Fórmula 5, Declinación Solar, de acuerdo con Cooper, en grados:

$$\delta(j) = 23.45 \sin(2\pi(j+284)/365)$$

Dato de la Declinación Solar, del AOAN, en grados, este dato contempla más variables y factores influyentes en este valor:

ECUACIÓN DEL TIEMPO

3 Fórmulas para calcular la Ecuación del Tiempo ε , en minutos:

Fórmula 1, Ecuación del Tiempo, según la Comunidad Económica Europea:

$$\varepsilon'(j) = -1.875 \sin((360(j-4)/365.25) (\pi/180)) - 2.5 \sin(((360(j+19)/365.25) (\pi/180)))$$

$$\varepsilon(j) = [\varepsilon'(j)] 60/15$$

Fórmula 2, Ecuación del Tiempo, según Duffie y Beckman:

$$\varepsilon(j) = 9.87 \sin(2B(j)) - 7.53 \cos(B(j)) - 1.50 \sin(B(j))$$

con:

$$B(j) = 2\pi(j-81)/364$$

Fórmula 3, Ecuación del Tiempo, según Dogniaux y Page:

$$\varepsilon(j) = 1/60 \left[\sum_{i=1}^3 (e_i \cos(qj) + f_i \sin(qj)) + 0.00037 \right]$$

con:

$$q = 2\pi/366$$

$$e_1 = 0.43177,$$

$$e_2 = -3.1650,$$

$$e_3 = 0.07272,$$

$$f_1 = -7.3764,$$

$$f_2 = -9.3893,$$

$$f_3 = -0.24498,$$

FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA DISTANCIA DEL SOL A LA TIERRA

Existen 3 fórmulas que se aplicaron para obtener el Factor de Corrección de la Distancia del Sol a la Tierra, Fcd.

Fórmula 1, Factor de Corrección de la Distancia del Sol a la Tierra, Fcd(j), en base a la teoría de la órbita elíptica de la Tierra:

$$Fcd(j) = [1 + \varepsilon \cos(i(j))] / [1 - \varepsilon^2]$$

³ Por su siglas en inglés (IESNA), *Illuminating Engineering Society of North America*, la autoridad con respecto a la iluminación en Estados Unidos.

con Excentricidad, $\varepsilon = 0.0167$ y $\vartheta(j=4) = 0$.

Fórmula 2, Factor de Corrección de la Distancia del Sol a la Tierra, $Fcd(j)$, de acuerdo con Duffie y Beckman:

$$Fcd(j) = 1 + 0.033 \cos((2\pi/365) * j)$$

Fórmula 3, Factor de Corrección de la Distancia del Sol a la Tierra, $Fcd(j)$, de acuerdo con Dogniaux y Page:

$$Fcd(j) = 1 + \sum_{i=1}^3 [a_i \cos(qji) + b_i \sin(qji)] * 1/1353$$

con:

$$q = 2\pi / 366$$

$$a_1 = 45.326$$

$$b_1 = 1.8037$$

$$a_2 = 0.88018$$

$$b_2 = 0.09746$$

$$a_3 = -0.00461$$

$$b_3 = 0.18412$$

TIEMPO SOLAR VERDADERO

El Tiempo Solar Verdadero, T_{sv} , se calcula en términos de la Hora Oficial (Hora Local o la Hora del Reloj), H_o , según el Meridiano Oficial de referencia que le corresponda al punto geográfico de estudio, según las NCS⁴, como sigue:

$$T_{sv} = H_o + (((M_o - \lambda_o) / 15) + \varepsilon),$$

En donde:

T_{sv} , es el Tiempo Solar Verdadero en horas decimales.

H_o , es la Hora Oficial.

M_o , es la longitud del meridiano de oficial de referencia (estándar) correspondiente al huso horario del lugar.

λ_o , es la longitud geográfica del lugar.

ε , es la Ecuación del Tiempo.

También se puede calcular la Hora Oficial, H_o , a partir del Tiempo Solar Verdadero, T_{sv} , en donde según el Programa de Cálculo del Dr. Muhlia, 06⁵:

$$H_o = T_{sv} + A(t)$$

En donde:

H_o , es la Hora Oficial.

T_{sv} , es el Tiempo Solar Verdadero en horas decimales.

$A(t)$, es el Ajuste del Tiempo en minutos.

Para conocer el Ajuste del Tiempo es necesario conocer la diferencia de tiempo, del sitio de interés respecto al meridiano oficial de referencia.

La diferencia, en grados, se obtiene con la siguiente fórmula, según el Programa de Cálculo del Dr. Muhlia, 06:

$$\tau = \phi - M_o$$

En donde:

τ , es la Diferencia de Tiempo en grados.

ϕ , es la latitud del sitio de interés.

M_o , es el meridiano oficial de referencia.

4 Notas del Curso de Solarimetría impartido por el Dr. Agustín Muhlia por parte de la UNAM en la Asociación Nacional de Energía Solar, A.C. (ANES) en 2006.

5 Este Programa de Cálculo en Excel fue proporcionado en el Seminario de Interacción con el Medio, Posgrado de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, 2006-2, con el apoyo del Dr. Agustín Muhlia y generado por este último.

La diferencia de tiempo, en minutos, se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\tau = (\phi - M_o) 12/\pi$$

A la Diferencia de Tiempo, en minutos, se le suma la Ecuación del Tiempo para obtener el Ajuste del Tiempo.

$$A(f) = \tau + \varepsilon$$

SALIDA Y PUESTA DEL SOL (ORTO Y OCASO)

Cuando el Sol está en el orto o en el ocaso se tiene, según las NCS, que:

$$\cos(Z) = 0 \Rightarrow Z = 90^\circ,$$

Esto es:

$$\text{Sen}(\phi)\text{Sen}(\delta) + \text{Cos}(\phi)\text{Cos}(\delta)\text{Cos}(\omega_o) = 0,$$

De donde:

$$\text{Cos}(\omega_o) = -\text{Tan}(\phi)\text{Tan}(\delta)$$

En donde:

ϕ , es la latitud del sitio de interés.

δ , es la declinación solar para el día de estudio.

ω_o , es el ángulo horario a la salida y puesta del Sol.

Cuando se ha determinado el valor del Ángulo Horario, según las NCS, se tiene que:

La hora de la salida del Sol, en Tsv, es:

$$Ts = -12\omega_o/\pi + 12$$

La hora de la puesta del Sol, en Tsv, es:

$$Tp = 12\omega_o/\pi + 12$$

La duración del día astronómico, Da, será entonces:

$$Da = Tp - Ts$$

CULMINACIÓN DEL SOL

Cálculo de la Hora Local cuando el Sol pasa por el meridiano del lugar (Hora de la Culminación) y su utilidad para determinar el Sur o el Norte geográfico:

Cuando el Sol pasa por el meridiano del lugar, la hora en Tiempo Solar Verdadero, por definición es, Tsv=12, entonces se tiene, según las NCS, que:

$$H_{loc.culm} = 12 - (((M_o - \lambda_o) / 15) + \varepsilon),$$

En donde:

Tsv = 12, tiempo solar verdadero en ese momento.

M_o , es la longitud del meridiano oficial de referencia (estándar) correspondiente al huso horario del lugar.

λ_o , es la longitud geográfica del lugar.

ε , es la Ecuación del Tiempo.

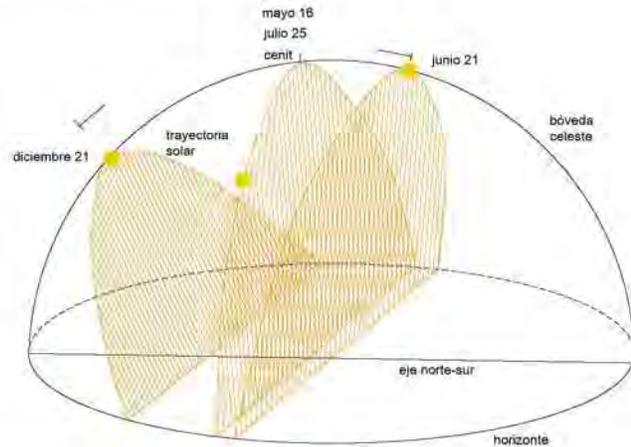
También es posible conocer la hora a la que el Sol culmina con la siguiente fórmula:

$$H_{loc.culm} = 12 + A(\cdot),$$

Tsv = 12, tiempo solar verdadero en ese momento.

$A(\cdot)$, es el Ajuste del Tiempo en minutos.

Para poder conocer el eje Norte-Sur de un punto geográfico es necesario conocer con precisión a la hora en donde el Sol culmina. Se debe contar con un reloj de buena presión y una plomada y/o poste fijado en el piso perfectamente vertical. Una vez determinada la hora de la culminación, la sombra del poste o la cuerda de la plomada proyectada sobre el piso a esa hora, marcará la línea Norte-Sur buscada y que deberá pintarse en el suelo. Si el lugar se encuentra en el hemisferio Norte en latitudes no mayores a 23.5°N , en invierno (más específicamente entre las fechas de otoño-invierno-primavera en las que el Sol culmina en el cenit) la sombra se proyectará al Norte y en verano (más específicamente entre las fechas de primavera-verano-otoño en las que el Sol culmina en el cenit) se proyectará al Sur. El Sol culmina en el cenit cuando la declinación solar es igual a la latitud del lugar. Para latitudes mayores a 23.5° , la sombra siempre se proyectará al Norte (Muhlia, 06).



Trayectoria Solar sobre el punto de observación Cd. de México (Muhlia, ANES, 04, dibujado por la autora de esta tesis)

Por ejemplo, para el caso de Ciudad Universitaria de la UNAM cuya posición geográfica es: $19^{\circ}:20'\text{N}$ y $99^{\circ}:11'\text{W}$, el Sol culmina en el cenit el 19 de mayo y el 27 de julio, de tal manera que la sombra de un poste vertical se proyectará al Norte las fechas antes del 19 de mayo y después del 27 de julio y se proyectará al Sur en fechas comprendidas entre el 19 de mayo y el 27 de julio (Muhlia, 06). (Ver imagen: Trayectoria solar sobre el punto de observación, Cd. De México)

ÁNGULO HORARIO

El Ángulo Horario ω , según las NCS, se puede expresar en términos del Tiempo Solar Verdadero, T_{sv} , de la siguiente manera:

$$\omega = \pi / 12 (T_{sv} - 12)$$

LA POSICIÓN DEL SOL DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL OBSERVADOR: ÁNGULO CENITAL, ALTURA SOLAR Y ÁNGULO ACIMUTAL

En la imagen: Las Coordenadas Locales y Geocéntricas, están representados tanto el Sistema de Coordenadas Geocéntrico como el Sistema de Coordenadas Local y puede observarse la relación estrecha que existe entre ambos sistemas; la relación matemática entre estos sistemas se puede encontrar a partir de las leyes de los Cosenos y de los Senos de la trigonometría esférica aplicadas a los triángulos esféricos (Muhlia, 06).

1 fórmula para el Ángulo Cenital, 2 fórmulas para la Altura Solar y 4 fórmulas para el Ángulo Acimutal son las siguientes:

Fórmula 1, Ángulo Cenital, θ , según las NCS, en radianes:

$$\theta = \text{Cos}^{-1} (\text{Sen}(\delta)\text{Sen}(\phi) + \text{Cos}(\delta)\text{Cos}(\phi)\text{Cos}(\omega))$$

Fórmula 1, Altura Solar, α , según las NCS, en radianes:

$$\alpha = \text{Sen}^{-1} (\text{Cos}(\delta)\text{Cos}(\phi)\text{Cos}(\omega) + \text{Sen}(\delta)\text{Sen}(\phi))$$

Fórmula 2, Altura Solar, a_p , según la IESNA, en radianes:

$$a_p = \text{Sen}^{-1} (\text{Sen}(\phi)\text{Sen}(\delta) - \text{Cos}(\phi)\text{Cos}(\delta)\text{Cos}(\pi t/12))$$

Fórmula 1, Ángulo Acimutal, ψ , de acuerdo a las NCS, en radianes :

$$\psi = \text{Sen}^{-1}(\text{Cos}(\delta)\text{Sen}(\omega) / \text{Sen}(\theta))$$

Se aplicó lo siguiente:

$$\psi = 180 - \psi \text{ (en grados) para cuando el Sol esta en la orientación Nor-Este y}$$

$$\psi = -180 + \psi \text{ (en grados) para cuando el Sol esta en la orientación Nor-Oeste}$$

Fórmula 2, Ángulo Acimutal, ψ , de acuerdo al Programa de Cálculo del Dr. Muhlia, 06, en radianes:

$$\psi = \text{Sen}^{-1}(\text{Cos}(\delta)\text{Sen}(\omega)/\text{Sen}(\theta))$$

Se aplicó lo siguiente:

$$\psi = 180 - \psi \text{ (en grados) para cuando el Sol esta en la orientación Nor-Este y}$$

$$\psi = -180 + \psi \text{ (en grados) para cuando el Sol esta en la orientación Nor-Oeste}$$

Fórmula 3, Ángulo Acimutal, ψ , de acuerdo al Programa de Cálculo del Mtro. Zeevaert, 09⁶, en radianes:

$$\psi = \text{Cos}^{-1}(\text{Sen}(\delta)\text{Cos}(\phi) - \text{Cos}(\delta)\text{Sen}(\phi)\text{Cos}((12.001-t)*15)/\text{Cos}(\alpha))$$

Se aplicó lo siguiente, a partir de la fórmula dada:

$$\psi = 180 - \psi \text{ (en grados) para cuando el Sol esta en la orientación Nor-Este y}$$

$$\psi = -180 - \psi \text{ (en grados) para cuando el Sol esta en la orientación Nor-Oeste}$$

Fórmula 4, Ángulo Acimutal, a_s , según la IESNA, en radianes:

$$a_s = \text{Tan}^{-1}[-(\text{Cos}(\delta)\text{Sen}(\pi t/12)) / -(\text{Cos}(\phi)\text{Sen}(\delta) + \text{Sen}(\phi)\text{Cos}(\delta)\text{Cos}(\pi t/12))]$$

LA INCIDENCIA DE LOS RAYOS SOLARES EN LA ARQUITECTURA: ÁNGULOS DE SOMBRA, DE INCIDENCIA SOLAR Y LONGITUD DE SOMBRA

El Acimut de la Superficie al Sol o Ángulo Horizontal de Sombra, da el Ángulo Acimutal entre el Sol y la normal a la superficie vertical de interés.

Fórmula 1, Acimut de la Superficie al Sol o Ángulo Horizontal de Sombra, a_z , según la IESNA, en radianes:

$$a_z = a_s - a_e$$

En donde:

a_s , es el ángulo acimutal del sol en radianes.

a_e , es el acimut de la superficie, en radianes.

Fórmula 2, Ángulo Horizontal de Sombra, a_{hs} , según las NCS, en radianes:

$$a_{hs} = \text{Cos}^{-1}(\text{Cos}(\psi) - a_e)$$

El Ángulo Incidente en el elemento vertical es el ángulo entre la normal a la superficie vertical de interés y la dirección del sol.

Fórmula 1, Ángulo Incidente en el elemento vertical, a_i , según la IESNA en radianes:

$$a_i = \text{Cos}^{-1}(\text{Cos}(a_i)\text{Cos}(a_z))$$

El Ángulo de Perfil o Ángulo Vertical de Sombra es la aparente altitud del sol relativa a la superficie vertical de interés. Es utilizada principalmente para determinar sombras y para proyectar la penetración de la los rayos solares en cortes de los edificios (IESNA, 00).

Fórmula 1, Ángulo de Perfil, a_p , de acuerdo a la IESNA en radianes:

$$a_p = \text{Tan}^{-1}((\text{Sen}(a_i) / \text{Cos}(a_i)))$$

6 Este Programa de Cálculo en Excel fue proporcionado en el Seminario de Interacción con el Medio, Posgrado de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, y fue generado por el tutor de este seminario el Mtro. Leonardo Zeevaert.

El Ángulo de Perfil equivale al Ángulo Vertical de Sombra.

Fórmula 2, Ángulo Vertical de Sombra, a_{vs} , de acuerdo al Programa de Cálculo del Mtro. Zeevaert, 09, en valor absoluto y en radianes:

$$a_{vs} = (\tan^{-1}(\tan(\alpha)/\cos(\psi)-a_{en})) + (\tan^{-1}(\tan(\alpha)/\cos(\psi)-a_{en})) / 2$$

En donde:

a_{en} , es el acimut de la superficie con respecto al norte, en radianes.

Con la altura del edificio podemos calcular la Longitud de Sombra Vertical.

Fórmula 1, Longitud de Sombra Vertical, Lsv , de acuerdo al Programa de Cálculo del Dr. Muhlia, 06, en metros lineales:

$$Lsv = He / \tan(\alpha)$$

En donde:

He , es la altura del edificio.

Con la Longitud de Sombra Vertical, podemos calcular la Longitud de Sombra Horizontal.

Fórmula 1, Longitud de Sombra Horizontal, Lsh , de acuerdo al Programa de Cálculo del Dr. Muhlia, 06, en metros lineales:

$$Lsh = Lsv \cos(\psi)$$

FLUJOS DE ENERGÍA DE RADIACIÓN: IRRADIANCIA TOTAL DIARIA ASTRONÓMICA Y SU COMPORTAMIENTO FUERA DE LA ATMÓSFERA

La Constante Solar se considera igual a 1367W/m², la integral de la irradiancia, a lo largo del día astronómico, sobre una superficie horizontal en el "tope" de la atmósfera, considerando que la declinación solar a lo largo del día permanece constante (Muhlia, 06), según las NCS será:

$$Q(d) = ((I_0 * 0.0864) / \pi) * [(1/Fcd(j)) * [(\omega_0 * \text{Sen}(\phi) * \text{Sen}(\delta)) + (\text{Sen}(\omega_0) * \text{Cos}(\phi) * \text{Cos}(\delta))]]$$

En donde:

$Q(d)$, es la Irradiación Total Diaria Astronómica, en MJ/m²

$I_0 = 1367 \text{ W/m}^2$, es la Constante Solar a la distancia media Tierra-Sol.

$Fcd(j)$, es la corrección de la distancia media Tierra-Sol para el día consecutivo del año.

ω_0 , es el ángulo horario a la salida o puesta del Sol.

ϕ , es la latitud del sitio de estudio.

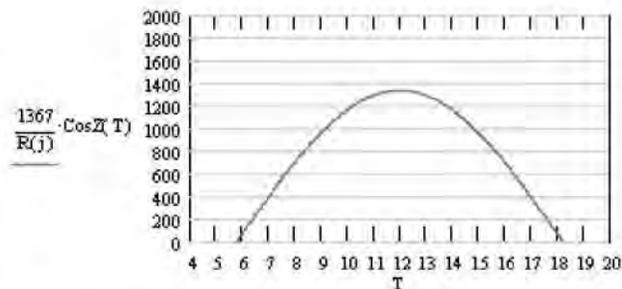
δ , es la declinación solar para el día de estudio.

El comportamiento de la irradiancia fuera de la atmósfera y en su caso a través de una atmósfera de aire seco y limpio se puede ver en la Imagen: Comportamiento de la Irradiancia fuera de la atmósfera y en su caso a través de una atmósfera de aire seco y limpio, y sus valores se obtienen con la siguiente ecuación:

Fórmula 1, comportamiento de la irradiancia fuera de la atmósfera y en su caso a través de una atmósfera de aire seco y limpio, I , de acuerdo al Programa de Cálculo en Mathcad del Dr. Muhlia, 06⁷, en W/m²:

$$I = I_0 \cos(\theta) / R(j)$$

En donde:



Comportamiento de la Irradiancia fuera de la atmósfera y en su caso a través de una atmósfera de aire seco y limpio, para el día 14 de abril de 2008 (Programa de Cálculo en Mathcad, 03)

7 Este Programa de Cálculo en Mathcad fue proporcionado en el Seminario de Interacción con el Medio, Posgrado de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, 2006-2, con el apoyo del Dr. Agustín Muhlia y generado por este último.

$I_0 = 1367 \text{ W/m}^2$, es la Constante Solar a la distancia media Tierra-Sol.

$\text{Cos}(\theta_s) = \text{Sen}(\delta)\text{Sen}(\phi) + \text{Cos}(\delta)\text{Cos}(\phi)\text{Cos}(\omega_s)$, en radianes

En donde:

ϕ , es la latitud del sitio de estudio.

δ , es la declinación solar para el día de estudio.

ω_s , es el ángulo horario según el tiempo solar verdadero.

$R(j)$ o Fcd , es la corrección o factor de corrección de la distancia media Tierra-Sol.

PROYECCION ESTEREOGRAFICA PARA LA LATITUD Y LONGITUD DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Gráficas que muestran los ángulos solares, son llamadas diagramas del recorrido solar, en representación bidimensional. La más comúnmente usada es la Proyección Estereográfica, en la cual los ángulos concéntricos dan el ángulo de elevación sobre el horizonte, con 90° en el centro y las líneas radiales son los Ángulos Acimutales para cada día y cada hora (Tregenza y Loe, 98). Pueden incluir un transportador por el cual es posible obtener datos respecto a los Ángulos de Sombra que generan los rayos solares.

La Proyección Estereográfica que se trazó para la latitud del Centro Histórico de la Ciudad de México se calculó para la latitud del Centro de la Ciudad de México es de 19°25'59" grados latitud Norte (19.43°) (ver: Proyección Estereográfica con la latitud del Centro Histórico de la Ciudad de México), se utilizó la Fórmula 1, de la Declinación Solar, de acuerdo con Perrin de Brichambaut (con ajustes en los documentos del Dr. Muhlia), en radianes:

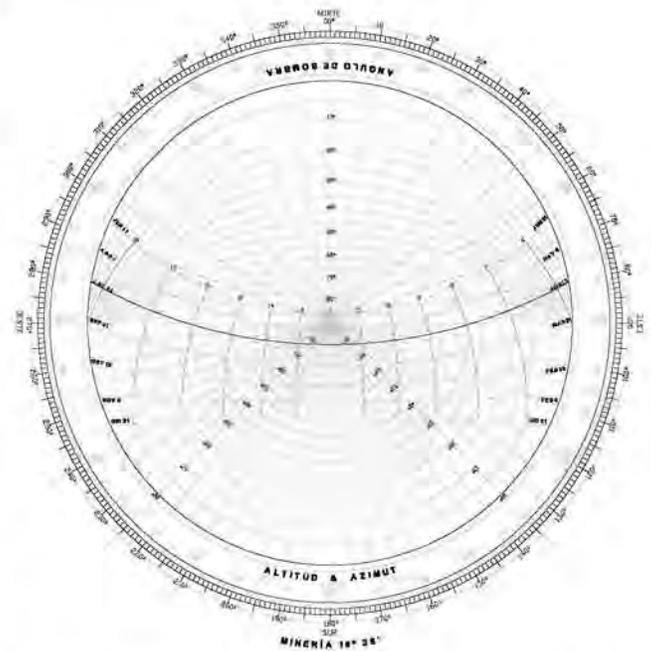
$$\delta(j) = \text{Sen}^{-1}[0.399\text{Sen}(2\pi(j-81)/365.25)]$$

Esta proyección se trazó para el día juliano 105, que representa al 14 de abril de 2008, así como para los equinoccios (21 de Marzo y 21 de Septiembre), para los solsticios (21 de junio y 21 de diciembre) como para otros días del año, que permitan observar como es la trayectoria del Sol para el sitio en el caso de estudio durante el año.

La Proyección Estereográfica se trazó en un programa de diseño asistido por computadora, CAD⁸, llamado AutoCAD, desarrollado por la empresa Autodesk. A través de datos generados por el Programa de Cálculo del Mtro. Zeevaert, 06⁹ en donde se introducen las variables mencionadas en el párrafo anterior.

Con esta proyección se obtienen los siguientes datos para cada hora, en Tiempo Solar Verdadero, del día de interés (Cabe mencionar que los primeros 10° grados de altura solar tienen influencia del contexto geográfico y urbano el lugar) :

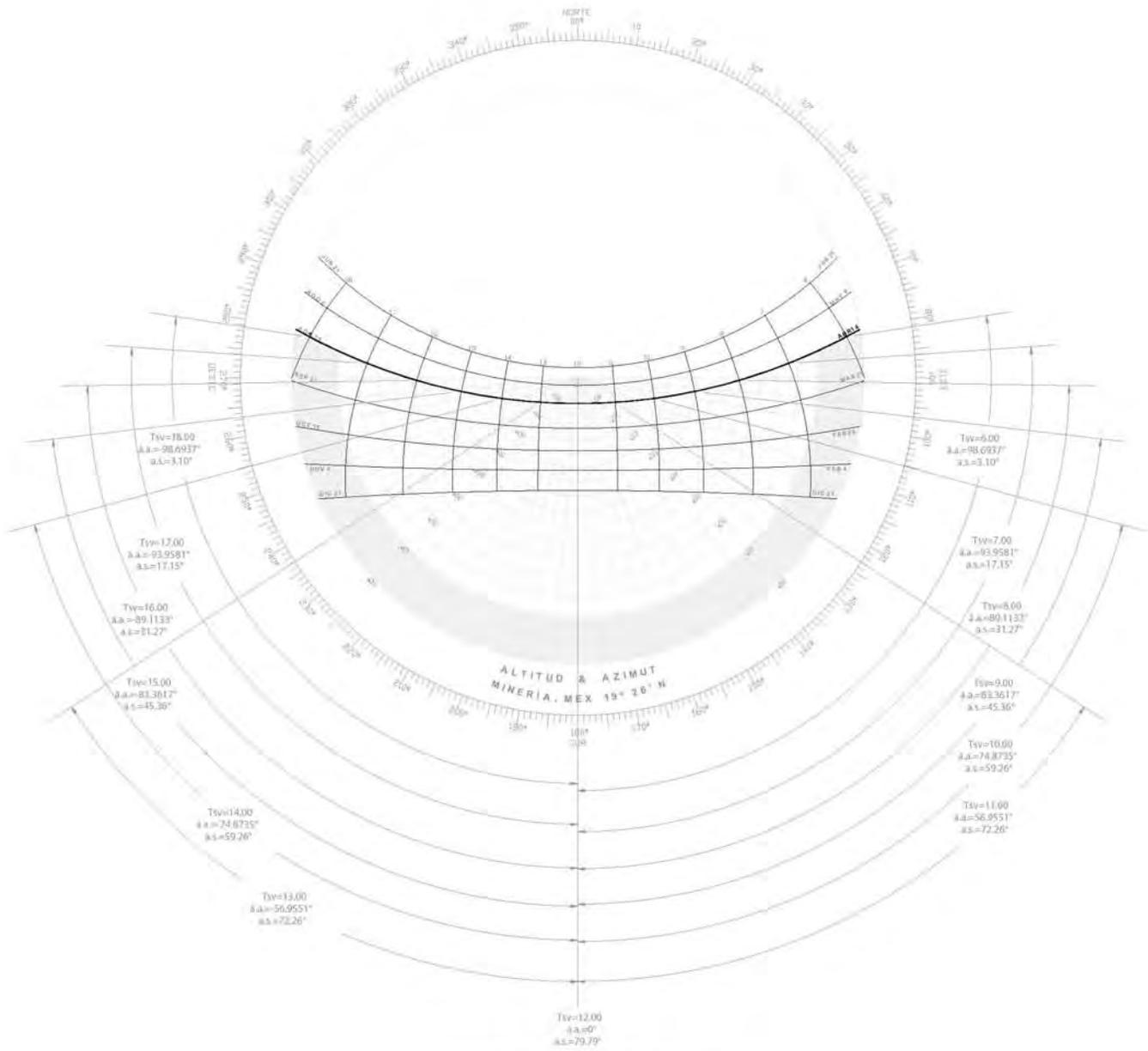
Altura Solar (Ver: Proyección Estereográfica, Altura Solar y Ángulo Acimutal)



Proyección Estereográfica con la latitud del Centro Histórico de la Ciudad de México (19.43°) y para el día de estudio (14 de abril de 2008), trazada con el Programa de Cálculo del Mtro. Zeevaert, 06.

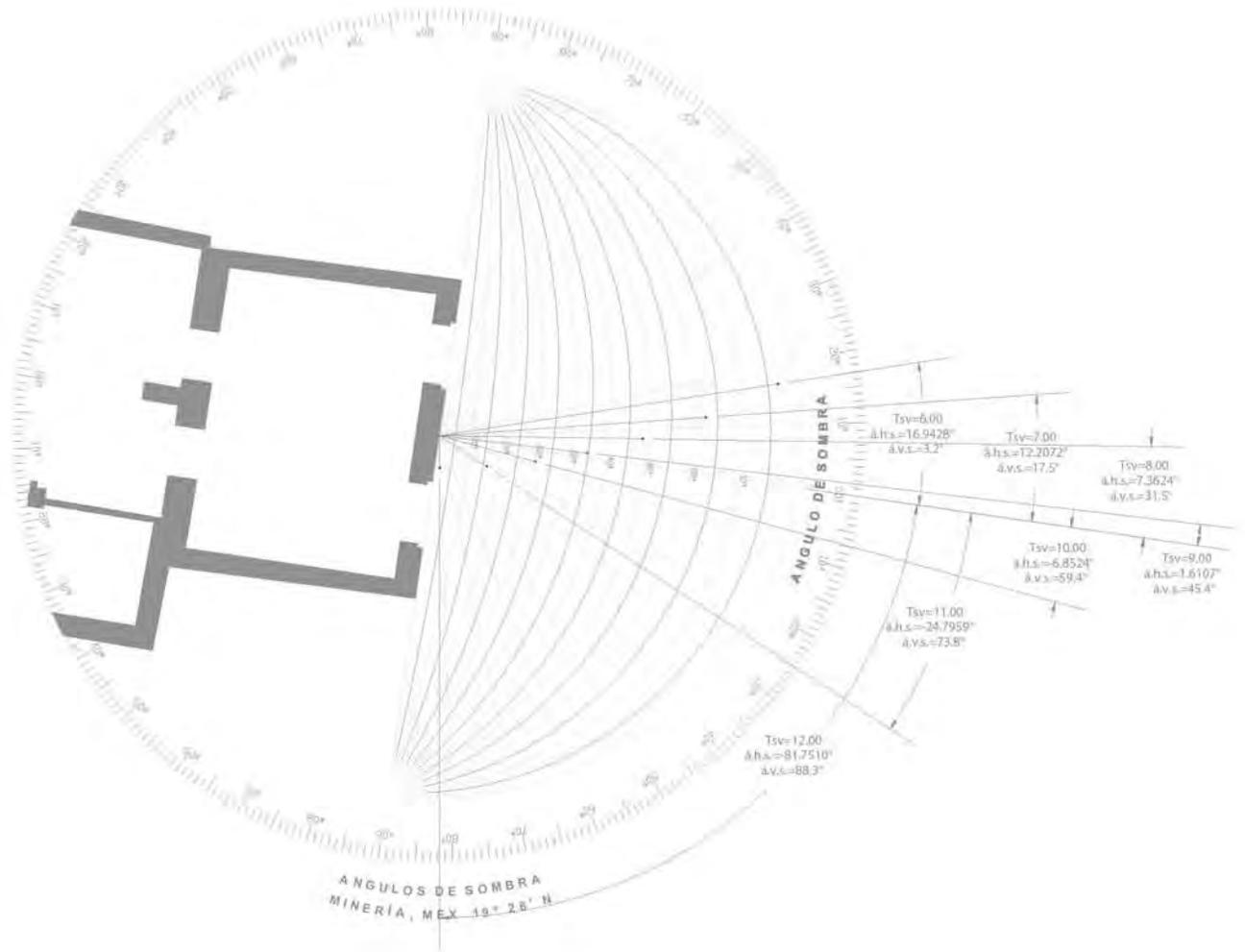
8 CAD por sus siglas en inglés (Computer Aided Design)

9 Este Programa de Cálculo en Excel fue proporcionado en el Seminario de Interacción con el Medio, Posgrado de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, 2006-2, impartido por el Mtro. Leonardo Zeevaert. El programa fue generado por el titular del este seminario.



Proyección Estereográfica
14 DE ABRIL DE 2008
indica 10° grados de altura solar por influencia del contexto

Proyección Estereográfica, Altura Solar y Ángulo Acimutal para cada hora, en Tiempo Solar Verdadero para el día 14 de abril de 2008.



ISABEL LA CATÓLICA NO.67, CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO, SALÓN PRINCIPAL FACHADA AL ORIENTE; 6.00-12.00 P.M. ACIMUT DE LA SUPERFICIE DE FACHADA: 81.75° RESPECTO DEL NORTE = 98.25°

Proyección Estereográfica, Transportador para obtener los Ángulos Horizontal y Vertical de Sombra para cada hora, en Tiempo Solar Verdadero, para el día 14 de abril de 2008, para el salón principal del edificio de estudio con fachada al Oriente.

ANG. HORIZONTAL = $-81,75^\circ$
 ANG. VERTICAL = $88,3^\circ$
 Tsv=12.00 p.m. 14 ABRIL

ANG. HORIZONTAL = $-24,80^\circ$
 ANG. VERTICAL = $73,8^\circ$
 Tsv=11.00 a.m. 14 ABRIL

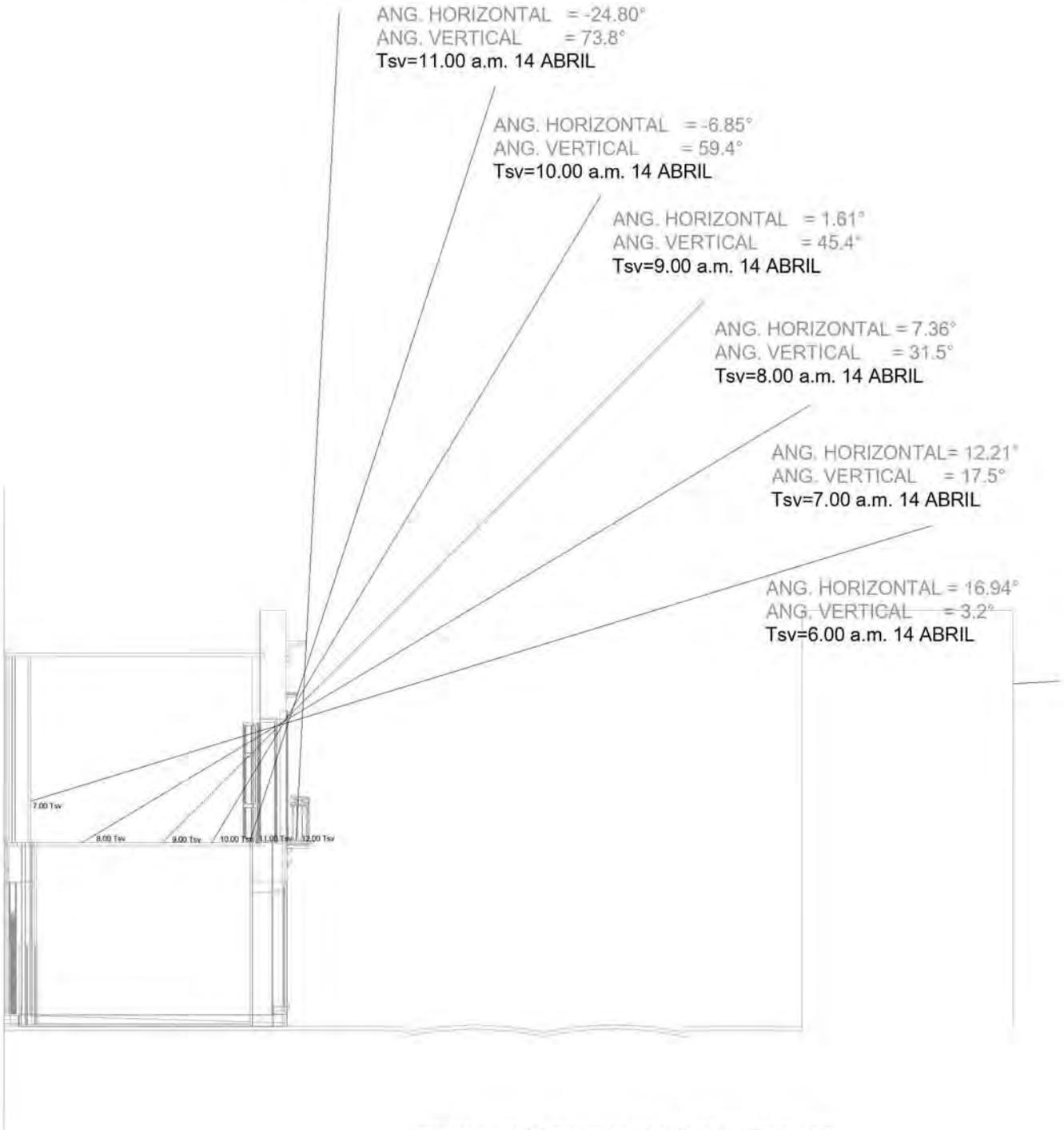
ANG. HORIZONTAL = $-6,85^\circ$
 ANG. VERTICAL = $59,4^\circ$
 Tsv=10.00 a.m. 14 ABRIL

ANG. HORIZONTAL = $1,61^\circ$
 ANG. VERTICAL = $45,4^\circ$
 Tsv=9.00 a.m. 14 ABRIL

ANG. HORIZONTAL = $7,36^\circ$
 ANG. VERTICAL = $31,5^\circ$
 Tsv=8.00 a.m. 14 ABRIL

ANG. HORIZONTAL = $12,21^\circ$
 ANG. VERTICAL = $17,5^\circ$
 Tsv=7.00 a.m. 14 ABRIL

ANG. HORIZONTAL = $16,94^\circ$
 ANG. VERTICAL = $-3,2^\circ$
 Tsv=6.00 a.m. 14 ABRIL

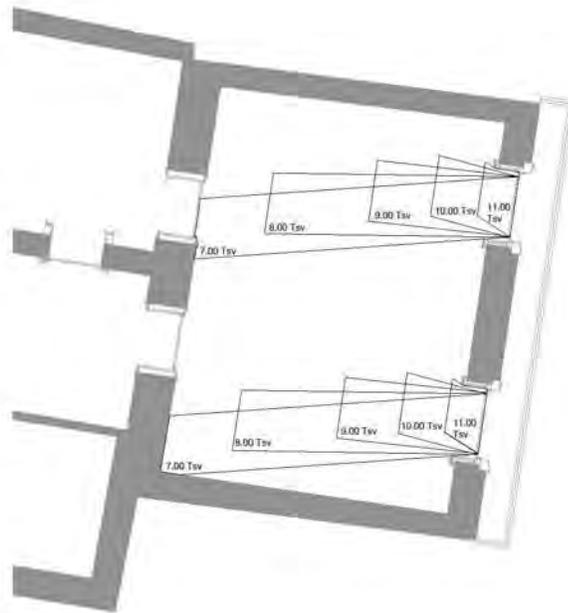


PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA, ÁNGULOS DE SOMBRA FACHADA AL ORIENTE Tsv: 6.00-12.00p.m. 14 ABRIL

Corte del edificio de estudio con la incidencia de los rayos solares, Ángulo Vertical de Sombra a cada hora, en Tiempo Solar Verdadero.

PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA
 ANG. HORIZONTAL = 16.94°
 ANG. VERTICAL = 3.2°
 Tsv: 6.00a.m. 14 ABRIL

PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA
 ANG. HORIZONTAL = 12.21°
 ANG. VERTICAL = 17.5°
 Tsv: 7.00a.m. 14 ABRIL



PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA
 ANG. HORIZONTAL = 7.36°
 ANG. VERTICAL = 31.5°
 Tsv: 8.00a.m. 14 ABRIL

PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA
 ANG. HORIZONTAL = 1.61°
 ANG. VERTICAL = 45.4°
 Tsv: 9.00a.m. 14 ABRIL

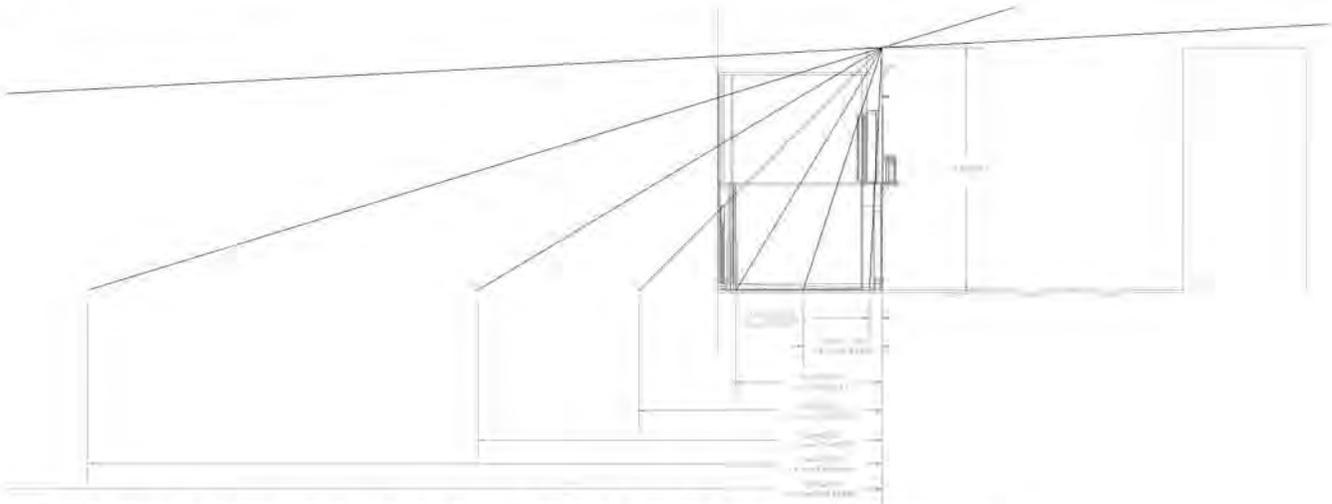
PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA
 ANG. HORIZONTAL = -6.85°
 ANG. VERTICAL = 59.4°
 Tsv: 10.00a.m. 14 ABRIL

PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA
 ANG. HORIZONTAL = -24.80°
 ANG. VERTICAL = 73.8°
 Tsv: 11.00a.m. 14 ABRIL

FACHADA AL ORIENTE, 6.00-12.00 P.M.
 ACIMUT DE LA SUPERFICIE DE FACHADA: 81.75°

PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA
 ANG. HORIZONTAL = -81.75°
 ANG. VERTICAL = 88.3°
 Tsv: 12.00a.m. 14 ABRIL

Planta del salón principal con la incidencia de los rayos solares, Ángulo Horizontal de Sombra a cada hora, en Tiempo Solar Verdadero, tomando en cuenta la obstrucción del edificio de enfrente



Corte del edificio de estudio con la Longitud de Sombra Vertical a cada hora, en Tiempo Solar Verdadero.

Ángulo Acimutal (Ver: Proyección Estereográfica, Altura Solar y Ángulo Acimutal)

Ángulos de Sombra Horizontales y Verticales (Ver: Proyección Estereográfica, Transportador para obtener los Ángulos Horizontal y Vertical de Sombra para el salón principal del edificio de estudio con fachada al Oriente) (Ver: Corte del edificio de estudio con la incidencia de los rayos solares, Ángulo Vertical de Sombra) (Ver: Planta del salón principal con la incidencia de los rayos solares, Ángulo Horizontal de Sombra)

De los dibujos en CAD también podemos obtener datos como el de la Longitud de Sombra del edificio de interés. (Ver: Corte del edificio de estudio con la longitud de Sombra Vertical)

Las tablas con la información para generar la Proyección Estereográfica se encuentran en el anexo 2. Así como las gráficas con los trazos con los cuales se obtuvieron los siguientes datos (p.e.=Proyección Estereográfica):

Tabla 1, con los datos tomados de la Proyección Estereográfica, Altura Solar, Ángulo Acimutal, Ángulo Horizontal de Sombra y Ángulo Vertical de Sombra y Longitud de Sombra Vertical.

Tsv	a	y	Ahs	Avs	Lsv
tiempo solar verdadero	p.e.: altura solar	p.e.: ángulo acimutal	p.e.: ángulo horizontal de sombra	p.e.: ángulo vertical de sombra	p.e.: longitud de sombra vertical
	°	°	°	°	m
6.00	3.10	98.69	16.94	3.2	200.50
7.00	17.15	93.96	12.21	17.5	34.37
8.00	31.27	89.11	7.36	31.5	17.49
9.00	45.36	83.36	1.61	45.4	10.51
10.00	59.26	74.87	-6.85	59.4	6.31
11.00	72.26	56.96	-24.80	73.8	3.41
12.00	79.79	0.00	-81.75	88.3	0.55
13.00	72.26	-56.95			
14.00	59.26	-74.87			
15.00	45.36	-83.36			
16.00	31.27	-89.11			
17.00	17.15	-93.95			
18.00	3.10	-98.69			

No hay incidencia de rayos solares en el espacio con fachada al Oriente

ANÁLISIS, COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS VALORES OBTENIDOS POR FÓRMULAS MATEMÁTICAS DE LA GEOMETRÍA SOLAR CON LOS VALORES DADOS POR EL ANUARIO DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL Y LOS VALORES OBTENIDOS DEL TRAZO DE LA PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA

El objetivo de este análisis, a través de la comparación y evaluación de datos, es tener una idea más clara de qué fórmulas matemáticas de la geometría solar es conveniente utilizar para nuestra latitud y longitud y poderlas emplear para llevar a cabo el pronóstico de la iluminación natural para el sitio de interés.

A continuación se muestra la comparación, análisis y evaluación de las fórmulas ya mencionadas aplicadas con los siguientes datos:

Tabla 2. con información arquitectónica, geográfica, fecha y ajuste de tiempo para los cálculos geométricos solares, la posición del sol, la incidencia de los rayos solares en la arquitectura y los flujos de energía de radiación.				
información arquitectónica				
$l(fh)_n=$	elemento vertical, inclinación horizontal respecto del norte	98.24	°	
$l(fh)_{ne,se}=$	elemento vertical, inclinación horizontal respecto al sur, fachada con orientación noreste y sureste	81.76	°	
$l(fv)=$	elemento vertical, inclinación vertical	90.00	°	
coordenadas geográficas				
$\phi=$	latitud geográfica del lugar en grados, minutos y segundos	19	25'	59"
$\phi=$	latitud geográfica del lugar en grados decimales	19.43	° N	
$\lambda=$	longitud geográfica del lugar en grados, minutos y segundos	99	7'	58"
$\lambda=$	longitud geográfica del lugar en grados decimales	99.13	° O	
$Mo=$	meridiano oficial de referencia	90	°	
fecha				
$F=$	fecha, día, mes y año	4/14/08		
$J=$	día juliano	105		
irradiación				
$Io(\lambda)=$	constante solar a la distancia media Tierra-Sol, (NCS, 06)	1367	W/m ²	
diferencia del tiempo del sitio con respecto al meridiano oficial de referencia				
τ	diferencia (τ):	9.13	°	
τ	diferencia (τ):	34.88	min	
$B(j)=$	constante	0.41		

DECLINACIÓN SOLAR

Para la Declinación Solar se analizaron seis años de los datos que proporciona el AOAN, desde 2005 hasta 2010, incluyendo 2008, siendo este el año de estudio y año bisiesto. De esta manera, las fórmulas ya mencionadas para obtener el dato de la Declinación Solar, son comparadas con los datos proporcionados por el AOAN. Posteriormente, los datos como la Altura Solar y Acimut Solar (datos que tienen como variable la Declinación Solar) son comparados con los datos obtenidos de la Proyección Estereográfica con el fin de poder decidir con qué fórmula de la Declinación Solar trabajar para obtener los datos por fórmulas matemáticas de la iluminancia, los cuales contarán con mayor precisión.

Tabla 3. con los promedios de los errores cuadráticos de los datos del AOAN con cada una de las cinco fórmulas de estudio

	PERRIN DE BRICHAMBAUT+AJUSTES Fórmula 1, error medio cuadrático promedio	PERRIN DE BRICHAMBAUT Fórmula 1.1, error medio cuadrático promedio	COMUNIDAD ECONÓMICA EUROPEA Fórmula 2, error medio cuadrático promedio	DOGNIAUX Y PAGE Fórmula 3, error medio cuadrático promedio	IESNA Fórmula 4, error medio cuadrático promedio	COOPER Fórmula 5, error medio cuadrático promedio
2005	0.534086358	0.542897353	0.21954163	0.296178145	0.353290223	0.539162848
2006	0.501890954	0.52133128	0.166592259	0.234908781	0.335870195	0.554940695
2007	0.518502821	0.503370115	0.111744899	0.169362575	0.320082895	0.57019204
2008	0.543420562	0.495305468	0.08421057	0.109108973	0.322179698	0.594921741
2009	0.49401056	0.550526674	0.235759919	0.310120873	0.363478189	0.543650173
2010	0.499558441	0.52326564	0.173410253	0.243467243	0.335450453	0.55078802
2005-2010	0.515244949	0.522782755	0.165209922	0.227194432	0.338391942	0.558942586

El menor error cuadrático promedio de la comparación de los datos del AOAN con las fórmulas de la Declinación Solar ya mencionadas, lo presenta la Fórmula 2 de la Comunidad Económica Europea.

Los resultados de las diferentes fórmulas de la Declinación Solar aplicadas al 14 de abril de 2008 son los siguientes:

Tabla 4. con el dato de la Declinación Solar en grados de la AOAN y con los resultados de la Declinación Solar, en grados según las diferentes fórmulas para el día de estudio, 14 de abril de 2008 y el error medio cuadrático de las diferentes fórmulas con los datos del AOAN.

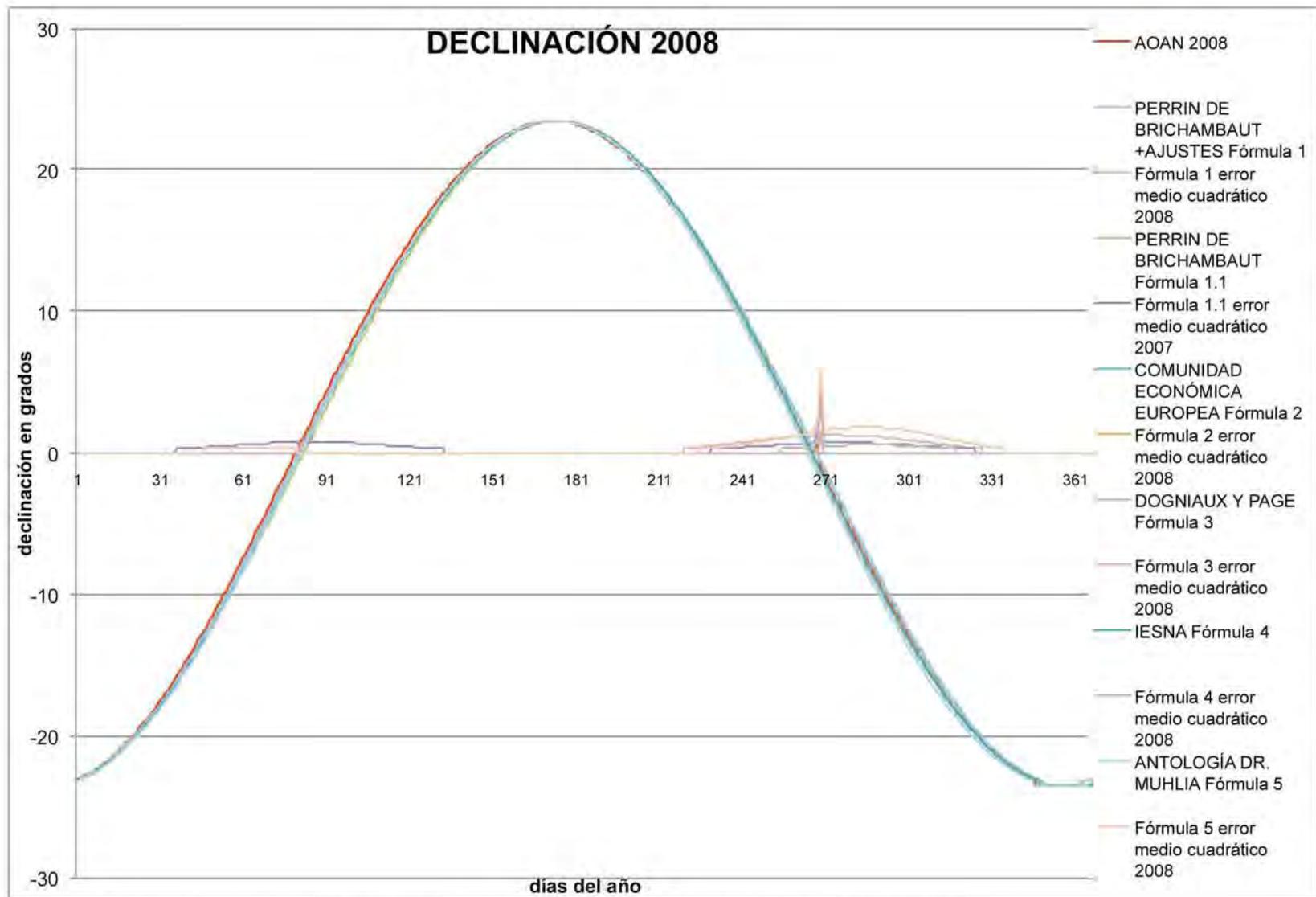
Fecha	AOAN	PERRIN DE BRICHAMBAUT + A. Fórmula 1		PERRIN DE BRICHAMBAUT Fórmula 1.1		COMUNIDAD ECONÓMICA EUROPEA Fórmula 2		DOGNIAUX Y PAGE Fórmula 3		IESNA Fórmula 4		COOPER Fórmula 5	
		°	Error	°	Error	°	Error	°	Error	°	Error	°	Error
14 de abril 2008	9.56	9.21	0.12	8.85	0.51	9.55	0.00	9.45	0.01	9.34	0.05	9.41	0.02

Estos resultados siguen mostrando que la fórmula más precisa, de acuerdo a la comparación con el dato del AOAN, es la Fórmula 2 de la Comunidad Económica Europea.

ECUACIÓN DEL TIEMPO Y AJUSTE DEL TIEMPO

Para conocer el Ajuste del Tiempo y con esto la Hora Oficial y el Tiempo Solar Verdadero es necesario conocer la Diferencia de Tiempo del sitio de interés. Así como la constante $B(j)$, la cual se aplica para la Fórmula 2 de la Ecuación del Tiempo. (Ver tabla: Tabla 2. con información arquitectónica, geográfica, fecha y ajuste de tiempo para los cálculos geométricos solares, la posición del sol, la incidencia de los rayos solares en la arquitectura y los flujos de energía de radiación)

La Ecuación del Tiempo se obtiene, como ya mencionamos, según tres fórmulas:



Declinación Solar en el año 2008, calculada con las 5 diferentes fórmulas y el error cuadrático de estas con respecto a los datos del AOAN

Fórmula 1, Ecuación del Tiempo, según la Comunidad Económica Europea:

$$\varepsilon(j) = 1.62 \text{ min}$$

Fórmula 2, Ecuación del Tiempo, según Duffie y Beckman:

$$\varepsilon(j) = - 0.22 \text{ min}$$

Fórmula 3, Ecuación del Tiempo, según Dogniaux y Page:

$$\varepsilon(j) = - 0.0002 \text{ min}$$

Por lo tanto el Ajuste del Tiempo para el sitio de interés y para cada una de las tres fórmulas es el que se presenta a continuación:

Fórmula 1, Ajuste del Tiempo (Diferencia del Tiempo + Ecuación del Tiempo), E.T., según la Comunidad Económica Europea:

$$A(t) = 34.88 + (1.62)$$

$$A(t) = 36.51 \text{ min}$$

$$A(t) = \mathbf{36:31 \text{ min:seg}}$$

Fórmula 2, Ajuste del Tiempo (Diferencia del Tiempo + Ecuación del Tiempo), E.T., según Duffie y Beckman:

$$A(t) = 34.88 + (- 0.22)$$

$$A(t) = 34.66 \text{ min}$$

$$A(t) = \mathbf{34:40 \text{ min:seg}}$$

Fórmula 3, Ajuste del Tiempo (Diferencia del Tiempo + Ecuación del Tiempo), E.T., según Dogniaux y Page:

$$A(t) = 34.88 + (- 0.0002)$$

$$A(t) = 34.88 \text{ min}$$

$$A(t) = \mathbf{34:53 \text{ min:seg}}$$

FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA DISTANCIA DEL SOL A LA TIERRA

Para el 14 de abril de 2008, es decir el día de estudio, y el Día Juliano 105, por ser 2008 año bisiesto (con 29 días en febrero) contamos con los siguientes valores para Fcd :

Fórmula 1, Factor de Corrección de la Distancia del Sol a la Tierra, $Fcd(j)$, en base a la teoría de la órbita elíptica de la Tierra:

$$Fcd(105) = 1.03$$

Fórmula 2, Factor de Corrección de la Distancia del Sol a la Tierra, $Fcd(j)$, de acuerdo con Duffie y Beckman:

$$Fcd(105) = 0.99$$

Fórmula 3, Factor de Corrección de la Distancia del Sol a la Tierra, $Fcd(j)$, de acuerdo con Dogniaux y Page:

$$Fcd(105) = 0.99$$

Se utiliza el valor de $Fcd(105) = 0.99$, ya que dos de las fórmulas obtienen este mismo resultado.

SALIDA Y PUESTA DEL SOL (ORTO Y OCASO)

Se calculó la salida y puesta del Sol para cada una de las fórmulas de las declinaciones solares y para cada una de las ecuaciones del tiempo, la diferencia es de 1 a 3 minutos, aproximadamente.

En donde existe una gran diferencia es en la Hora de la Culminación del Sol. Esta diferencia existe entre la fórmula dada por las NCS y el Ajuste del Tiempo sumado a las 12 del día en T_{sv} , contemplando que a esta

Tabla 5. con los resultados para las diferentes fórmulas de la Declinación Solar y la Ecuación del Tiempo, de la Salida y Puesta del Sol, así como de su Culminación, en Tiempo Solar verdadero y en Hora Oficial.

$\delta(j)$	$\varepsilon(j)$	$\delta(j)$	$\varepsilon(\varphi)$	A(t)	A(t)	ω	ω	Ts	Tsv, Ts	Hloc, Ts	Tp	Tsv, Tp	Hloc, Tp	Da	culm	Hloc. culm	Hloc. culm
f	f	f	dec	dec	min:seg	rad		dec	hr:min:seg	hr:min:seg (AM)	dec	hr:min:seg	hr:min:seg (PM)	dec	dec	hr:min:seg (AM)	hr:min:seg (PM)
F.1	F.1	9.21	1.62	36.50	0:36:30	1.63	93.28	5.78	05:46:53	06:23:23	18.22	18:13:07	06:49:37	12.44	10.98	10:59:02	12:36:30
F.1.1		8.85	1.62	36.50	0:36:30	1.63	93.15	5.79	05:47:25	06:23:55	18.21	18:12:35	06:49:05	12.42	10.98	10:59:02	12:36:30
F.2		9.55	1.62	36.50	0:36:30	1.63	93.40	5.77	05:46:24	06:22:54	18.23	18:13:36	06:50:06	12.45	10.98	10:59:02	12:36:30
F.3		9.45	1.62	36.50	0:36:30	1.63	93.37	5.78	05:46:32	06:23:02	18.22	18:13:28	06:49:58	12.45	10.98	10:59:02	12:36:30
F.4		9.34	1.62	36.50	0:36:30	1.63	93.33	5.78	05:46:42	06:23:12	18.22	18:13:18	06:49:48	12.44	10.98	10:59:02	12:36:30
F.5		9.41	1.62	36.50	0:36:30	1.63	93.35	5.78	05:46:35	06:23:05	18.22	18:13:25	06:49:55	12.45	10.98	10:59:02	12:36:30
DATO AOAN		9.56	1.62	36.50	0:36:30	1.63	93.40	5.77	05:46:23	06:22:53	18.23	18:13:37	06:50:07	12.45	10.98	10:59:02	12:36:30
F.1	F.2	9.21	-0.22	34.65	0:34:39	1.63	93.28	5.78	05:46:53	06:21:32	18.22	18:13:07	06:47:46	12.44	12.83	12:49:54	12:34:39
F.1.1		8.85	-0.22	34.65	0:34:39	1.63	93.15	5.79	05:47:25	06:22:04	18.21	18:12:35	06:47:14	12.42	12.83	12:49:54	12:34:39
F.2		9.55	-0.22	34.65	0:34:39	1.63	93.40	5.77	05:46:24	06:21:03	18.23	18:13:36	06:48:15	12.45	12.83	12:49:54	12:34:39
F.3		9.45	-0.22	34.65	0:34:39	1.63	93.37	5.78	05:46:32	06:21:11	18.22	18:13:28	06:48:07	12.45	12.83	12:49:54	12:34:39
F.4		9.34	-0.22	34.65	0:34:39	1.63	93.33	5.78	05:46:42	06:21:21	18.22	18:13:18	06:47:57	12.44	12.83	12:49:54	12:34:39
F.5		9.41	-0.22	34.65	0:34:39	1.63	93.35	5.78	05:46:35	06:21:14	18.22	18:13:25	06:48:04	12.45	12.83	12:49:54	12:34:39
DATO AOAN		9.56	-0.22	34.65	0:34:39	1.63	93.40	5.77	05:46:23	06:21:02	18.23	18:13:37	06:48:16	12.45	12.83	12:49:54	12:34:39
F.1	F.3	9.21	-0.0002	34.87	0:34:52	1.63	93.28	5.78	05:46:53	06:21:45	18.22	18:13:07	06:47:59	12.44	12.61	12:36:32	12:34:52
F.1.1		8.85	-0.0002	34.87	0:34:52	1.63	93.15	5.79	05:47:25	06:22:17	18.21	18:12:35	06:47:27	12.42	12.61	12:36:32	12:34:52
F.2		9.55	-0.0002	34.87	0:34:52	1.63	93.40	5.77	05:46:24	06:21:16	18.23	18:13:36	06:48:28	12.45	12.61	12:36:32	12:34:52
F.3		9.45	-0.0002	34.87	0:34:52	1.63	93.37	5.78	05:46:32	06:21:24	18.22	18:13:28	06:48:20	12.45	12.61	12:36:32	12:34:52
F.4		9.34	-0.0002	34.87	0:34:52	1.63	93.33	5.78	05:46:42	06:21:34	18.22	18:13:18	06:48:10	12.44	12.61	12:36:32	12:34:52
F.5		9.41	-0.0002	34.87	0:34:52	1.63	93.35	5.78	05:46:35	06:21:27	18.22	18:13:25	06:48:17	12.45	12.61	12:36:32	12:34:52
DATO AOAN		9.56	-0.0002	34.87	0:34:52	1.63	93.40	5.77	05:46:23	06:21:15	18.23	18:13:37	06:48:29	12.45	12.61	12:36:32	12:34:52

hora es cuando el Sol culmina. Los valores de la culminación del Sol según la fórmula en las NCS, varía mucho respecto a la Declinación Solar y la Ecuación del Tiempo. Mientras que los valores de la Hora de la Culminación según el Ajuste del Tiempo, vuelven a presentar una diferencia de minutos respecto a las diferentes fórmulas de Declinación Solar y Ecuación del Tiempo. Por esta razón utilizaremos el Ajuste del Tiempo para conocer la Hora a la que el Sol Culmina, el día 14 de abril de 2008, en el Centro Histórico de la Ciudad de México. (Ver tabla: Tabla 5. con los resultados para las diferentes fórmulas de la Declinación Solar y la Ecuación del Tiempo, de la Salida y Puesta del Sol, así como de su Culminación, en Tiempo Solar verdadero y en Hora Oficial)

La variación de la salida y la puesta del Sol con respecto a las diferentes fórmulas de Declinación y Ecuación del Tiempo es de 1 a 2 minutos. (Ver tabla: Tabla 5. con los resultados para las diferentes fórmulas de la Declinación Solar y la Ecuación del Tiempo, de la Salida y Puesta del Sol, así como de su Culminación, en Tiempo Solar verdadero y en Hora Oficial) Es importante tomar en cuenta que la verdadera salida y puesta del sol depende también de la geografía del sitio. Al tomar en cuenta que la Ciudad de México se encuentra en una cuenca, se debería de tomar el perfil de las montañas circundantes y de esta manera saber a que hora el Sol sobrepasa ese perfil para incidir en la Cuenca de la Ciudad de México para el amanecer y en que momento se oculta detrás de las montañas al atardecer.

TIEMPO SOLAR VERDADERO Y HORA OFICIAL

Por medio del Ajuste del Tiempo también podemos saber la Hora Oficial o Local (hora del reloj) del sitio de interés, a partir del Tiempo Solar Verdadero. Esto se logra, sumándole al Tiempo Solar Verdadero el Ajuste del Tiempo. Si ya conocemos la hora en la que sale el Sol, comenzaremos los estudios de geometría solar para esta hora. Así, tomaremos el valor de las 6 de la mañana como primera hora del Tiempo Solar Verdadero para los demás cálculos.

Tabla 6. con los resultados del Ajuste del Tiempo para las diferentes Fórmulas de la Ecuación del Tiempo y un ejemplo de aplicación, para la primera hora del día astronómico, las 6 de la mañana.

$\epsilon(j)$	τ	$B(j)$	$\epsilon(\varphi)$	$A(t)$	$A(t)$	T_{sv}	H_o
Fórmula de la ecuación del tiempo	diferencia (τ):	constante	ecuación del tiempo	ajuste del tiempo		tsv en la primera hora del día astronómico	hora oficial
descripción	dec.		dec.	dec.	min:seg	dec.	hr:min:seg
FÓRMULA 1	34.87	0.41	1.62	36.50	0:36:30	6.00	06:36:30 AM
FÓRMULA 2	34.87	0.41	-0.22	34.65	0:34:39	6.00	06:34:39 AM
FÓRMULA 3	34.87	0.41	-0.0002	34.87	0:34:52	6.00	06:34:52 AM

ÁNGULO HORARIO

Para saber el Ángulo Horario tenemos como variable el Tiempo Solar Verdadero en horas decimales.

Tabla 7. con los Ángulos Horarios por cada Tiempo Solar Verdadero del día astronómico.

Tsv	ω	ω
tiempo solar verdadero	ángulo horario	ángulo horario
hrs	rad	°
6.00	1.57	90.00
7.00	1.31	75.00
8.00	1.05	60.00
9.00	0.79	45.00
10.00	0.52	30.00
11.00	0.26	15.00
12.00	0.00	0.00
13.00	-0.26	-15.00
14.00	-0.52	-30.00
15.00	-0.79	-45.00
16.00	-1.05	-60.00
17.00	-1.31	-75.00
18.00	-1.57	-90.00

POSICIÓN DEL SOL, SEGÚN EL PUNTO DEL OBSERVADOR: ÁNGULO CENITAL, ALTURA SOLAR Y ÁNGULO ACIMUTAL

El Ángulo Cenital, la Altura Solar y el Ángulo Acimutal dependen de la Latitud del Sitio, de la Declinación Solar y del Ángulo Horario para cada Tiempo Solar Verdadero. El Ángulo Acimutal toma en cuenta en algunos casos el Ángulo Cenital y en otros la Altura Solar. También se toma en cuenta el Ajuste del Tiempo, con la Ecuación del Tiempo, para conocer qué posición tiene el Sol para una Hora Oficial determinada. Es por esto que se mezclan diferentes variables junto con diferentes fórmulas, las cuales estamos poniendo a prueba para obtener un valor en particular.

LA INCIDENCIA DE LOS RAYOS SOLARES EN LA ARQUITECTURA: ÁNGULOS DE SOMBRA, DE INCIDENCIA SOLAR Y LONGITUD DE SOMBRA

Para conocer los Ángulos de Sombra, de Incidencia y la Longitud de Sombra Vertical es necesario tener la información arquitectónica de la edificación de estudio, tales como la orientación de la fachada con respecto del norte geográfico o acimut de la superficie, la inclinación vertical de la superficie de la fachada y la altura del edificio. (Ver tabla: Tabla 2. con información arquitectónica, geográfica, fecha y ajuste de tiempo para los cálculos geométricos solares, la posición del sol, la incidencia de los rayos solares en la arquitectura y los flujos de energía de radiación)

Como ya se mencionó anteriormente los datos de la Proyección Estereográfica son comparados con los resultados de las diferentes fórmulas matemáticas de la geometría solar, antes descritas, que permiten conocer en que posición se encuentra el Sol, según el Ángulo Cenital, la Altura Solar y el Ángulo Acimutal, así como las fórmulas para obtener la incidencia de los rayos solares en la arquitectura como los Ángulos de Sombra y la Longitud de Sombra Vertical. La comparación se llevó a cabo a través del error medio cuadrático. El promedio de éste nos indica qué fórmulas seleccionar ya que serán las más precisas y podrán ser empleadas posteriormente para los cálculos de iluminancia del día de estudio.

Tabla 8. con resultados promedio de los errores medios cuadráticos de los datos de la Proyección Estereográfica y las fórmulas mencionadas anteriormente para la Altura Solar, el Ángulo Acimutal, el Ángulo Horizontal y Vertical de Sombra y la Longitud de Sombra Horizontal.

$\delta(j)$	$\epsilon(j)$	ajuste del tiempo		altura solar		ángulo acimutal				ángulo horizontal de sombra		ángulo vertical de sombra		longitud de sombra horizontal
		dec.	hr.min:seg	fórmula 1	fórmula 2	fórmula 1	fórmula 2	fórmula 3	fórmula 4	fórmula 1	fórmula 2	fórmula 1	fórmula 2	fórmula 1
				$(\alpha-\alpha_1)^2$	$(a-at)^2$	$(\psi-\psi_1)^2$	$(\psi-\psi_2)^2$	$(\psi-\psi_3)^2$	$(\psi-\psi_4)^2$	$(Ahs-ahs)^2$	$(Ahs-az)^2$	$(Avs-avs)^2$	$(Avs-ap)^2$	$(Lsv-lsv)^2$
F.1	F.1	36.51	0:36:31	0.0008	0.0008	0.0001	0.0001	0.0001	1801.051	0.0000	0.0006	0.0000	1.7258	0.0000
	F.2	34.66	0:34:40	0.0008	0.0008	0.0001	0.0001	0.0001	1801.051	0.0006	0.0006	1.7258	0.0076	1.8998
	F.3	34.88	0:34:53	0.0008	0.0008	0.0001	0.0001	0.0001	1801.051	0.0006	0.0006	1.7258	0.0076	1.8998
F.1.1	F.1	36.51	0:36:31	0.0354	0.0354	0.3085	0.3085	0.3085	1798.715	0.0000	0.3008	0.0000	1.7349	0.0000
	F.2	34.66	0:34:40	0.0354	0.0354	0.3085	0.3085	0.3085	1798.715	0.3008	3.9966	1.7349	0.0198	3.3167
	F.3	34.88	0:34:53	0.0354	0.0354	0.3085	0.3085	0.3085	1798.715	0.3008	3.9966	1.7349	0.0198	3.3167
F.2	F.1	36.51	0:36:31	0.0193	0.0193	0.2602	0.2602	0.2602	1803.337	0.0000	0.2290	0.0000	1.7267	0.0000
	F.2	34.66	0:34:40	0.0193	0.0193	0.2602	0.2602	0.2602	1803.337	0.2290	0.2290	1.7267	0.0186	15.5329
	F.3	34.88	0:34:53	0.0193	0.0193	0.2602	0.2602	0.2602	1803.337	0.2290	0.2290	1.7267	0.0186	15.5329
F.3	F.1	36.51	0:36:31	0.0093	0.0093	0.1339	0.1339	0.1339	1802.698	0.0000	0.1154	0.0000	1.7255	0.0000
	F.2	34.66	0:34:40	0.0093	0.0093	0.1339	0.1339	0.1339	1802.698	0.1154	0.1154	1.7255	0.0134	10.5092
	F.3	34.88	0:34:53	0.0093	0.0093	0.1339	0.1339	0.1339	1802.698	0.1154	0.1154	1.7255	0.0134	10.5092
F.4	F.1	36.51	0:36:31	0.0024	0.0024	0.0396	0.0396	0.0396	1801.962	0.0000	0.0320	0.0000	1.7251	0.0000
	F.2	34.66	0:34:40	0.0024	0.0024	0.0396	0.0396	0.0396	1801.962	0.0320	0.0320	1.7251	0.0094	5.8368
	F.3	34.88	0:34:53	0.0024	0.0024	0.0396	0.0396	0.0396	1801.962	0.0320	0.0320	1.7251	0.0094	5.8368
F.5	F.1	36.51	0:36:31	0.0064	-0.0064	0.0956	0.0956	0.0956	1802.447	0.0000	0.0813	0.0000	1.7253	0.0000
	F.2	34.66	0:34:40	0.0064	0.0064	0.0956	0.0956	0.0956	1802.447	0.0813	0.0813	1.7253	0.0118	8.7787
	F.3	34.88	0:34:53	0.0064	0.0064	0.0956	0.0956	0.0956	1802.447	0.0813	0.0813	1.7253	0.0118	8.7787
Dato AOAN	F.1	36.51	0:36:31	0.0208	0.0208	0.2791	0.2791	0.2791	1803.418	0.0000	0.2461	0.0000	1.7269	0.0000
	F.2	34.66	0:34:40	0.0208	0.0208	0.2791	0.2791	0.2791	1803.418	0.2461	0.2461	1.7269	0.0194	16.2295
	F.3	34.88	0:34:53	0.0208	0.0208	0.2791	0.2791	0.2791	1803.418	0.2461	0.2461	1.7269	0.0194	16.2295

Es la Fórmula 1, de la Declinación Solar, de acuerdo con Perrin de Brichambaut (con ajustes en los documentos del Dr. Muhlia):

$$\delta(j) = \text{Sen}^{-1}[0.399\text{Sen}(2\pi(j-81)/365.25)]$$

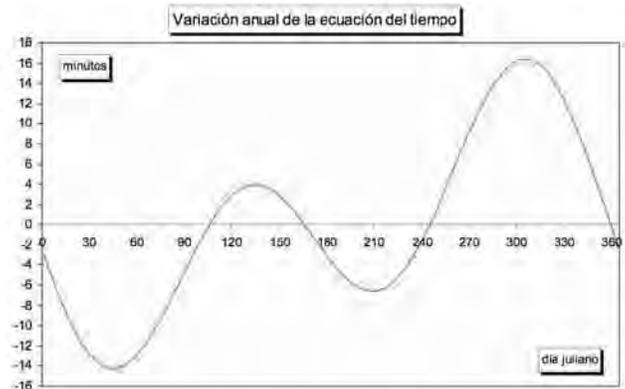
La que menor error medio cuadrático muestra en su comparación con los datos de la Proyección Estereográfica, a comparación de las demás fórmulas.

Aunque la Fórmula 2, de la Declinación Solar, de acuerdo con la Comunidad Económica Europea:

$$\delta(j) = \text{Sen}^{-1}[0.3978\text{Sen}(0.01721j+0.03347\text{Sen}(0.01721j))-1.4096]$$

es la que menor error medio cuadrático muestra en su comparación con los datos de la AOAN por un periodo de seis años. Debido a que en la disciplina de la arquitectura se recurre a los trazos geométricos, como en la Proyección Estereográfica, se empleará la Fórmula 1 de la Declinación Solar para los demás cálculos de iluminancia.

Respecto a la Ecuación del Tiempo se toma la decisión de recurrir la Fórmula 3, ya que se entiende que la Ecuación del tiempo es igual a 0 en cuatro instantes del año: el 15 de abril, 14 de junio, 1 de septiembre y el 25 de diciembre (coinciden aproximadamente con los equinoccios y solsticios). Ya que le día de estudio es el 14 de abril, muy cercano al 15 de abril el valor más exacto de la Ecuación del tiempo debe ser casi 0, como lo presenta la Fórmula 3. (Ver imagen: Ecuación del Tiempo)



Ecuación del Tiempo durante el año. (Aspectos Básicos de la Radiación Solar, < www.tdr.cesca.es/TESIS_UPC/.../TDX.../10Nvm10de17.pdf>

El error medio cuadrático entre las fórmulas de la Altura Solar, el Ángulo Acimutal, el Ángulo Horizontal y Vertical de Sombra y la Longitud de Sombra Horizontal, no presenta grandes diferencias. A excepción de la Fórmula 4, según la IESNA, para establecer el Ángulo Acimutal, suponemos que trabajan con otros parámetros, aún desconocidos para la autora de esta tesis.

La Fórmula 1, del Ángulo de Perfil, según la IESNA y la Fórmula 1, del Ángulo Vertical de Sombra, según el Programa de Cálculo el Mtro. Zeevaert, 09, muestran un error cuadrático mínimo, contemplando que estos conceptos, aunque tienen diferentes nombres, se refieren al mismo valor.

Se decidió seguir trabajando con las fórmulas de la IESNA, para conocer la posición del Sol desde el punto de vista del observador y la incidencia de los rayos solares en la arquitectura, ya que es esta institución la que proporciona fórmulas para pronosticar la iluminancia para un sitio definido. A excepción de la fórmula para conocer el Ángulo Acimutal, en este caso utilizamos la Fórmula 1, de acuerdo a las NCS. A continuación se enlistan las fórmulas seleccionadas:

Fórmula 1, Ángulo Cenital, θ , según las NCS, en radianes:

$$\text{Cos}(\theta) = \text{Sen}(\delta)\text{Sen}(\phi) + \text{Cos}(\delta)\text{Cos}(\phi)\text{Cos}(\omega)$$

Fórmula 2, Altura Solar, a_s , según la IESNA, en radianes:

$$a_s = \text{Sen}^{-1}(\text{Sen}(\phi)\text{Sen}(\delta) - \text{Cos}(\phi)\text{Cos}(\delta)\text{Cos}(\pi t/12))$$

Fórmula 1, Ángulo Acimutal, ψ , de acuerdo a las NCS, en radianes :

$$\text{Sen}(\psi) = \text{Cos}(\delta)\text{Sen}(\omega) / \text{Sen}(\theta)$$

$$\psi = \text{Sen}^{-1}(\text{Cos}(\delta)\text{Sen}(\omega) / \text{Sen}(\theta))$$

Se aplicó lo siguiente:

3 luz natural

$\psi = 180 - \psi$ (en grados) para cuando el Sol esta en la orientación Nor-Este y

$\psi = -180 + \psi$ (en grados) para cuando el Sol esta en la orientación Nor-Oeste

Fórmula 1, Acimut de la Superficie al Sol, a_z , según la IESNA, en radianes:

$$a_z = a_s - a_e$$

En donde:

a_s , es el ángulo acimutal del sol en radianes.

a_e , es el acimut de la superficie, en radianes.

Fórmula 1, Ángulo Incidente, a_i , según la IESNA en radianes:

$$a_i = \text{Cos}^{-1}(\text{Cos}(a_s)\text{Cos}(a_e))$$

Fórmula 1, Ángulo de Perfil, a_p , de acuerdo a la IESNA en radianes:

$$a_p = \text{Tan}^{-1}((\text{Sen}(a_s) / \text{Cos}(a_e)))$$

El Ángulo de Perfil equivale al Ángulo Vertical de Sombra.

Fórmula 1, Longitud de Sombra Vertical, L_{sv} , de acuerdo al Programa de Cálculo del Dr. Muhlia, 06, en metros lineales:

$$L_{sv} = H_e / \text{Tan}(\alpha)$$

En donde:"

H_e , es la altura del edificio.

Tabla 9. con los datos de la Proyección Estereográfica y Datos de las fórmulas matemáticas, ya seleccionadas

Tsv	altura solar		ángulo acimutal		ángulo horizontal de sombra		ángulo vertical de sombra		longitud de sombra vertical	
Tsv	α	at	ψ	ψ	Ahs	az	Avs	avs	lsv	Lsv
tiempo solar verdadero	p.e.: altura solar	altura solar	p.e.: ángulo acimutal	ángulo acimutal	p.e.: ángulo horizontal de sombra	ángulo horizontal de sombra	p.e.: ángulo vertical de sombra	ángulo vertical de sombra	longitud de sombra vertical	p.e.: longitud de sombra vertical
	°	°	°	°	°	°	°	°	m	m
6.00	3.10	3.05	98.69	98.69	16.94	16.93	3.2	3.05	197.13	200.50
7.00	17.15	17.11	93.96	93.95	12.21	12.19	17.5	17.15	34.14	34.37
8.00	31.27	31.24	89.11	89.11	7.36	7.35	31.5	31.57	17.32	17.49
9.00	45.36	45.35	83.36	83.35	1.61	1.59	45.4	46.33	10.38	10.51
10.00	59.26	59.25	74.87	74.86	-6.85	-6.90	59.4	61.36	6.25	6.31
11.00	72.26	72.25	56.96	56.93	-24.80	-24.83	73.8	76.48	3.36	3.41
12.00	79.79	79.77	0.00	0.00	-81.75	-81.76	88.3	88.52	1.90	0.55
13.00	72.26	72.25	-56.95	-56.93	No hay incidencia de rayos solares en el espacio con fachada al Oriente					
14.00	59.26	59.25	-74.87	-74.86						
15.00	45.36	45.35	-83.36	-83.35						
16.00	31.27	31.24	-89.11	-89.11						
17.00	17.15	17.11	-93.95	-93.95						
18.00	3.10	3.05	-98.69	-98.69						

FLUJOS DE ENERGÍA DE RADIACIÓN: IRRADIANCIA TOTAL DIARIA ASTRONÓMICA Y SU COMPORTAMIENTO FUERA DE LA ATMÓSFERA

Para el día de estudio y para el caso de estudio ubicado en el Centro Histórico de la Ciudad de México, los valores de la Irradiación Total Diaria Astronómica, contemplando que la Constante Solar es de 1367 W/m², son los siguientes:

Tabla 10. con los resultados de la irradiación total diaria para un sitio y día de estudio, con la duración del día astronómico, con las diferentes fórmulas de la Declinación Solar, para la latitud de 19.43°

$\delta(j)$	j	$\delta(j)$	ω	Da	Fcd(j)	$I_0(\lambda)$	Q(j)
declinación	día juliano	declinación en radianes	ángulo horario a la salida y puesta del Sol	duración del día astronómico	fórmula 1 corrección de la distancia media Tierra-Sol	constante solar a la distancia media Tierra-Sol	irradiancia total diaria astronómica
descripción	n	rad	rad	dec.		W/m ²	MJ/m ²
FÓRMULA 1	105	0.16	1.63	12.44	0.99	1367	38.50
FÓRMULA 1.1	105	0.15	1.63	12.42	0.99	1367	38.40
FÓRMULA 2	105	0.17	1.63	12.45	0.99	1367	38.58
FÓRMULA 3	105	0.16	1.63	12.45	0.99	1367	38.56
FÓRMULA 4	105	0.16	1.63	12.44	0.99	1367	38.53
FÓRMULA 5	105	0.16	1.63	12.45	0.99	1367	38.55
DATO AOAN	105	0.17	1.63	12.45	0.99	1367	38.58

Se puede observar como la diferencia de valores de la irradiancia total diaria, respecto de las diferentes fórmulas, varía muy poco. Sin embargo ya habíamos establecido trabajar con la Fórmula 1 de la Declinación Solar, de acuerdo con Perrin de Brichambaut (con ajustes en los documentos del Dr. Muhlia). De esta manera tenemos que la irradiancia total diaria para el día y sitio de estudio es 38.50 MJ/m², lo que equivale a 10694 WH/m², si hacemos una equivalencia, según en el SI (Sistema Internacional de Unidades), en donde 1000 WH/m² = 3.6 MJ/m².

El comportamiento de la irradiancia fuera de la atmósfera y en su caso a través de una atmósfera de aire seco y limpio, depende de la Latitud del Lugar, de la Constante Solar, de la Corrección de la Distancia Media Tierra-Sol, de la Declinación Solar y del Ángulo Horario a partir del Tiempo Solar Verdadero.

Tabla 11. que muestra el comportamiento de la irradiancia en el "tope" de la atmósfera a cada hora del Tiempo Solar Verdadero y Hora Local, con las fórmulas de declinación y Ecuación del Tiempo ya seleccionadas.

Tsv	Ho	ω		i
tiempo solar verdadero	hora local	ángulo horario		comportamiento de la irradiancia en el "tope" de la atmósfera
hrs dec.	hrs:min	rad	°	$I_0 \cdot \cos Z(t) / R(J)$ W/m ²
6.00	06:34 AM	1.57	90.00	73.33
7.00	07:34 AM	1.31	75.00	405.25
8.00	08:34 AM	1.05	60.00	714.55
9.00	09:34 AM	0.79	45.00	980.16
10.00	10:34 AM	0.52	30.00	1183.96
11.00	11:34 AM	0.26	15.00	1312.08
12.00	12:34 PM	0.00	0.00	1355.77
13.00	01:34 PM	-0.26	-15.00	1312.08
14.00	02:34 PM	-0.52	-30.00	1183.96
15.00	03:34 PM	-0.79	-45.00	980.16
16.00	04:34 PM	-1.05	-60.00	714.55
17.00	05:34 PM	-1.31	-75.00	405.25
18.00	06:34 PM	-1.57	-90.00	73.33

CONCLUSIONES

Es de suma importancia entender todos los valores que afectan la geometría solar, ya que el mínimo error u omisión de un valor podría resultar en un falso pronóstico en la posición del Sol, desde el punto de vista del observador, y por ende en la incidencia de los rayos solares en la arquitectura, en los flujos de energía de radiación y en el pronóstico de la luz natural disponible en un sitio de estudio. También es importante conocer con exactitud los valores geográficos del sitio de estudio.

La variabilidad de los resultados entre las diferentes fórmulas de la Declinación Solar con respecto a los datos del AOAN, es de puntos decimales, lo cual no es significativo para efectos de la posición del Sol desde el punto de vista del observador, en específico para la disciplina de la arquitectura, ya que esta busca conocer la trayectoria del sol y los efectos que puede tener esta en los espacios urbanos y arquitectónicos. La variabilidad, en puntos decimales, no es determinante en esta búsqueda. Debido a que en el diseño arquitectónico generalmente se trabaja con programas de CAD, la fórmula seleccionada fue la Fórmula 1, de la Declinación Solar. Esta fórmula del investigador Perrin de Brichambaut con los ajustes presentes en los documentos del Dr. Muhlia, se seleccionó por representar el menor error cuadrático en comparación con los datos de la Proyección Estereográfica, aún cuando la fórmula de la Comunidad Económica Europea fue la que menor error cuadrático presentaba en comparación con el dato del AOAN.

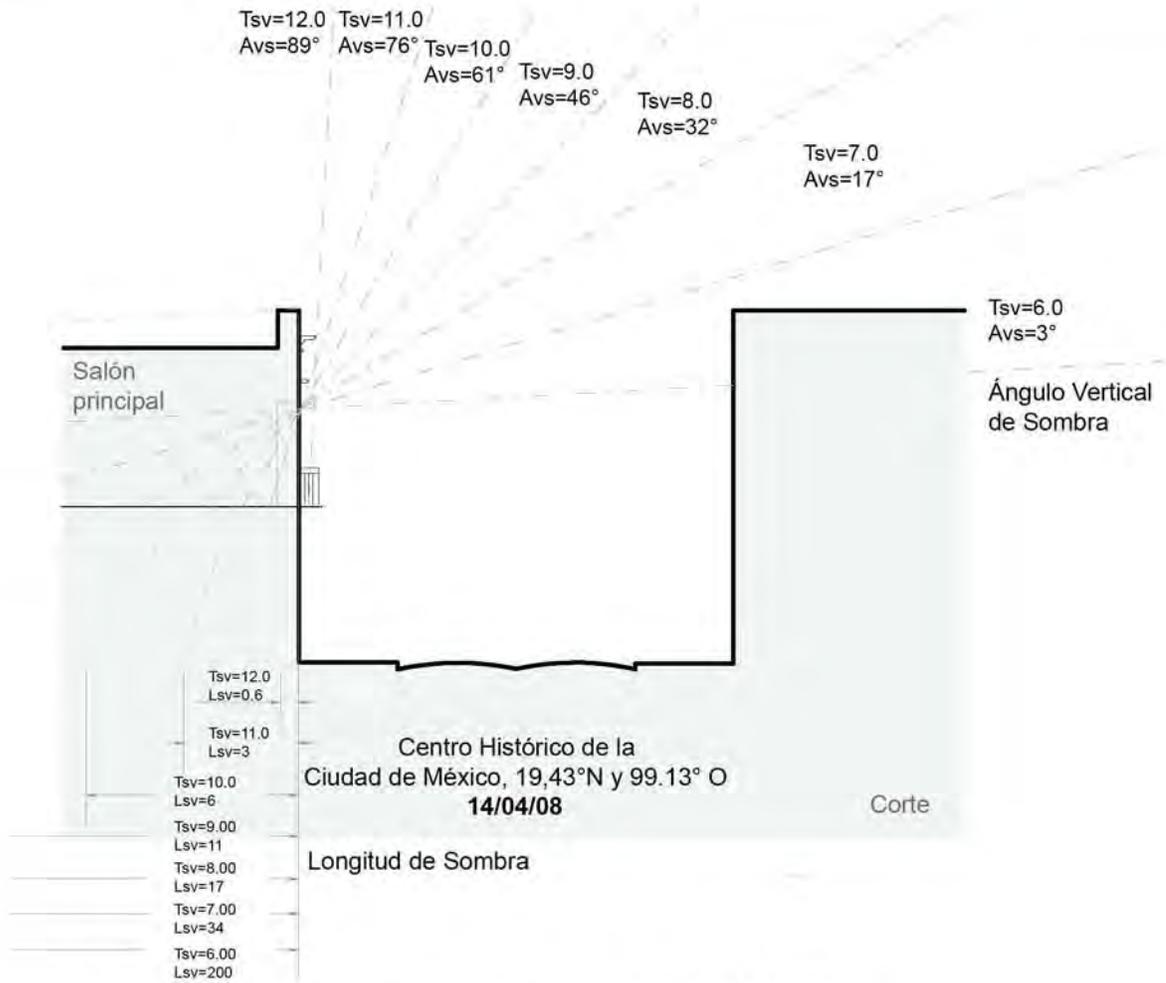
Las fórmulas de la Ecuación del Tiempo estudiadas presentan diferencias significativas, sin embargo al aplicar este valor para obtener la Hora Oficial o Local, la diferencia es de máximo 2 minutos, lo cual podría ser significativo para varias especialidades, pero en el caso de la iluminación natural en la arquitectura, en donde los valores lumínicos varían en instantes, no lo es. La fórmula seleccionada por su precisión (según el día de estudio, 14 de abril de 2008, cercano al 15 de abril, en donde la Ecuación del Tiempo es igual a 0) es la Fórmula 3 según Dogniaux y Page.

Con respecto a la Proyección Estereográfica, esta tiene que ser trazada con mucha exactitud para que los valores que se obtengan de ésta, como lo son: la Altura Solar, el Ángulo Acimutal, el Ángulo Vertical y Horizontal de Sombra y la Longitud de Sombra Vertical sean precisos.

Las diferencias que presentan las diferentes fórmulas, como la Altura Solar, el Ángulo Acimutal, el Ángulo Horizontal y Vertical de Sombra y la Longitud de Sombra Horizontal, no son muy significativas. Estas varían máximo de 1 a 2 unidades y en su mayoría por puntos decimales, aún con las diferentes fórmulas de la Declinación Solar. A excepción de la fórmula del Ángulo Acimutal de la IESNA (es posible que esta institución trabaje con parámetros distintos, lo cuales aún no son descifrables por la autora de esta tesis) en este caso utilizamos la Fórmula 1, de acuerdo a las NCS. Para los demás parámetros se seleccionaron las fórmulas de la IESNA, ya que es esta institución la que proporciona fórmulas para pronosticar la iluminancia para un sitio definido.

Si bien es importante conocer los valores de la geometría solar, más importante aún es saberlos aplicar en la arquitectura. Todo proyecto arquitectónico debería de estar acompañado por un análisis de la geometría solar del sitio de interés, el cual refleje cómo afecta o influye al proyecto urbano y arquitectónico.

Es indispensable conocer la salida y puesta del sol, lo que por ende permite saber la duración del día astronómico. Con este dato sabremos con cuantas horas de luz de día contamos para poderlas aprovechar en los espacios habitables.



Factores geográficos, astronómicos y geométricos, para el día 14 de abril de 2008

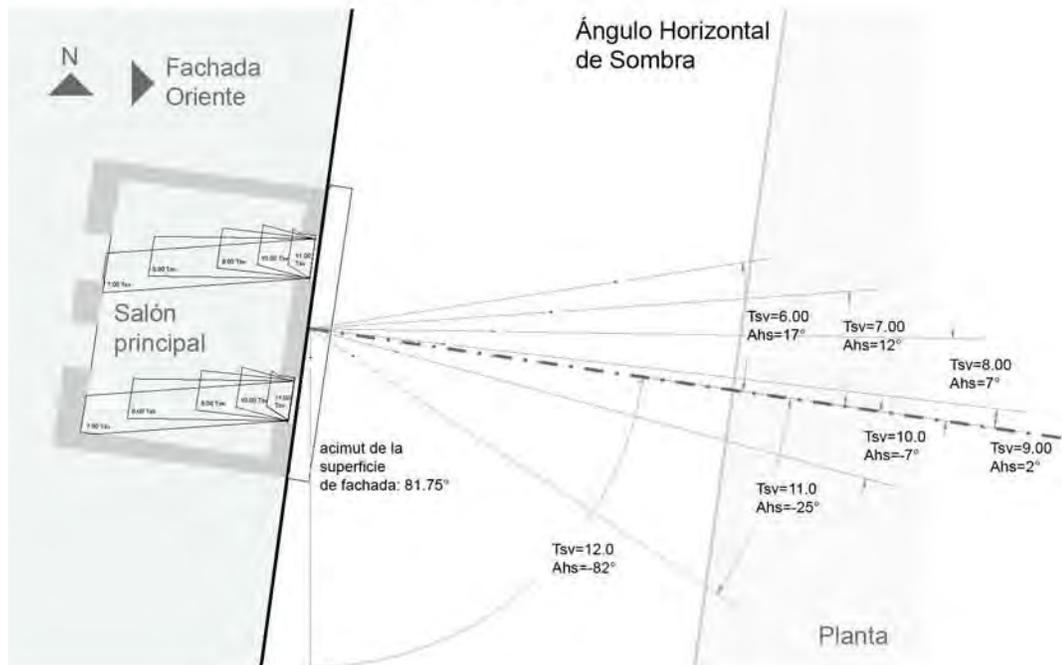


Tabla 12 resumen

información arquitectónica				
$l(fh)_n=$	elemento vertical, inclinación horizontal respecto del norte	98.24		°
$l(fh)_s=$	elemento vertical, inclinación horizontal respecto al sur, fachada con orientación nor-este y sur-este	81.76		°
$He=$	altura del edificio de estudio	10.51		m
coordenadas geográficas				
$f=$	latitud geográfica del lugar en grados, minutos y segundos	19	25'	59''
$f=$	latitud geográfica del lugar en grados decimales	19.43	°	N
$l=$	longitud geográfica del lugar en grados, minutos y segundos	99	7'	58''
$l=$	longitud geográfica del lugar en grados decimales	99.13	°	O
$M_s=$	meridiano oficial	90	°	
fecha				
$F=$	fecha, día, mes y año	4/14/08		
$J=$	día juliano	105		
declinación solar y ecuación del tiempo				
$d(j)=$	declinación en grados, Fórmula 1	9.206		°
$e(j)=$	ecuación del tiempo, Fórmula 3	-0.0002		dec
ajuste del tiempo en minutos				
$A(t)=$	ajuste del tiempo en minutos	34.88		dec
"salida" y "puesta" del sol				
$w=$	ángulo horario salida y puesta de sol en grados	93.28		°
$T_{sv}, T_s=$	amanecer, salida del sol, en tiempo solar verdadero	05:46:53		
$H_s, T_s=$	amanecer, salida del sol, en hora local	06:21 AM		
$T_{sp}, T_p=$	atardecer, puesta de sol, en tiempo solar verdadero	18:13:07		
$H_s, T_p=$	atardecer, puesta de sol, en hora local	06:48 PM		
$Da=$	duración del día astronómico	12.44		dec
culminación del sol				
$H_{culm}=$	hora local a la que el sol culmina con ajuste del tiempo	12:35 PM		
flujos de energía de radiación				
$I_s=$	constante solar a la distancia media tierra-sol	1367		W/m ²
$F_{cd}(j)=$	corrección de la distancia media tierra-sol, según el día juliano	0.99		
$Q(j)=$	irradiación total diaria astronómica, según el día juliano	38.50		MJ/m ²

Tabla 13 resumen: Posición del Sol, desde el punto de vista del observador e incidencia de los rayos solares en la arquitectura.

Tiempo		ω	θ	a_s	ψ	a_z	a_p	a	Lsv
Tsv	H_s	rad	°	°	°	°	°	°	m
6.00	06:34 AM	1.6	86.95	3.05	98.69	16.93	3.19	17.19	200.5
7.00	07:34 AM	1.3	72.89	17.11	93.95	12.19	17.48	20.90	34.37
8.00	08:34 AM	1.1	58.76	31.24	89.11	7.35	31.45	32.01	17.49
9.00	09:34 AM	0.8	44.65	45.35	83.35	1.59	45.37	45.38	10.51
10.00	10:34 AM	0.5	30.75	59.25	74.86	-6.90	59.43	59.50	6.31
11.00	11:34 AM	0.3	17.75	72.25	56.93	-24.83	73.80	73.94	3.41
12.00	12:34 PM	0.0	10.23	79.77	0.00	-81.76	88.52	88.54	0.55
13.00	01:34 PM	-0.3	17.75	72.25	-56.93				
14.00	02:34 PM	-0.5	30.75	59.25	-74.86				
15.00	03:34 PM	-0.8	44.65	45.35	-83.35				
16.00	04:34 PM	-1.0	58.76	31.24	-89.11				
17.00	05:34 PM	-1.3	72.89	17.11	-93.95				
18.00	06:34 PM	-1.6	86.95	3.05	-98.69				

No hay incidencia de rayos solares en el espacio con fachada al Oriente

Tsv=12 La altura solar máxima a las 12.00 Tsv o a las 12:34 PM es de 79.77° debido a la trayectoria solar para el día 14 de abril de 2008 en la latitud del Centro Histórico de la Ciudad de México. Son los días 16 de mayo y 25 de julio (que no sean años bisiestos) en donde el Sol llega al cenit a 90° a las 12.00 Tsv en la Ciudad de México (Muhlía, 06).

LUZ NATURAL DISPONIBLE

INTRODUCCIÓN

Existen fórmulas matemáticas con las cuales podemos predecir la iluminación natural para un sitio en específico. La IESNA presenta una serie de fórmulas matemáticas para los diferentes componentes de la luz natural como lo son la luz directa y la luz difusa del cielo. Estas fórmulas contemplan las tres condiciones de cielo: despejado, parcialmente nublado y nublado. El objetivo de este capítulo es entender las fórmulas matemáticas establecidas por la IESNA para poder aplicarlas y, posteriormente, compararlas con datos medidos en el sitio el día de estudio, el cual presenta un cielo parcialmente nublado, según se estableció en capítulos pasados.

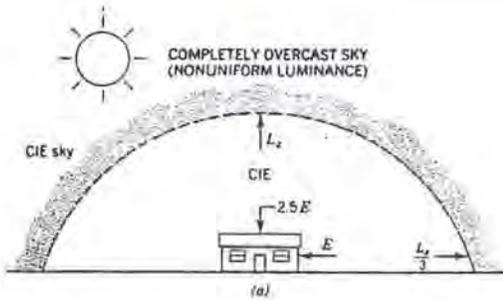
ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

LUZ NATURAL

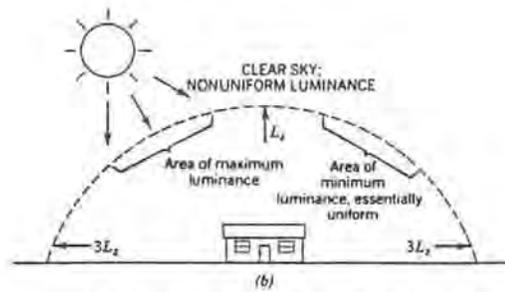
El Sol actúa como una fuente de luz que con sus cambios diarios y estacionales afecta la variabilidad de la luz natural disponible para un punto de interés. Los ángulos de incidencia del Sol son determinantes en los valores de iluminancia que llegan a un cierto punto geográfico. La geometría solar es fundamental para conocer la posición de esta fuente de luz.

Cuando la luz del Sol atraviesa la atmósfera, una porción de esta es esparcida por polvo, vapor de agua y otras partículas suspendidas. Este esparcimiento actúa junto con las nubes, lo que produce luminancia del cielo. Los cielos son divididos en tres categorías: (1) despejado, (2) parcialmente nublado y (3) nublado. Cuando el cielo no está totalmente nublado, la distribución de la luminancia del cielo puede cambiar rápido e intensificarse, ya que el Sol puede estar cubierto, parcialmente cubierto o totalmente descubierto (IESNA, 00). Por luminancia entendemos la intensidad luminosa de cualquier superficie en una dirección dada por unidad de área proyectada de la superficie como se ve desde esa dirección (por ejemplo candelas por metros cuadrados) (IESNA Daylighting Committee, 99), aunque un metro cuadrado de cielo no se puede visualizar, la luminancia del cielo es dada en cd/m^2 (candelas por metro cuadrado) (Tregenza y Loe, 98).

El cielo completamente nublado tiene una luminancia cenital L_z , que es tres veces la luminancia del horizonte, de acuerdo a la formulación de la *Commission Internationale de L'Éclairage* (CIE). Con un cielo como éste, la iluminancia de las superficies horizontales, en exteriores y sin obstáculos (E_h), es aproximadamente $2 \frac{1}{2}$ veces mayor que la de una superficie similar vertical (E_v). Una fórmula ampliamente aceptada para la luminancia del cielo despejado es simplemente una inversión de la distribución de la del cielo nublado, en donde la luminancia del horizonte es tres veces la del cenit. Obviamente, el área alrededor del Sol es más brillante y la zona situada



Luminancia con un cielo nublado, (McGuiness, Stein y Reynolds, 03)



Luminancia con un cielo despejado, (McGuiness, Stein y Reynolds, 03)

frente al Sol es la más oscura (McGuiness, Stein y Reynolds, 03). (Ver: Luminancia con un cielo nublado y luminancia con un cielo despejado)

La luz reflejada del suelo también juega un papel importante ya que esta representa generalmente del 10 al 15% del total de la luz natural que llega a una ventana. Frecuentemente excede este porcentaje con colores claros de suelo como con arena y nieve. Estos porcentajes también cambian dependiendo del tipo de cielo (IESNA, 00).

DISPONIBILIDAD DE LA LUZ NATURAL

El concepto Disponibilidad de Luz Natural se refiere a la cantidad de luz del Sol y del cielo para una ubicación, tiempo, fecha y condición de cielo, específicas. En los últimos 60 años, mediciones de iluminancia con luz natural por investigadores en diferentes ubicaciones en todo el mundo han resultado en valores promedios muy similares. Las ecuaciones para estimar la iluminancia con luz natural disponible son determinadas con estos valores promedio (IESNA, 00).

Los datos de la Disponibilidad de Luz Natural y las ecuaciones derivadas de estos no expresan valores instantáneos de iluminancia y luminancia, éstas dan valores promedio. En otras palabras, las ecuaciones proporcionan un mejor ajuste a la información promedio a lo largo del tiempo y a través de sesiones de mediciones. Por esta razón, mediciones instantáneas de iluminancia y luminancia pueden diferir ampliamente de las determinadas por métodos de cálculo, basados en disponibilidad de luz de día. Es común que los valores medidos sean más del doble o menos de la mitad que de los valores promedio calculados (IESNA, 00).

El cálculo de la Disponibilidad de Luz Natural in situ comienza con la determinación de la posición del Sol en el cielo y desde el punto de vista del observador, que es una función de la latitud, la longitud del sitio, la Declinación Solar, del día del año y del tiempo local, el cual es convertido a Tiempo Solar Verdadero. Posteriormente, para una condición de cielo en particular, las ecuaciones de Disponibilidad de Luz Natural calculan la luz natural disponible (IESNA, 00).

ILUMINANCIA A LA DISTANCIA MEDIA TIERRA-SOL Y SU COMPORTAMIENTO FUERA DE LA ATMÓSFERA

Con el propósito de llevar a cabo los cálculos de luz natural, se considera que el Sol es una fuente puntual que provee una iluminancia constante en un punto sobre una superficie que es normal a la dirección del Sol y cerca de la órbita de la Tierra. La Constante Solar de la Iluminancia es el total de la iluminancia solar con incidencia normal sobre una superficie en el espacio a la distancia media Tierra-Sol (IESNA, 00). Según la IESNA, se obtiene de la siguiente manera:

$$E_{sc} = K_m \int_{380}^{770} G_{\lambda} V_{\lambda} d\lambda$$

En donde:

E_{sc} , es la Constante Solar de la Iluminancia en klx.

K_m , es la eficacia luminosa espectral del flujo solar radiante en lm/W.

G_{λ} , es la irradiancia solar espectral a la longitud de onda λ , en W.

V_{λ} , es la visión fotópica de la eficacia luminosa espectral en longitud de onda λ .

λ , es la longitud de onda en nm (para la visión fotópica de 380 hasta 770nm (nanómetros))

Los siguientes son parámetros importantes, basados en estándares vigentes, de acuerdo con la IESNA.

Constante Solar de la Iluminancia = 128 klx

Eficacia Luminosa Espectral = 94.2 lm/W

Para calcular la luz del Sol que llega al suelo, se tienen que tomar en cuenta dos condiciones: la distancia que varía de la Tierra al Sol, causada por la órbita elíptica de la Tierra y el efecto de la atmósfera de la Tierra. La Iluminancia Solar Extraterrestre, corregida por la órbita elíptica de la Tierra, según la IESNA, es la siguiente:

$$E_{xt} = E_{sc} (1 + 0.034 \cos(2\pi(j-2)/365))$$

En donde:

E_{xt} , es Iluminancia Solar Extraterrestre en klux.

E_{sc} , es Constante Solar de la Iluminancia en klux.

Con la misma idea de proyectar el comportamiento de la irradiancia fuera de la atmósfera, a lo largo del día para un punto geográfico específico, se aplicó la misma fórmula matemática a el comportamiento de la iluminancia fuera de la atmósfera con la siguiente ecuación:

Fórmula 1, comportamiento de la iluminancia fuera de la atmósfera, i , en klux:

$$i = E_{sc} \cos(\theta) / R(j)$$

En donde:

i , es el comportamiento de la iluminancia fuera de la atmósfera en klux

E_{sc} , es Constante Solar de la Iluminancia en klux.

$\cos(\theta) = \text{Sen}(\delta)\text{Sen}(\phi) + \text{Cos}(\delta)\text{Cos}(\phi)\text{Cos}(\omega_s)$, en radianes

En donde:

ϕ , es la latitud del sitio de estudio.

δ , es la declinación del sitio de estudio.

ω_s , es el ángulo horario según el tiempo solar verdadero.

$R(j)$ o Fcd , es la corrección o factor de corrección de la distancia media Tierra-Sol.

Tabla 1. con los parámetros de la iluminancia y las fórmulas aplicadas.

iluminación			
Esc=	constante solar de la iluminancia a la distancia media Tierra-Sol, (IESNA, 98)	128	klx
Km=	eficacia luminosa solar, (IESNA, 98)	94.20	lm/W
Ext=	iluminancia solar extraterrestre con corrección de la órbita elíptica, (IESNA, 98)	127.13	klx

ILUMINANCIA DIRECTA DEL SOL

La Iluminancia Normal Directa al nivel del mar (E_{dn}) corregida por los efectos de atenuación de la atmósfera, según la IESNA, es dada por,

$$E_{dn} = E_{xt} e^{-cm}$$

En donde:

E_{dn} , es la iluminancia normal directa al nivel del mar en klx.

E_{xt} , es la iluminancia solar extraterrestre en klux.

c , es el coeficiente de extinción atmosférica, según la tabla 2. de las constantes de la disponibilidad de luz natural.

m , es la masa de aire óptica, sin dimensión.

Los valores para el coeficiente de extinción atmosférica varían con la condición de cielo (ver tabla 2.

Constantes de la Disponibilidad de Luz Natural)

La ecuación más sencilla y más usada que representa la masa de aire óptica, según la IESNA, es la siguiente:

$$m = 1 / \text{Sen}(a_s)$$

En donde:

a_s , es la altura solar en radianes.

La Luz Directa del Sol en un plano horizontal es expresada, según la IESNA, por la siguiente ecuación:

$$E_{dh} = E_{dn} \text{Sen}(a_s)$$

En donde:

E_{dh} , es luz directa del Sol en klx.

E_{dn} , es la iluminancia normal directa al nivel del mar en klx.

a_s , es la altura solar en radianes.

La Luz Directa del Sol en una Elevación Vertical es expresada, según la IESNA, por:

$$E_{dv} = E_{dn} \text{Cos}(a_p)$$

En donde:

E_{dv} , es la luz directa del Sol en una elevación vertical en klx.

E_{dn} , es la iluminancia normal directa al nivel del mar en klx.

a_p , es el ángulo de incidencia en radianes.

ILUMINANCIA PRODUCIDA POR EL CIELO (LUZ DIFUSA)

Como se mencionó en capítulos anteriores, para clasificar los tipos de cielo se aplica un método llamado Razón de Cielo, en donde se divide la radiación difusa entre la radiación global, obteniendo una relación no mayor del valor 1. De esta manera si la Razón de Cielo es menor o igual a 0.3 se le clasifica al cielo como despejado, si es mayor a 0.3 y menor a 0.8 se le clasifica como cielo parcialmente nublado y si el valor es mayor a 0.8 hasta 1 se le caracteriza como cielo nublado (IESNA, 00). Con esta clasificación es posible calcular la iluminancia producida por el cielo.

La Iluminancia Horizontal Producida por el Cielo puede ser expresada, según la IESNA, como función de la altitud solar:

$$E_{kh} = A + B \text{Sen}(a_s)^C$$

En donde:

E_{kh} , es la iluminancia horizontal producida por el cielo en klx.

A , es la iluminancia al amanecer y al atardecer en klx.

B , es el coeficiente de la iluminancia con altitud solar en klx.

C , es el exponente de la iluminancia con altitud solar en klx.

a_s , es la altura solar en radianes.

La forma de la ecuación es la misma para todos los tres tipos de cielo, con diferentes constantes para las diferentes condiciones de cielo las que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2. Constantes de la Disponibilidad de Luz Natural

condiciones del cielo	coeficiente de extinción atmosférica	iluminancia al amanecer y atardecer	coeficiente de la iluminancia en la altitud solar	exponente de la iluminancia en la altitud solar
	c	A klx	B klx	C
cielo despejado	0.21	0.80	15.50	0.50
cielo parcialmente nublado	0.80	0.30	45.00	1.00
cielo nublado	0.00	0.30	21.00	1.00

LUMINANCIA DEL CIELO

Una ecuación diferente se usa para representar la distribución promedio de la luminancia de cada una de las tres condiciones de cielo. La luminancia del cielo es una función de la distribución de la luminancia con respecto a la luminancia del cenit y el valor absoluto de la luminancia del cenit. En el método aquí usado, un factor de luminancia cenital, es empleado para calcular la luminancia del cenit de la iluminancia horizontal del cielo (IESNA, 00), según IESNA:

$$L_z = E_{kh} ZL$$

En donde:

L_z , es la luminancia del cenit en kcd/m².

E_{kh} , es la iluminancia horizontal producida por el cielo en klx.

ZL, es factor de luminancia cenital a la misma altitud solar que E_{kh} , en kcd/(m²klx).

En la tabla de las constantes de la luminancia cenital del Sol se encuentran los valores para el factor de luminancia cenital.

ANÁLISIS, COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS DATOS DE ILUMINANCIA OBTENIDOS POR LAS FÓRMULAS DE LA IESNA Y LOS VALORES MEDIDOS EN EL SITIO DE ESTUDIO BAJO CONDICIONES DE CIELO REAL.

Se llevaron a cabo los cálculos de la iluminancia de acuerdo a lo mencionado anteriormente, en relación a las fórmulas de la geometría solar ya seleccionadas en capítulos anteriores.

Tabla 3. Constantes de la luminancia cenital del cielo

altitud solar	cielo despejado	cielo parcialmente nublado
°	ZL	ZL
90	1.034	0.637
85	0.825	0.567
80	0.664	0.501
75	0.541	0.457
70	0.445	0.413
65	0.371	0.375
60	0.314	0.343
55	0.269	0.315
50	0.234	0.292
45	0.206	0.272
40	0.185	0.255
35	0.169	0.241
30	0.156	0.230
25	0.148	0.221
20	0.142	0.214
15	0.139	0.209
10	0.139	0.205
5	0.140	0.202
0	0.144	0.201
cielo nublado	0.409	para cualquier altitud solar

Tabla 4. con resultados de iluminancia y luminancia en relación a la posición del Sol, Tiempo Solar Verdadero y Hora Oficial, continúa...

Tsv	Ho	ω	θ	at	ψ	az	ap	ai	lsv	lsh
tiempo solar verdadero	hora local	ángulo horario	ángulo cenital	altura solar	ángulo acimutal con altura solar	ángulo horizontal de sombra	ángulo vertical de sombra	ángulo incidente en el elemento vertical	longitud de sombra vertical	longitud de sombra horizontal
hrs	hr:min	rad	°	°	°	°	°	°	m	m
6.00	06:34 AM	1.57	86.95	3.05	98.69	16.93	3.19	17.19	197.13	-29.78
7.00	07:34 AM	1.31	72.89	17.11	93.95	12.19	17.48	20.90	34.14	-2.35
8.00	08:34 AM	1.05	58.76	31.24	89.11	7.35	31.45	32.01	17.32	0.27
9.00	09:34 AM	0.79	44.65	45.35	83.35	1.59	45.37	45.38	10.38	1.20
10.00	10:34 AM	0.52	30.75	59.25	74.86	-6.90	59.43	59.50	6.25	1.63
11.00	11:34 AM	0.26	17.75	72.25	56.93	-24.83	73.80	73.94	3.36	1.84
12.00	12:34 PM	0.00	10.23	79.77	0.00	-81.76	88.52	88.54	1.90	1.90
13.00	01:34 PM	-0.26	17.75	72.25	-56.93	-138.69	76.48	103.24	3.36	1.84
14.00	02:34 PM	-0.52	30.75	59.25	-74.86	-156.62	61.36	117.99	6.25	1.63
15.00	03:34 PM	-0.79	44.65	45.35	-83.35	-165.11	46.33	132.78	10.38	1.20
16.00	04:34 PM	-1.05	58.76	31.24	-89.11	-170.87	31.57	147.58	17.32	0.27
17.00	05:34 PM	-1.31	72.89	17.11	-93.95	-175.71	17.15	162.38	34.14	-2.35
18.00	06:34 PM	-1.57	86.95	3.05	-98.69	-180.45	3.05	176.92	197.13	-29.78

Tabla 4. con resultados de ILUMINANCIA Y LUMINANCIA EN RELACIÓN A LA POSICIÓN DEL SOL, TIEMPO SOLAR VERDADERO Y HORA OFICIAL

Esta tabla muestra la posición del Sol desde el punto de vista del observador y la incidencia de los rayos solares en el espacio arquitectónico de estudio en relación a la posición del Sol y al tiempo. Con estos datos y con los datos de la Declinación Solar y el Factor de Corrección de la Distancia del Sol a la Tierra se calcula el comportamiento de la iluminancia fuera de la atmósfera y la Disponibilidad de Luz Natural, éstas últimas con las fórmulas determinadas por la IESNA a cada hora del Tiempo Solar Verdadero, desde el amanecer y hasta el atardecer del día 14 de abril de 2008. Los valores de iluminancia, en kilolux, fueron calculados para un cielo despejado, parcialmente nublado y nublado. La iluminancia horizontal global para un cielo despejado y parcialmente nublado se obtuvo por la suma de los valores obtenidos por las fórmulas de la IESNA de la iluminancia horizontal directa y difusa. La tabla también muestra los resultados del cálculo de la luminancia en el cenit para un cielo despejado, parcialmente nublado y nublado. Por último, la tabla también muestra la iluminancia vertical directa sobre la superficie de la fachada del edificio de estudio al Oriente.

Continúa... Tabla 4. con resultados de iluminancia y luminancia en relación a la posición del Sol, Tiempo Solar Verdadero y Hora Oficial.

Tsv	Ho	at	I	m	Edn		Edh		Ekh			Edh+ Ekh		Lz			Edv	
tiempo solar	hora local	altura solar	ilum.	masa de aire optica	iluminancia normal directa a nivel del mar		iluminancia horizontal directa		iluminancia horizontal difusa			iluminancia horizontal global		luminancia en el cent			iluminancia vertical directa	
					C.D.	C.P.	C.D.	C.P.	C.D.	C.P.	C.N.	C.D.	C.P.	C.D.	C.P.	C.D.	C.D.	C.P.
hrs	hr:min	°	klx		klx	klx	klx	klx	klx	klx	klx	klx	klx	kcd/m2	kcd/m2	kcd/m2	klx	klx
6.00	06:34 AM	3.05	6.87	18.79	2.46	0.00	0.13	0.00	4.38	2.70	1.42	4.51	2.70	0.61	0.54	0.58	2.35	0.00
7.00	07:34 AM	17.11	37.95	3.40	62.26	8.38	18.31	2.46	9.21	13.54	6.48	27.52	16.00	1.28	2.83	2.65	58.16	7.83
8.00	08:34 AM	31.24	66.91	1.93	84.80	27.19	43.98	14.10	11.96	23.64	11.19	55.95	37.74	1.87	5.44	4.58	71.91	23.05
9.00	09:34 AM	45.35	91.78	1.41	94.63	41.29	67.33	29.38	13.87	32.32	15.24	81.20	61.70	2.86	8.79	6.23	66.48	29.01
10.00	10:34 AM	59.25	110.86	1.16	99.57	50.11	85.57	43.07	15.17	38.97	18.35	100.74	82.04	4.76	13.37	7.50	50.54	25.44
11.00	11:34 AM	72.25	122.86	1.05	101.97	54.88	97.12	52.27	15.93	43.16	20.30	113.04	95.43	7.09	17.82	8.30	28.21	15.19
12.00	12:34 PM	79.77	126.95	1.02	102.70	56.39	101.07	55.49	16.18	44.59	20.97	117.24	100.08	10.74	22.34	8.58	2.61	1.43
13.00	01:34 PM	72.25	122.86	1.05	101.97	54.88	97.12	52.27	15.93	43.16	20.30	113.04	95.43	7.09	17.82	8.30	0	0
14.00	02:34 PM	59.25	110.86	1.16	99.57	50.11	85.57	43.07	15.17	38.97	18.35	100.74	82.04	4.76	13.37	7.50	0	0
15.00	03:34 PM	45.35	91.78	1.41	94.63	41.29	67.33	29.38	13.87	32.32	15.24	81.20	61.70	2.86	8.79	6.23	0	0
16.00	04:34 PM	31.24	66.91	1.93	84.80	27.19	43.98	14.10	11.96	23.64	11.19	55.95	37.74	1.87	5.44	4.58	0	0
17.00	05:34 PM	17.11	37.95	3.40	62.26	8.38	18.31	2.46	9.21	13.54	6.48	27.52	16.00	1.28	1.88	2.65	0	0
18.00	06:34 PM	3.05	6.87	18.79	2.46	0.00	0.13	0.00	4.38	2.70	1.42	4.51	2.70	0.61	0.54	0.58	0	0
I=	Comportamiento de la iluminancia fuera de la atmósfera y en su caso a través de una atmósfera limpia y seca																	
C.D.	Cielo despejado																	
C.P.	Cielo parcialmente nublado																	
C.N.	Cielo Nublado																	

GRÁFICA: ILUMINANCIA, CALCULADA, MÁS LA ILUMINANCIA FUERA DE LA ATMÓSFERA, 14/04/08

Esta gráfica muestra la Disponibilidad de Luz Natural calculada con las fórmulas determinadas por la IESNA. Esto con el fin de observar las diferencias de la iluminancia global, directa y difusa bajo distintos tipos de cielo (despejado, parcialmente nublado y nublado), así como la iluminancia normal directa y el comportamiento de la iluminancia fuera de la atmósfera, relacionados a la altura solar del día 14 de abril de 2008.

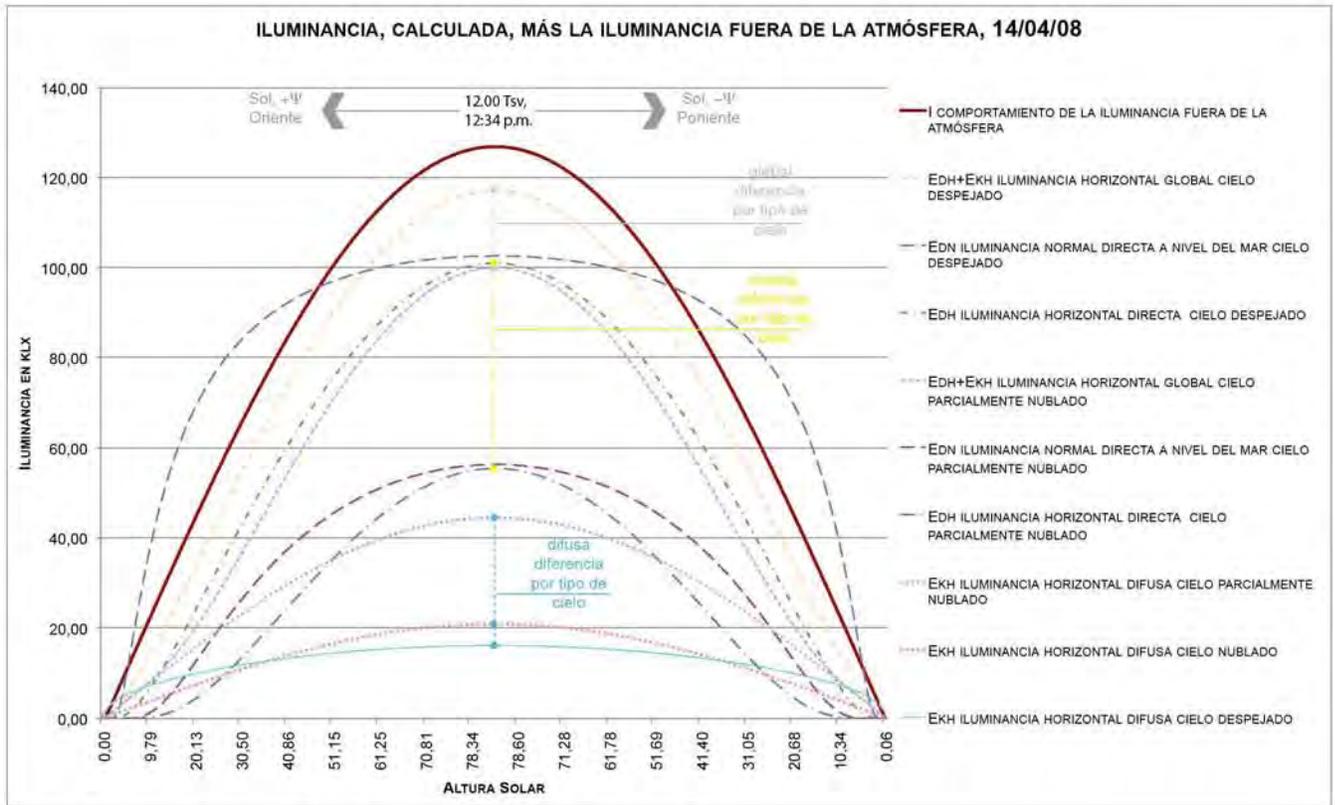
Cuando el Sol está en su punto más alto, con una altura solar de 79.77° grados a las 12.00 del día en Tiempo Solar Verdadero, las diferentes iluminancias alcanzan los siguientes valores máximos: comportamiento de la iluminancia fuera de la atmósfera (127 klux), iluminancia normal directa a nivel del mar con cielo despejado (103 klux), iluminancia horizontal directa con cielo despejado (101 klux), iluminancia horizontal difusa con cielo despejado (16 klux), iluminancia horizontal global con cielo despejado (117 klux), iluminancia normal directa a nivel del mar con cielo parcialmente nublado (56 klux), iluminancia horizontal directa con cielo parcialmente nublado (55 klux), iluminancia horizontal difusa con cielo parcialmente nublado (45 klux), iluminancia horizontal global con cielo parcialmente nublado (100 klux), iluminancia horizontal difusa con cielo nublado (21 klux). (Ver tabla: Tabla 4.1 resumen con resultados de la iluminancia en el momento de la culminación del Sol a las 12 del día en Tiempo Solar Verdadero). La diferencia de la iluminancia global, directa y difusa dentro de los diferentes tipos de cielo se debe a la cantidad y al tipo de nubes. Es interesante observar como con un cielo despejado la iluminancia horizontal difusa alcanza valores máximos de 16 klux, mientras que la iluminancia horizontal difusa de un cielo nublado alcanza valores máximos de 21 klux, superiores a los valores máximos del cielo despejado. Esto se debe a la influencia de las nubes, las cuales funcionan como difusor de la iluminancia directa, elevando la iluminancia difusa. Los valores máximos en cuanto a la iluminancia horizontal difusa los presenta el cielo parcialmente nublado (45 klux), esto se debe en parte a que las nubes del cielo parcialmente nublado son menos densas funcionando como difusor de la iluminancia directa pero dejando pasar más iluminancia directa que un cielo nublado con nubes densas.

Tabla 4.1 resumen con resultados de la iluminancia en el momento de la culminación del Sol a las 12 del día en Tiempo Solar Verdadero

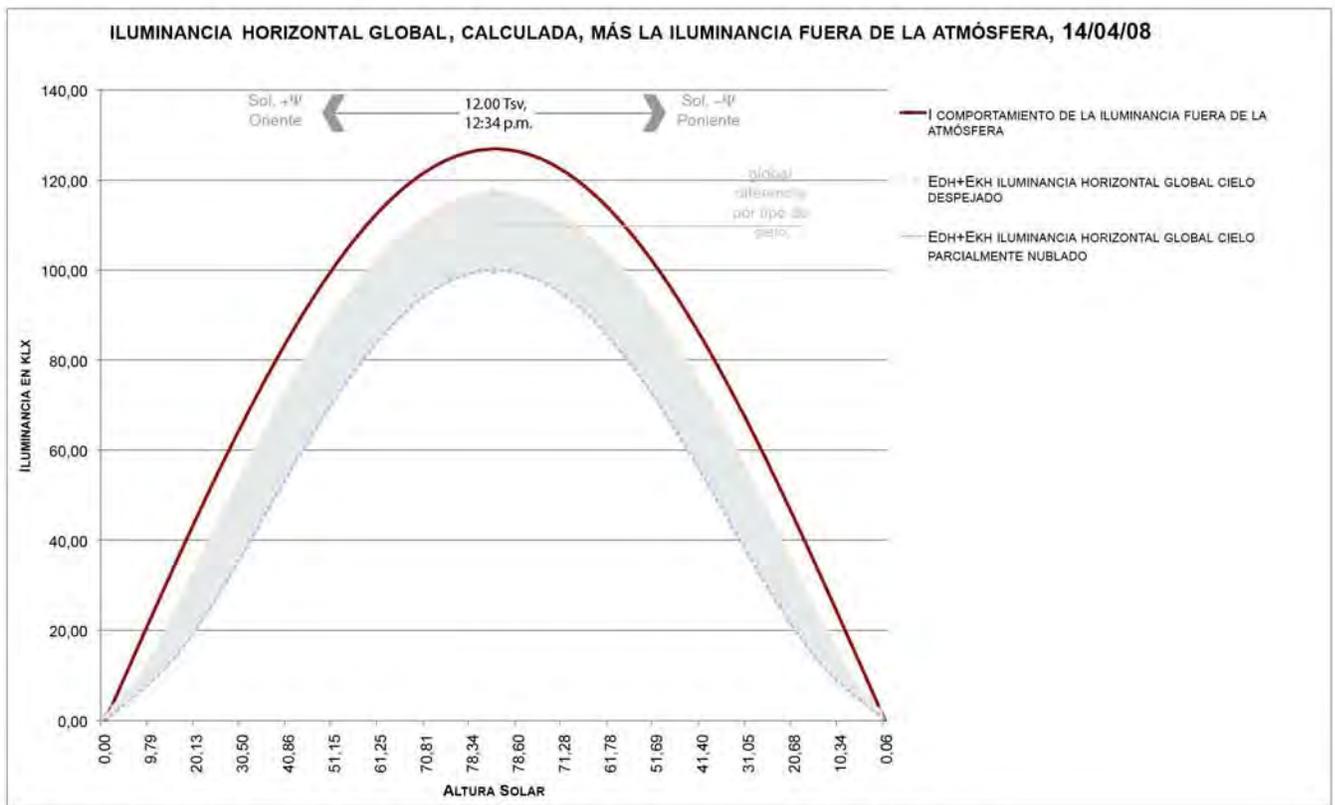
Tsv	Ho	at	I	Edn		Edh		Ekh			Edh+ Ekh	
				iluminancia normal directa a nivel del mar		iluminancia horizontal directa		iluminancia horizontal difusa			iluminancia horizontal global	
				c.d.	c.p.	c.d.	c.p.	c.d.	c.p.	c.n.	c.d.	c.p.
hrs	hr:min	°	klx	klx	klx	klx	klx	klx	klx	klx	klx	klx
12.00	12:34 PM	79.77	127	103	56	101	56	16	45	21	117	100
I=	Comportamiento de la iluminancia fuera de la atmósfera y en su caso a través de una atmósfera limpia y seca											
C.D.	Cielo despejado											
C.P.	Cielo parcialmente nublado											
C.N.	Cielo Nublado											

GRÁFICA: ILUMINANCIA HORIZONTAL GLOBAL, CALCULADA, MÁS LA ILUMINANCIA FUERA DE LA ATMÓSFERA, 14/04/08

La gráfica muestra la iluminancia horizontal global de un cielo despejado a comparación de una iluminancia horizontal global de un cielo parcialmente nublado. En el punto de culminación del Sol a las 12.00 del día en Tiempo



Gráfica: Iluminancia, calculada, más la iluminancia fuera de la atmósfera, 14/04/08



Gráfica: Iluminancia horizontal global, calculada, más la iluminancia fuera de la atmósfera, 14/04/08

Solar Verdadero la iluminancia horizontal global con cielo despejado presenta un valor de 117 klux, mientras que la iluminancia horizontal global con cielo parcialmente nublado presenta un valor de 100 klux. La diferencia en este punto es de 17 klux. (Ver tabla: Tabla 4.1.1 resumen con resultados de las diferencias entre iluminancia en el momento de la culminación del Sol a las 12 del día en Tiempo Solar Verdadero) Esta diferencia es significativa en términos de iluminancia horizontal global tanto en interiores como en exteriores arquitectónicos.

GRÁFICA: ILUMINANCIA HORIZONTAL DIRECTA, CALCULADA, MÁS LA ILUMINANCIA FUERA DE LA ATMÓSFERA, 14/04/08

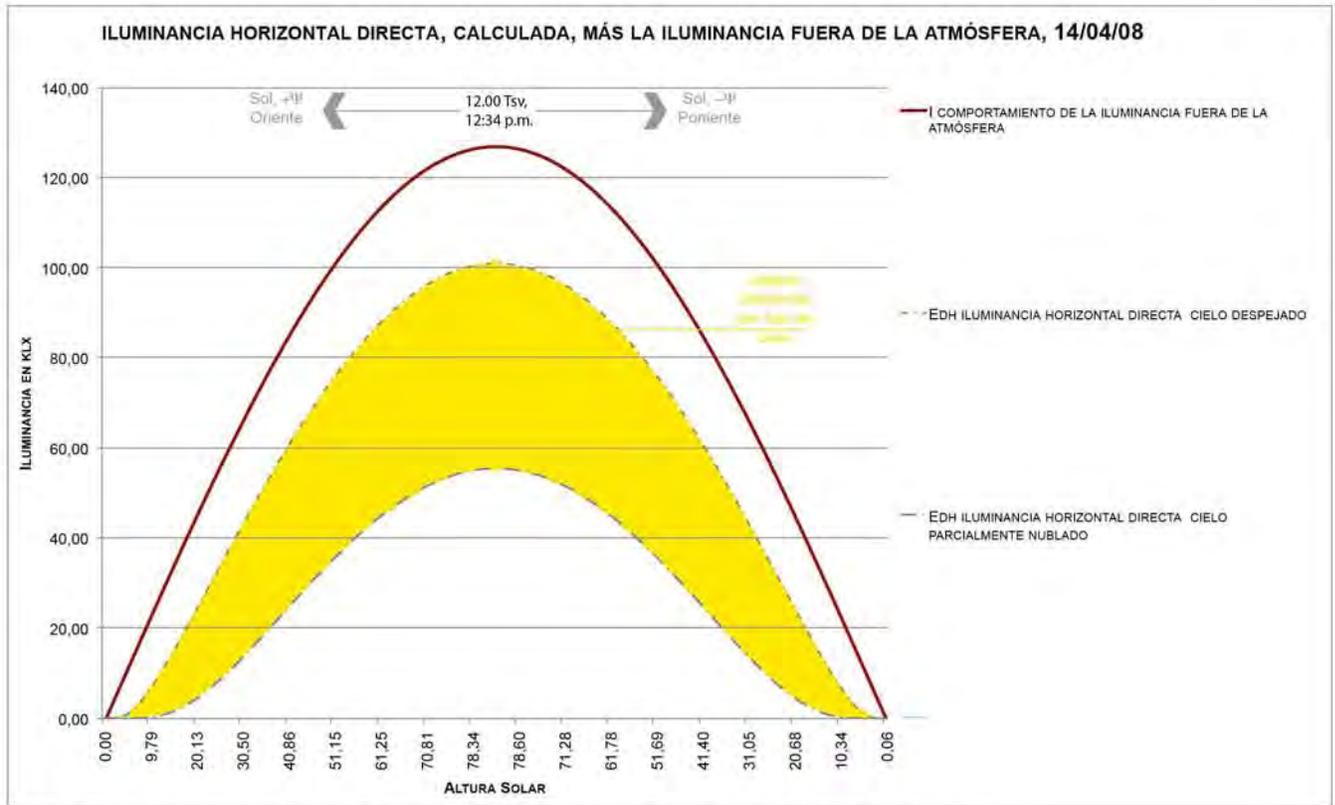
Esta gráfica muestra la iluminancia horizontal directa de un cielo despejado a comparación de una iluminancia horizontal global de un cielo parcialmente nublado. En el punto de culminación del Sol a las 12.00 del día en Tiempo Solar Verdadero la iluminancia horizontal directa con cielo despejado presenta un valor de 101 klux, mientras que la iluminancia horizontal directa con cielo parcialmente nublado presenta un valor de 56 klux. La diferencia entre ambas iluminancias en este punto es de 45 klux. Claramente, la iluminancia horizontal directa es más alta en un cielo despejado que en un cielo parcialmente nublado en donde las nubes obstruyen los rayos solares. (Ver tabla: Tabla 4.1.1 resumen con resultados de las diferencias entre iluminancia en el momento de la culminación del Sol a las 12 del día en Tiempo Solar Verdadero)

GRÁFICA: ILUMINANCIA HORIZONTAL DIFUSA, CALCULADA, MÁS LA ILUMINANCIA FUERA DE LA ATMÓSFERA, 14/04/08

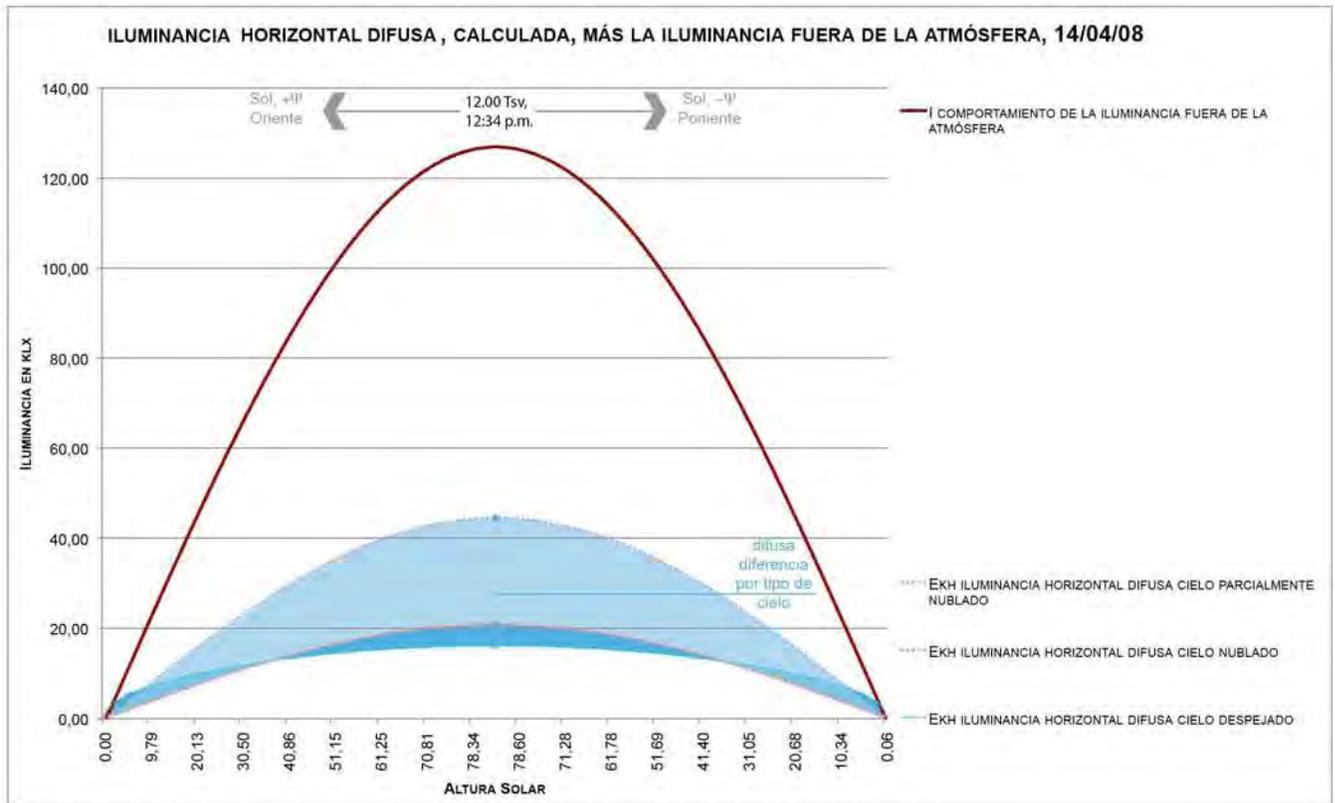
Esta gráfica muestra la iluminancia horizontal difusa de un cielo despejado a comparación de una iluminancia horizontal difusa de un cielo parcialmente nublado y de la iluminancia horizontal difusa de un cielo nublado. En el punto de culminación del Sol a las 12.00 del día en Tiempo Solar Verdadero la iluminancia horizontal directa con cielo parcialmente nublado presenta un valor de 45 klux, la iluminancia horizontal difusa de un cielo nublado presenta un valor de 21 klux y la iluminancia horizontal difusa con cielo despejado un valor de 16 klux. La primera diferencia entre la iluminancia horizontal difusa es entre el cielo parcialmente nublado y el cielo nublado, ésta es de 24 klux. La segunda diferencia es entre la iluminancia horizontal difusa de un cielo nublado y la iluminancia horizontal difusa de un cielo despejado, la diferencia es de 5 klux. (Ver tabla: Tabla 4.1.1 resumen con resultados de las diferencias entre iluminancia en el momento de la culminación del Sol a las 12 del día en Tiempo Solar Verdadero) Cabe mencionar que hasta una altura solar de 9° grados, aproximadamente, la iluminancia horizontal difusa de un cielo despejado presenta valores más altos que la iluminancia horizontal difusa de un cielo parcialmente nublado y de un cielo nublado. Posteriormente, hasta una altura solar de 35° grados, aproximadamente, los valores de la iluminancia horizontal difusa de un cielo despejado continúan siendo más altos que los de la iluminancia horizontal difusa de un cielo nublado.

Tabla 4.1.1 resumen con resultados de las diferencias entre iluminancia en el momento de la culminación del Sol a las 12 del día en Tiempo Solar Verdadero

Tsv	Ho	at	iluminancia horizontal directa			iluminancia horizontal difusa					iluminancia horizontal global			
			Edh		diferencia	Ekh			diferencias		Edh+ Ekh		diferencia	
			c.d.	c.p.	Δ c.d. y c.p.	c.d.	c.p.	c.n.	Δ c.p. y c.n.	Δ c.n. y c.d.	c.d.	c.p.	Δ c.d. y c.d.	
tiempo solar	hora local	altura solar	klx	klx	klx	klx	klx	klx	klx	klx	klx	klx	klx	
12.00	12:34 PM	79.77	101	56	45	16	45	21	24	5	117	100	17	
C.D.	Cielo despejado													
C.P.	Cielo parcialmente nublado													
C.N.	Cielo Nublado													



Gráfica: Iluminancia horizontal directa, calculada, más la iluminancia fuera de la atmósfera, 14/04/08



Gráfica: Iluminancia horizontal difusa, calculada, más la iluminancia fuera de la atmósfera, 14/04/08

GRÁFICA: ILUMINANCIA VERTICAL DIRECTA, AL ORIENTE, CALCULADA, 14/04/08

Esta gráfica muestra la iluminancia vertical directa al Oriente. El cálculo de la iluminancia vertical directa tiene como variable el ángulo incidente en el elemento vertical, que en este caso de estudio se trata de la fachada de la edificación enfrentada al Oriente. El valor más alto de iluminancia lo muestra la iluminancia vertical directa con cielo despejado (72 klux con una altura solar de 31° grados) mientras que el segundo valor máximo de iluminancia lo presenta la iluminancia vertical directa del cielo parcialmente nublado (29 klux con una altura solar de 45° grados) a 14° grados de altura solar de diferencia.

GRÁFICA: LUMINANCIA EN EL CENIT CALCULADA, 14/04/08

Esta gráfica muestra la luminancia en el cenit para los tres diferentes tipos de cielo: cielo despejado, cielo parcialmente nublado y cielo nublado. El cálculo de esta luminancia calculada exenta los rayos directos del Sol. Así, con una altura solar de 79.77° el valor máximo de luminancia en el cenit es del cielo parcialmente nublado (22.34 kcd/m²) el segundo valor máximo es del cielo despejado (10.74 kcd/m²) y el valor máximo más bajo es el del cielo nublado (8.58 kcd/m²). La luminancia en el cenit con cielo despejado muestra los valores más bajos a excepción de cuando el Sol se encuentra en el cenit, en este momento los valores de luminancia rebasan los niveles de luminancia en el cenit del cielo nublado, pero siguen siendo inferiores a los valores de la luminancia en el cenit del cielo parcialmente nublado. Los niveles de luminancia en el cenit del cielo nublado son superiores a los del cielo despejado, a excepción de cuando el Sol se encuentra cerca del cenit, y son inferiores a los niveles de luminancia del cielo parcialmente nublado, a excepción de cuando el Sol tiene una altura solar menor de 40° grados. Los niveles de luminancia en el cenit del cielo parcialmente nublado muestra los valores más altos, a excepción de los primeros y últimos 40° grados de altitud solar, aproximadamente.

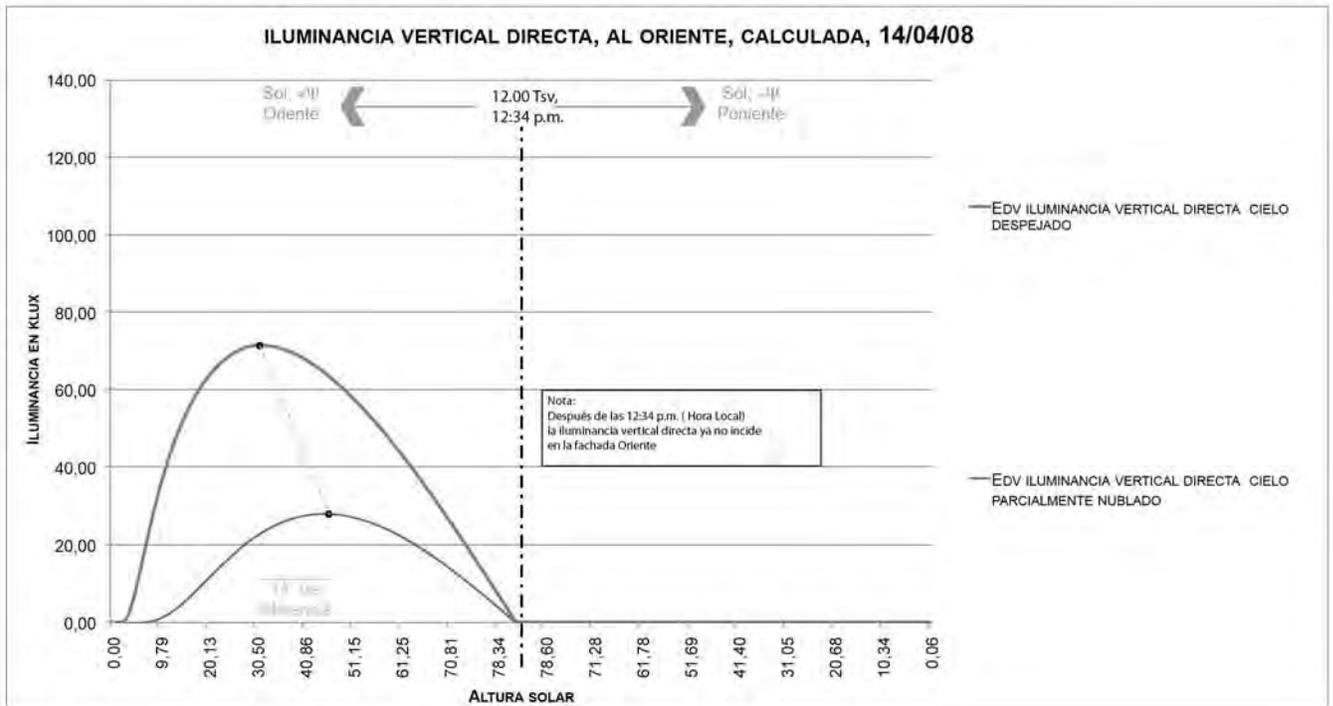
MEDICIONES IN SITU

Para llevar a cabo las mediciones de la iluminación natural en el sitio de estudio se montaron, en la azotea del edificio ubicado en Isabel la Católica No.67 en el Centro Histórico de la Ciudad de México (19.46° latitud Norte, 99.13° longitud Oeste), los sensores fotométricos para medir la iluminación horizontal global y la iluminación horizontal difusa (producida por el cielo, sin el rayo directo del Sol). También se midió la iluminación vertical global y difusa, con la misma orientación de la fachada al Oriente, específicamente al Sur-Este, con un ángulo acimutal de la superficie de la fachada de 81.75° grados y a 98.25° grados respecto del norte geográfico (Ver tabla: Tabla 2. con información arquitectónica, geográfica, fecha y constantes y ajuste de tiempo para los cálculos geométricos solares, irradiación e iluminancia. En el Capítulo 3).

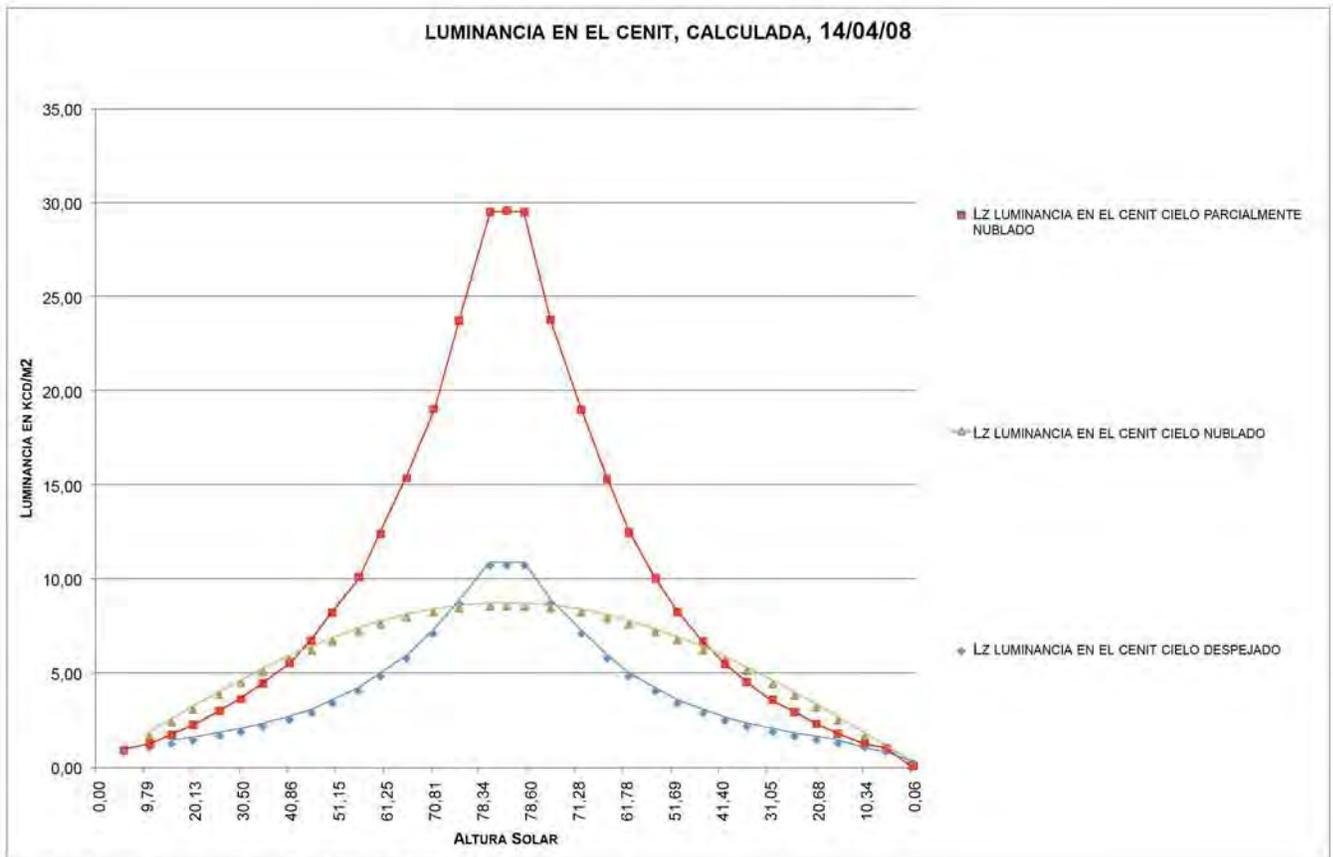
Las mediciones en el sitio de estudio se llevaron a cabo con instrumentos de medición de la marca LICOR, con la clave: LI-210SA, la cual se refiere a un sensor fotométrico. (Ver anexo 3)

El componente de luz difusa horizontal y vertical fue medido a través de dispositivos fabricados para la latitud de la Ciudad de México. En estos dispositivos un aro movable, ajustable según el día del año, sombrea el sensor de acrílico del fotómetro, evitando que tenga incidencia de la luz directa del Sol (Bravo, Ceballos, Guadarrama y Valeriano, 08). Estos dispositivos fueron orientados de acuerdo al Norte geográfico.

Los valores de las mediciones de la iluminancia horizontal global presentaron irregularidades producidas, en algunas ocasiones, por falsos contactos de las conexiones entre cables. Por lo que tomamos como valor de la iluminancia horizontal global, las mediciones del fotómetro ubicado sobre la maqueta, ubicada de igual manera en la azotea.



Gráfica: Iluminancia vertical directa calculada, 14/04/08



Gráfica: Luminancia en el cenit calculada, 14/04/08

Tabla 5. con ubicación de los fotómetros para las mediciones de iluminación

Monitoreo en Isabel la Católica No. 67

Ubicación de fotómetros

A. Azotea			
No. Fotómetro	Ubicación	Abreviaturas en gráficas	
1	Horizontal global	hor.glob.	
2	Horizontal difusa	hor.dif.	
3	Vertical fachada global	ver.glob.	
4	Vertical fachada oriente difusa	ver.dif.	
11	Horizontal global maqueta	hor.glob.m.	

Los resultados las mediciones de iluminancia en el exterior en el sitio y día de estudio, bajo condiciones de cielo reales, son comparados con los valores obtenidos por las fórmulas de la IESNA, para un cielo parcialmente nublado. Este tipo de cielo fue establecido en capítulos anteriores y se trabajó con la Fórmula 1, de la Declinación Solar, y la Fórmula 3, de la Ecuación del Tiempo.

El fin de la comparación es conocer la diferencia porcentual que existe de la iluminancia horizontal global, directa y difusa calculada y medida, así como de la iluminancia vertical directa, calculada y la medida in situ, para saber con que precisión los cálculos de iluminancia pronostican la iluminancia in situ.

TABLA 6. CON RESULTADOS DE LA ILUMINANCIA CALCULADA A DIFERENCIA DE LOS DATOS DE LAS MEDICIONES OBTENIDOS EN EL DÍA Y SITIO DE ESTUDIO Y LOS PROMEDIOS RESPECTO A LA DIFERENCIA PORCENTUAL DE LA COMPARACIÓN.

En esta tabla se muestran los valores de la Disponibilidad de Luz Natural calculados y medidos in situ, con un tipo de cielo parcialmente nublado. Estos valores se calculan y están relacionados al tiempo, en Hora Local y Tiempo Solar Verdadero, y a la posición del Sol.

Tabla 6. con resultados de la iluminancia calculada a diferencia de los datos de las mediciones obtenidos en el día y sitio de estudio, bajo condiciones de cielo reales, y los promedios respecto a la diferencia porcentual de la comparación.

Referencias				Iluminancia horizontal directa			Iluminancia horizontal difusa			Iluminancia horizontal global			Iluminancia vertical global y directa					
Tsv	Ho	at	I	Edh	hor. directa	DIF directa	Ekh	hor. difusa	DIF difusa	Edh + Ekh	hor. global. med.	DIF global	Edv	ver. global	ver. difusa	ver. directa	DIF ver. directa	
hrs	hr:min	°	klx	klx	klx	%	klx	klx	%	klx	klx	%	klx	klx	klx	klx	%	
6.00	06:34 AM	3.05	6.87	0.00	0.00	0.00	2.70	0.32	88.08	2.70	0.00	100	0.00	0.10	0.11	0.00	0.00	
7.00	07:34 AM	17.11	37.95	2.46	0.00	99.96	13.54	3.48	74.31	16.00	3.34	79.16	7.83	1.57	1.58	0.00	100	
8.00	08:34 AM	31.24	66.91	14.10	0.00	99.99	23.64	12.92	45.34	37.74	12.18	67.73	23.05	5.70	5.73	0.00	100	
9.00	09:34 AM	45.35	91.78	29.38	0.00	100	32.32	31.78	1.65	61.70	30.41	50.71	29.01	14.89	15.50	0.00	100	
10.00	10:34 AM	59.25	110.9	43.07	8.98	79.16	38.97	36.53	6.27	82.04	45.51	44.53	25.44	26.16	21.95	4.21	83.46	
11.00	11:34 AM	72.25	122.9	52.27	47.01	10.07	43.16	50.97	18.1	95.43	97.98	2.67	15.19	35.88	22.92	12.95	14.70	
12.00	12:34 PM	79.77	127	55.49	42.09	24.16	44.59	47.80	7.20	100.1	89.88	10.19	1.43	16.00	16.74	0.00	100	
13.00	01:34 PM	72.25	122.9	52.27	50.29	3.78	43.16	51.86	20.2	95.43	102.2	7.04	0.00	14.35	14.59	0.00	0.00	
14.00	02:34 PM	59.25	110.9	43.07	37.23	13.55	38.97	49.34	26.6	82.04	86.58	-5.53	0.00	16.45	15.30	1.15	0.00	
15.00	03:34 PM	45.35	91.78	29.38	0.00	100	32.32	27.69	14.33	61.70	25.57	58.56	0.00	10.15	10.20	0.00	0.00	
16.00	04:34 PM	31.24	66.91	14.10	6.80	51.75	23.64	24.66	4.32	37.74	31.47	16.63	0.00	8.08	7.27	0.81	0.00	
17.00	05:34 PM	17.11	37.95	2.46	0.00	100	13.54	5.18	61.77	16.00	5.00	68.78	0.00	2.18	2.18	0.00	0.00	
18.00	06:34 PM	3.05	6.87	0.00	0.00	0.00	2.70	0.14	94.81	2.70	0.00	99.96	0.00	0.06	0.07	0.00	0.00	
Promedio del día astronómico						68%				39%				46%				65%
I=	Comportamiento de la iluminancia en el tope de la atmósfera y en su caso a través de una atmósfera limpia y seca																	
Edh=	Iluminancia horizontal directa, calculada																	
Ekh=	Iluminancia horizontal difusa, calculada																	
Edv=	Iluminancia vertical directa, calculada																	
Edh + Ekh	Iluminancia horizontal global como suma de la iluminancia horizontal directa, calculada y la iluminancia horizontal difusa, calculada																	
hor. global. med.	Iluminancia horizontal global, medida																	
hor. difusa	Iluminancia horizontal difusa, medida																	
hor. directa	Iluminancia horizontal directa, (hor.global – hor.difusa)																	
ver. global	Iluminancia vertical global, medida																	
ver. difusa	Iluminancia vertical difusa, medida																	
ver. directa	Iluminancia vertical directa, (ver. global - ver. difusa)																	
DIF.	Diferencias porcentuales																	

GRÁFICA: RAZÓN DE CIELO CON RESPECTO A LA ALTURA SOLAR EL DÍA 14/04/08

Para conocer el tipo de cielo ya sea despejado, parcialmente nublado o nublado, así como la densidad de las nubes, recurrimos a la Razón de Cielo. En esta gráfica se muestra la Razón de Cielo en relación a la altura solar para poder referenciar la densidad de las nubes a las gráficas de iluminancia calculada y medida. Como ya se mencionó anteriormente los valores de radiación fueron medidos en Ciudad Universitaria a 12 kilómetros, aproximadamente, del Centro Histórico, donde fueron realizadas las mediciones de iluminancia in situ. Esto se debe a que es en Ciudad Universitaria donde se mide la radiación global, directa y difusa, y es con estos valores que se calcula la Razón de Cielo en donde:

$$\text{Razón de Cielo} = \text{radiación difusa} / \text{radiación global}$$

Cabe mencionar que hubiera sido conveniente tener estos mismos valores disponibles en el sitio de estudio, ya que el constante movimiento de las nubes influye en la iluminancia medida en un punto geográfico en específico. Aún así recurrimos a estos valores para conocer el tipo de cielo de la Ciudad de México para el 14 de abril de 2008.

En esta gráfica se observa que por la mañana hasta una altura solar de 61° grados y por la tarde a partir de una altura solar de 41° grados, aproximadamente, los valores de la Razón de Cielo se encuentran en el rango de un tipo de cielo nublado, con nubes densas, a excepción de dos momentos en donde los valores se encuentran en el rango de un cielo parcialmente nublado. Los valores de la Razón de Cielo a partir de una altura solar de 61° grados, por la mañana y hasta 41° grados por la tarde, del día 14 de abril de 2008, se encuentran dentro del rango de un cielo despejado con algunas excepciones en donde los valores de la Razón de Cielo entran dentro del rango del cielo parcialmente nublado y nublado. Se puede decir que en este periodo central del día astronómico existe la influencia de nubes ligeras, aunque el valor del promedio de la Razón de Cielo del día astronómico del 14 de abril de 2008 (0.6), se ordenara dentro de un tipo de cielo parcialmente nublado.

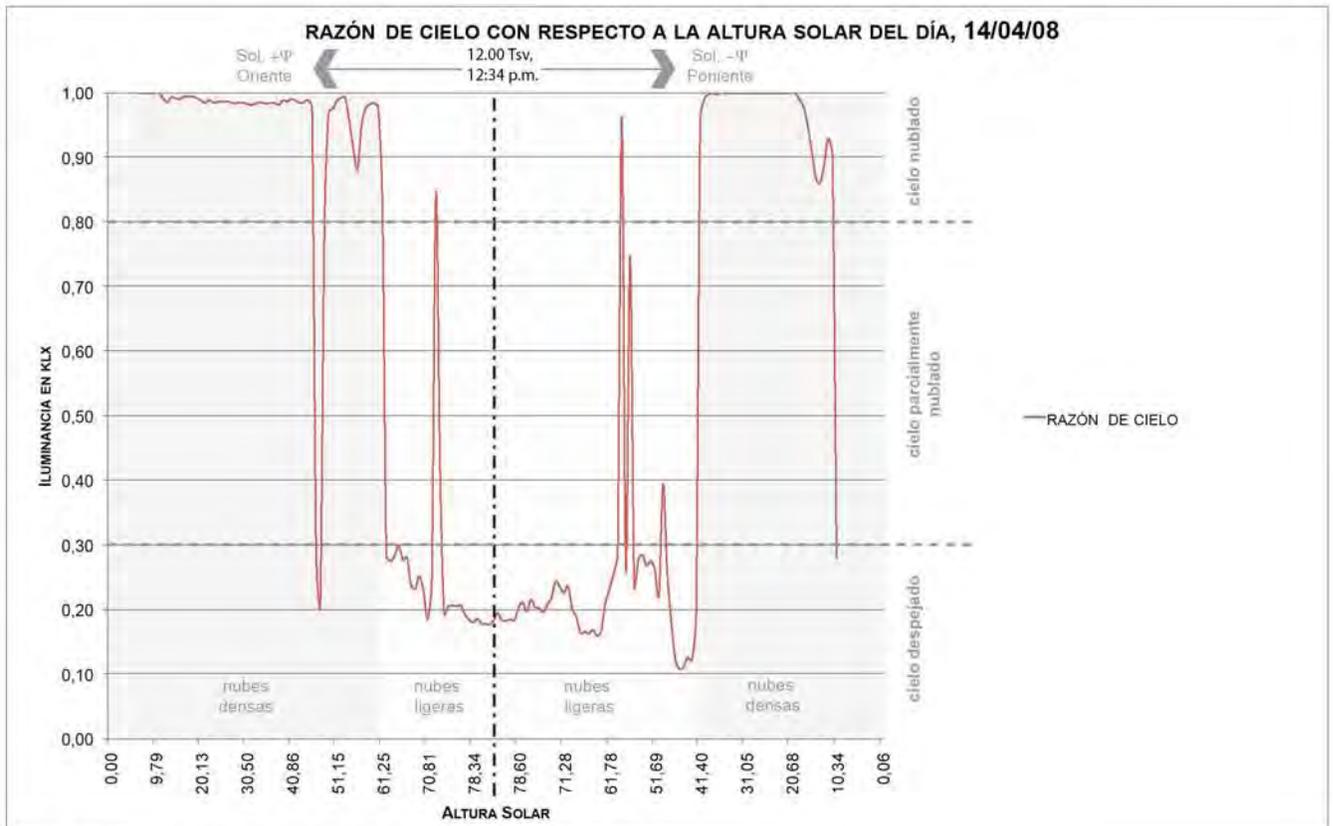
GRÁFICA: ILUMINANCIA HORIZONTAL GLOBAL, CALCULADA Y MEDIDA, MÁS LA ILUMINANCIA FUERA DE LA ATMÓSFERA, 14/04/08

En la gráfica, iluminancia horizontal global, calculada y medida, más la iluminancia fuera de la atmósfera, se puede ver que el comportamiento de la iluminancia horizontal global medida in situ se asemeja al comportamiento de la iluminancia horizontal global calculada. Sin embargo, la iluminancia horizontal global medida contempla elementos y algunos factores climáticos y atmosféricos; como la densidad de las nubes y la topografía de la Cuenca de la Ciudad de México; así como aspectos del contexto urbano inmediato a comparación de la iluminancia calculada que muestra resultados promedio.

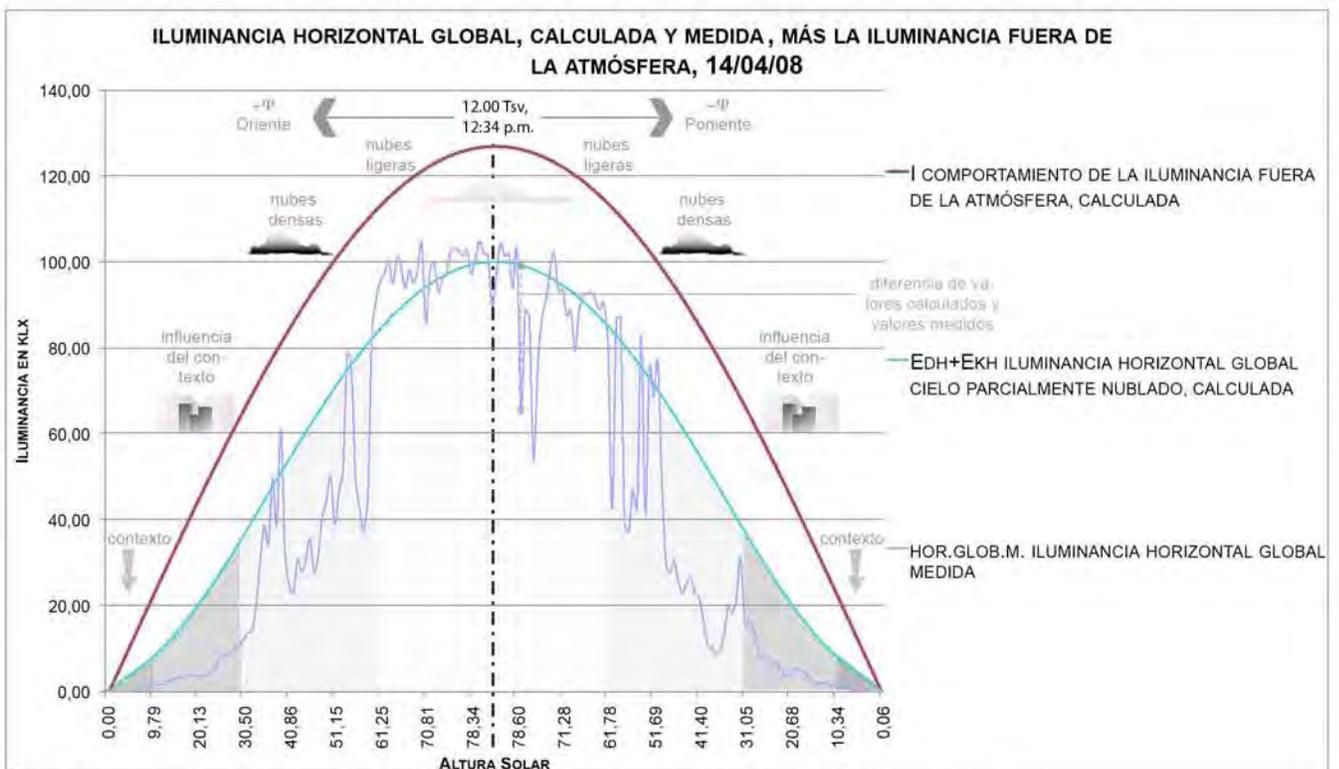
Con una altura solar hasta 61° grados, por la mañana y a partir de 61° en la tarde, se presentan nubes densas, como las de un cielo nublado, disminuyendo los valores de iluminancia medidos in situ a comparación de los valores de iluminancia calculados.

Posteriormente, en la presencia de nubes más ligeras, de 61° grados, en la mañana y hasta 61° grados, por la tarde, pasando por el cenit a una altura solar de 79.77° grados de altitud solar, los valores de la iluminancia medidos son similares a los valores de la iluminancia calculados, con excepción de dos momentos en donde la iluminancia horizontal global medida baja a 65 klux (at=78°) mientras que la iluminancia horizontal calculada presenta valores de 99 klux (at=78°). Esta diferencia de 34 klux se debe al paso de una nube densa bajo las condiciones de un cielo real a comparación de un valor promedio de iluminancia establecido.

En las primeras y en la últimas horas del día (en la mañana hasta 31° grados de altitud solar y en la tarde a partir de 31° grados de altitud solar) los valores de la iluminancia horizontal global medida no se parecen al resultado de la iluminancia horizontal global calculada. Las causas pueden ser la influencia del contexto y la falta de precisión en los algoritmos del cálculo.



Gráfica: Razón de Cielo con respecto a la altura solar del día 14/04/08



Gráfica: Iluminancia horizontal global, calculada y medida, más la iluminancia fuera de la atmósfera, 14/04/08

Tabla 6.1 resumen con la comparación de la iluminancia horizontal global calculada y medida

Tsv	Ho	at	Iluminancia horizontal global calculada	Iluminancia horizontal global medida	Diferencia
tiempo solar	hora local	altura solar			
hrs	hr:min	°	klx	klx	klx
12.41	01:01 PM	78	99	65	34

GRÁFICA: ILUMINANCIA HORIZONTAL DIFUSA, CALCULADA Y MEDIDA, MÁS LA ILUMINANCIA FUERA DE LA ATMÓSFERA, 14/04/08

En esta gráfica se muestra la iluminancia horizontal difusa calculada y medida. En las primeras y en la últimas horas del día (en la mañana hasta 31° grados de altitud solar y en la tarde a partir de 31° grados de altitud solar) los valores de la iluminancia horizontal difusa medida no se parecen al resultado de la iluminancia horizontal difusa calculada, esto puede ser, como ya se mencionó por la influencia del contexto de la Cuenca de la Ciudad de México o por la falta de precisión de las ecuaciones para calcular la iluminancia horizontal difusa.

En el periodo de la mañana, con nubes densas, la iluminancia horizontal difusa medida, presenta valores en general más altos que la iluminancia horizontal difusa calculada. Por ejemplo, con una altura solar de 39° grados la iluminancia horizontal difusa medida tiene un valor de 43 klux mientras la iluminancia horizontal difusa calculada tiene un valor de 22 klux. Para el segundo periodo de nubes densas, por la tarde, la iluminancia horizontal difusa medida (11 klux con $at=39^\circ$) muestra valores de iluminancia más bajos que la calculada (29 klux con $at=39^\circ$) por lo tanto suponemos que en el segundo periodo las nubes son aún más densas que en el primer periodo.

En el periodo de nubes ligeras la iluminancia horizontal difusa medida muestra valores más altos que la calculada. Así, los cálculos de la iluminancia horizontal difusa subestiman la iluminancia difusa in situ. La causa de esto puede ser, en parte, la turbiedad de la atmósfera del Centro Histórico de la Ciudad de México, ya que puede aumentar la iluminancia horizontal difusa o la imprecisión de los algoritmos que pronostican la iluminancia horizontal difusa. También puede ser posible que en el periodo en donde la altura solar es mayor de 61° grados, los dispositivos para medir la luz difusa dejaron entrar luz solar al sensor del fotómetro, aumentando los valores de la iluminancia horizontal difusa.

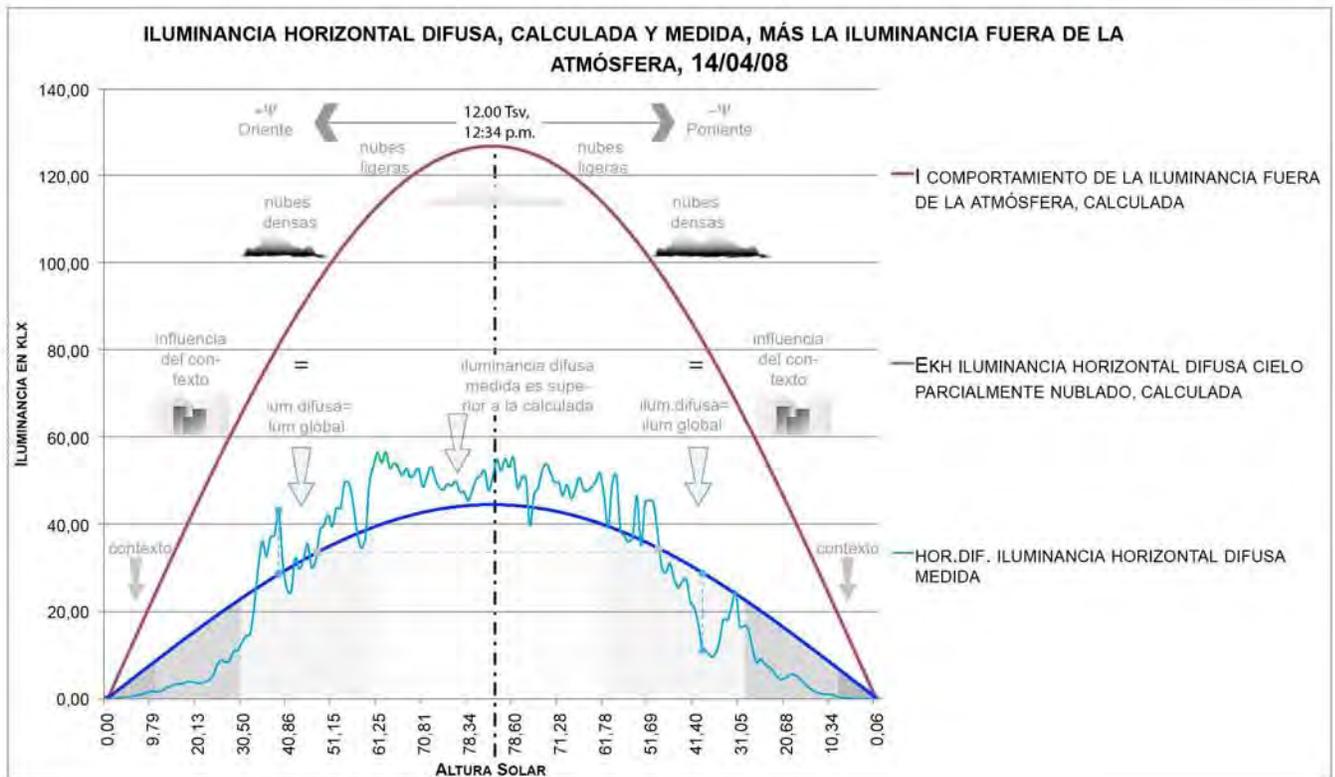
Tabla 6.2 resumen con la comparación de la iluminancia horizontal difusa calculada y medida

Tsv	Ho	at	Iluminancia horizontal difusa calculada	Iluminancia horizontal difusa medida	Diferencia
tiempo solar	hora local	altura solar			
hrs	hr:min	°	klx	klx	klx
8.55	09:09 AM	39	22	43	21
15.41	04:01 PM	39	29	11	18

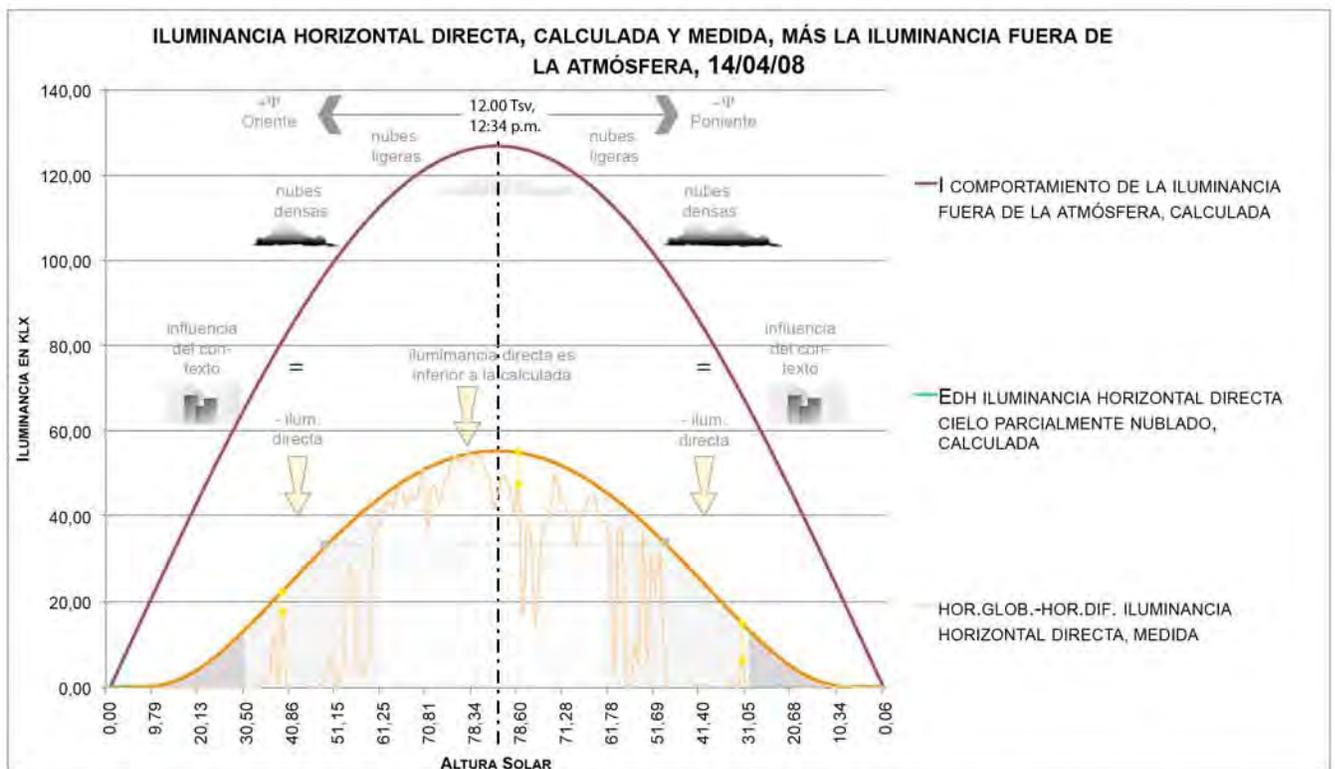
GRÁFICA: ILUMINANCIA HORIZONTAL DIRECTA, CALCULADA Y MEDIDA, MÁS LA ILUMINANCIA FUERA DE LA ATMÓSFERA, 14/04/08

En esta gráfica se muestra la iluminancia horizontal directa calculada y medida. La iluminancia horizontal directa medida se obtiene de la siguiente manera: Iluminancia horizontal directa medida = iluminancia horizontal global medida – iluminancia horizontal difusa medida. La iluminancia horizontal directa medida muestra valores de 0 klux hasta una altitud solar de 31° grados, por la mañana y a partir de 31° de altitud solar por la tarde, en parte por la influencia del contexto, a diferencia de la iluminancia horizontal directa calculada, la cual muestra valores de 0 klux hasta una altura solar de 10° grados donde comienza a elevar sus valores, lo mismo sucede por la tarde.

En el primer periodo como consecuencia de nubes densas, la iluminancia horizontal directa medida



Gráfica: Iluminancia horizontal difusa, calculada y medida, más la iluminancia fuera de la atmósfera, 14/04/08



Gráfica: Iluminancia horizontal directa, calculada y medida (resultado de la resta de la iluminancia horizontal global y difusa), más la iluminancia fuera de la atmósfera.

presenta valores nulos a comparación de la iluminancia horizontal directa calculada, a excepción de algunos momentos en donde la iluminancia horizontal directa medida presenta valores positivos de 18 klux ($at=39^\circ$), como resultado de la incidencia de rayos solares a través o del movimiento de las nubes densas, aún así es inferior en valores a la iluminancia horizontal directa calculada 23 klux ($at=39^\circ$). En el segundo periodo con nubes aún más densas de una altura solar de 61° grados a 51° grados existen varios momentos de valores positivos, aún así inferiores en valores a los de la iluminancia horizontal directa calculada. Posteriormente, de una altura solar de 51° grados a 31° grados sólo se presentan tres momentos con valores positivos de 7 klux ($at=32^\circ$) en donde los rayos solares traspasan las nubes densas o existe movimiento de estas dejando pasar la luz directa, aún así estos valores son inferiores a los de la iluminancia horizontal directa calculada 15 klux ($at=32^\circ$).

Dentro del periodo de nubes ligeras la iluminancia horizontal directa medida muestra valores de iluminancia menores a la iluminancia horizontal directa calculada, a una altura solar de 79° grados la primera presenta un valor de 47 klux mientras la segunda presenta un valor de 55 klux, así los cálculos de iluminancia horizontal directa sobreestiman la iluminancia horizontal in situ. La causa de esto puede ser, en parte, la turbiedad de la atmósfera del Centro Histórico de la Ciudad de México, la cual disminuye la iluminancia directa o la imprecisión de los cálculos que pronostican la iluminancia horizontal directa. También, como se mencionó anteriormente, se puede deber a la imprecisión en la medición de la iluminancia horizontal difusa, en donde si el dispositivo deja entrar más luz que sólo la luz difusa al restarle la iluminancia horizontal difusa a la iluminancia horizontal global el resultado de la iluminancia horizontal directa es menor.

Tabla 6.3 resumen con la comparación de la iluminancia horizontal directa calculada y medida

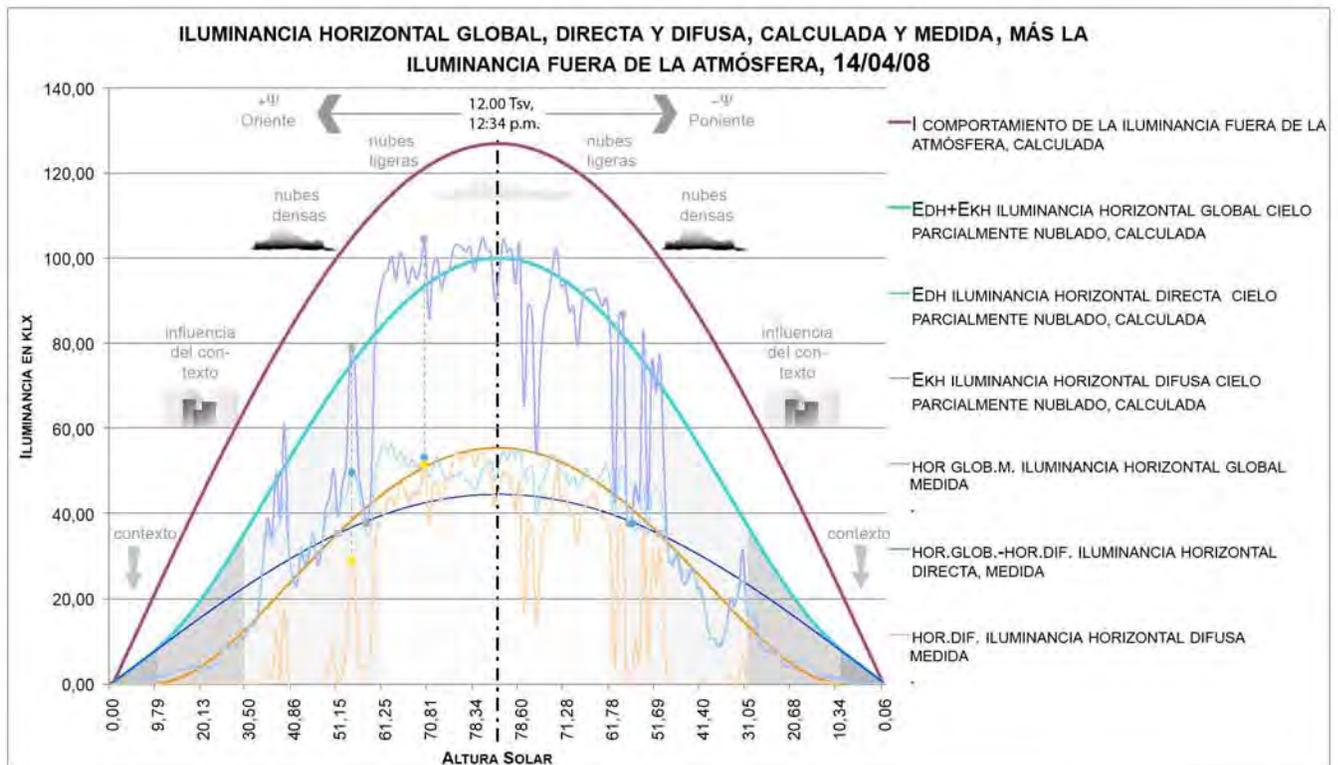
Tsv	Ho	at	Iluminancia horizontal directa calculada	Iluminancia horizontal directa medida	Diferencia
tiempo solar	hora local	altura solar			
hrs	hr:min	°	klx	klx	klx
8.55	09:09 AM	39	23	18	4
12.35	12:57 PM	79	55	47	8
15.95	04:33 PM	32	15	7	8

GRÁFICA: ILUMINANCIA HORIZONTAL GLOBAL, DIRECTA Y DIFUSA, CALCULADA Y MEDIDA, MÁS LA ILUMINANCIA FUERA DE LA ATMÓSFERA, 14/04/08

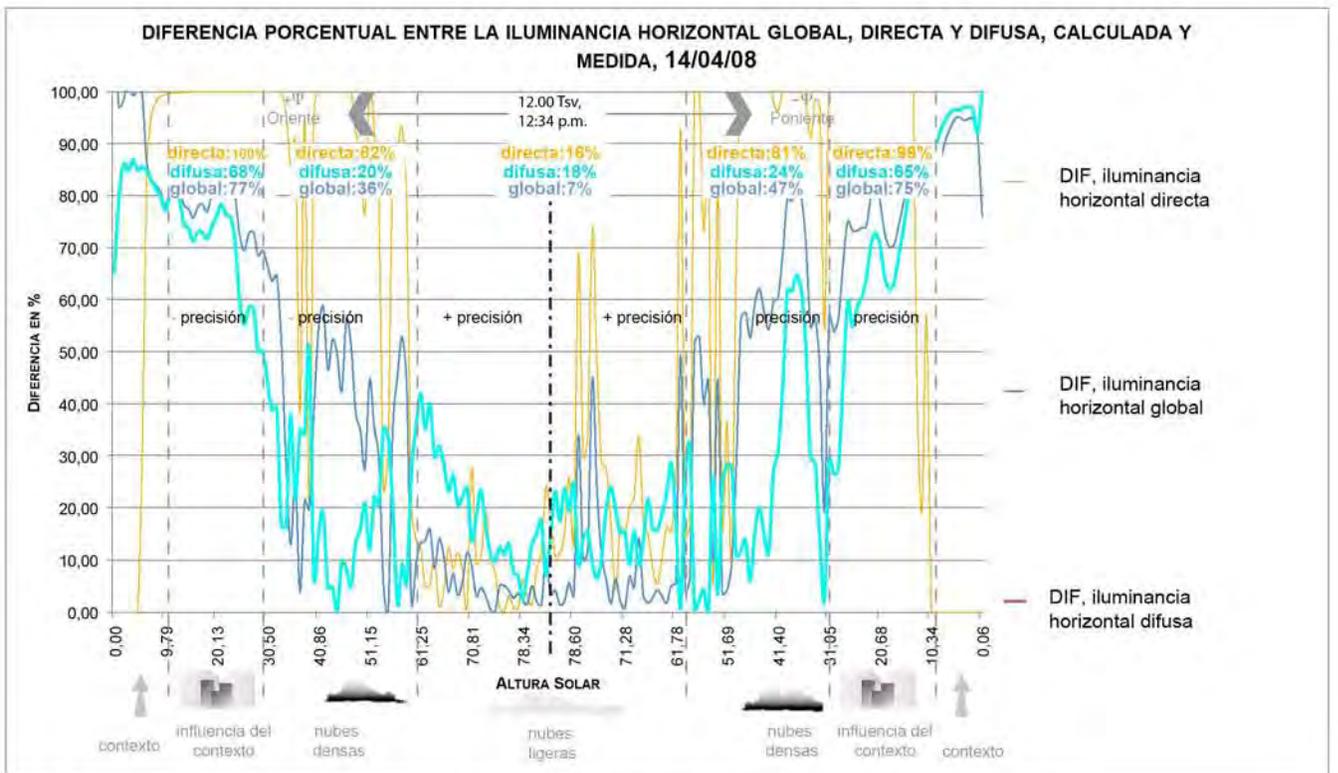
Esta gráfica muestra la iluminancia horizontal global, directa y difusa, calculada y medida, así como el comportamiento de la iluminancia fuera de la atmósfera para el día 14 de abril de 2008. La iluminancia fuera de la atmósfera muestra valores máximos de 127 klux con una altura solar de 79.77° a las 12.00 del día, en Tiempo Solar Verdadero. En este mismo momento la iluminancia horizontal global calculada para el Centro Histórico de la Ciudad de México con un cielo parcialmente nublado muestra valores máximos de 100 klux, la iluminancia horizontal difusa calculada muestra, bajo estas mismas condiciones, valores máximos de 45 klux y la iluminancia horizontal directa calculada muestra valores máximos de 55 klux.

Tabla 6.4 resumen con resultados de la iluminancia calculada al medio día

Tsv	Ho	at	I	Iluminancia horizontal directa	Iluminancia horizontal difusa	Iluminancia horizontal global
tiempo solar	hora local	altura solar	comportamiento de la iluminancia	Edh	Ekh	Edh + Ekh
hrs	hr:min	°	klx	klx	klx	klx
12.00	12:34 PM	79.77	127	55	45	100



Gráfica: Iluminancia horizontal global, directa y difusa, calculada y medida, más la iluminancia fuera de la atmósfera, 14/04/08



Gráfica: Diferencia porcentual entre la iluminancia horizontal global, directa y difusa, calculada y medida, 14/04/08

Esta gráfica muestra, a comparación de la gráfica de la Razón de Cielo, calculada para Ciudad Universitaria, que el periodo de nubes densas va de 31° grados a 61° grados de altitud solar, por la mañana. Por la tarde va de 61° grados a 31° grados de altitud solar, esto se ve reflejado en la variabilidad de los valores de la iluminancia horizontal global medidos que van desde 87 klux (at=60°) a 37 klux (at=57°) y donde el valor más bajo de la iluminancia horizontal global medido de 37 klux (at=57°) es igual al valor de la iluminancia horizontal difusa medido 37 klux (at=57°).

Tabla 6.5 resumen con la comparación de la iluminancia horizontal global y difusa medidas

Tsv	Ho	at	Iluminancia horizontal global medida	Iluminancia horizontal difusa medida
tiempo solar	hora local	altura solar		
hrs	hr:min	°	klx	klx
14.01	02:37 PM	60	87	18
14.15	02:45 PM	57	37	37

Bajo la influencia de nubes densas los valores de la iluminancia horizontal global medida y los valores de la iluminancia horizontal difusa medida son muy similares, a excepción de unos momentos en donde existe incidencia de luz directa. La cantidad de luz directa se ve reflejada en el comportamiento de la iluminancia horizontal directa medida, ya que ésta es la diferencia de la iluminancia horizontal global, medida y la iluminancia horizontal difusa, también medida. Por ejemplo, a una altura solar de 54° grados por la mañana, en donde el valor de la iluminancia horizontal global medida es de 79 klux, la iluminancia horizontal difusa medida es de 50 klux por ende la iluminancia horizontal directa medida es de 29 klux.

Es interesante observar que en un lapso de 16 minutos (de 54° grados a 58° grados de altitud solar), en un cielo parcialmente nublado con nubes densas, los valores de iluminancia horizontal global medida cambian de 79 klux a 38 klux, siendo la diferencia de 41 klux.

Posteriormente, bajo nubes ligeras la iluminancia horizontal directa y la iluminancia horizontal difusa medidas son similares mostrando valores promedio entre 40 klux y 60 klux, aproximadamente, con excepción de dos momentos en donde bajo la influencia de nubes densas los valores de la iluminancia horizontal directa medida bajan a menos de 20 klux. Con una altitud solar de 70° grados y con una iluminancia global medida de 104 klux, la iluminancia horizontal directa medida (52 klux) y la iluminancia horizontal difusa medida (52 klux) son iguales. Es posible que en este periodo, en donde la altitud solar es mayor de 61° grados, el aro del dispositivo de medición de luz difusa no cubriera al sensor del fotómetro en su totalidad, dejando entrar más luz que sólo la difusa, ya que en este periodo, se supone por el comportamiento de la iluminancia horizontal calculada, que la iluminancia horizontal directa es superior a la iluminancia horizontal difusa, bajo un cielo parcialmente nublado. Si a través del dispositivo para medir luz difusa el fotómetro hubiera hecho lectura de valores de iluminancia horizontal difusa menores, y como la iluminancia horizontal directa es la resta de la global y la difusa, la iluminancia horizontal directa hubiera presentado valores más altos, tal vez aún más parecidos a los de la iluminancia horizontal directa calculada.

Tabla 6.6 resumen con la comparación de la iluminancia horizontal global, directa y difusa medidas

Tsv	Ho	at	Iluminancia horizontal global medida	Iluminancia horizontal directa medida	Iluminancia horizontal difusa medida
tiempo solar	hora local	altura solar			
hrs	hr:min	°	klx	klx	klx
9.61	10:13 AM	54	79	29	50
9.88	10:29 AM	58	38	3	35
10.81	11:25 AM	70	104	52	52

TABLA CON LA DIFERENCIA EN PORCENTAJE DE LA COMPARACIÓN DE LAS ILUMINANCIAS MEDIDAS Y CALCULADAS PARA LOS DIFERENTES PERIODOS

Ya que los promedios del día astronómico no son representativos por las diferencias establecidas por los tipos de cielo y la influencia del contexto. Los promedios de las diferencias porcentuales son tomados por cada periodo: hasta una altura solar de 10° grados, de 10° grados a 31° grados, de 31° grados a 61° grados, de 61° grados por la mañana a 61° grados por la tarde, de 61° grados a 31° grados por la tarde y de 31° grados a 10° grados por la tarde. Los valores de la diferencia porcentual más significativos son los del periodo que va de una altura solar de 61° grados por la mañana hasta una altura solar de 61° grados por la tarde, pasando por el cenit con una altura solar de 79.77° grados, ya que la iluminancia medida presenta más similitud con la iluminancia calculada.

Tabla 7 con la diferencia en porcentaje de la comparación de las iluminancias medidas y calculadas para los diferentes periodos.

Ho hr:min	Ho hr:min	at, aprox.	Dif. Iluminancia horizontal global	Dif. Iluminancia horizontal difusa	Dif. Iluminancia horizontal directa	Dif. Iluminancia vertical directa
desde	hasta	°	%	%	%	%
06:21 AM	07:09 AM	0-10	93	81	92	98
07:13 AM	08:33 AM	10-31	77	68	100	100
08:37 AM	10:41 AM	31-61	36	20	82	82
10:45 AM	02:25 PM	61-61	7	18	16	9*
02:29 PM	04:37 PM	61-31	47	24	81	No recibe iluminancia directa
04:41 PM	06:01 PM	31-10	75	65	99	
06:05 PM	06:49 PM	10-0	90	95	99	
Promedio del día astronómico			46	39	68	65
*10:45 AM	12:34 PM	61-80	en la fachada del edificio de estudio incide iluminancia vertical directa por la mañana hasta que el Sol se encuentra en el cenit.			

GRÁFICA: DIFERENCIA PORCENTUAL ENTRE LA ILUMINANCIA HORIZONTAL GLOBAL, DIRECTA Y DIFUSA, CALCULADA Y MEDIDA, 14/04/08

Esta gráfica muestra la diferencia porcentual de la comparación de la iluminancia horizontal global, directa y difusa, calculada y medida in situ el día 14 de abril de 2008, que presentaba un cielo parcialmente nublado.

Es en presencia de nubes ligeras y en el periodo en donde la altitud solar es mayor de 61° grados por la mañana hasta 61° grados por la tarde, que las diferencias porcentuales entre las iluminancias calculadas y medidas son menores que en los otros periodos. Así, la diferencia porcentual de la iluminancia horizontal global calculada y medida es del 7%, de la iluminancia horizontal difusa calculada y medida es del 18% y de la iluminancia horizontal directa calculada y medida es del 16%.

Posteriormente, las diferencias aumentan en el periodo de 31° grados a 61° grados, por la mañana y de 61° grados a 31° grados por la tarde, en la presencia de nubes densas, ya que la iluminancia calculada no corresponde a las de un cielo parcialmente nublado, sino a las de un cielo nublado. La diferencia porcentual de la iluminancia horizontal global calculada y medida es del 36%, por la mañana y 47% por la tarde; de la iluminancia horizontal difusa calculada y medida es del 20%, por la mañana y 24% por la tarde; y de la iluminancia horizontal directa calculada y medida es del 82%, por la mañana y 81%, por la tarde. El periodo de nubes densas por la tarde muestra diferencias más altas.

Las diferencia más alta de la iluminancia calculada y la medida existe cuando hay influencia del contexto, esto es cuando la altitud solar es mayor de 10° grados hasta 31° grados, por la mañana y menor de 31° grados hasta 10° grados, por la tarde, para el Centro Histórico de la Ciudad de México. La diferencia porcentual de la iluminancia horizontal global calculada y medida es del 77%, por la mañana y 75% por la tarde; de la iluminancia horizontal difusa calculada y medida es del 68%, por la mañana y 65% por la tarde; y de la iluminancia horizontal directa calculada y medida es del 100%, por la mañana y 99%, por la tarde.

Por último, las diferencias porcentuales, de la iluminancia calculada y la medida dentro de los primeros y últimos 10° grados de altitud solar, que van desde 81% al 99%, no son tomadas en cuenta, ya que se estableció en capítulos anteriores que en estos 10° grados de altitud solar, los rayos solares son obstruidos por la geografía del sitio de estudio.

La diferencia porcentual promedio durante el día astronómico, de la iluminancia horizontal global calculada y medida es del 46%, de la iluminancia horizontal difusa calculada y medida es del 39%, mientras que la diferencia porcentual promedio de la iluminancia horizontal directa, calculada y medida es del 68%, siendo la más alta con respecto a la diferencia porcentual de la iluminancia horizontal global y difusa. Aún dentro de las diferencias por periodos, la diferencia porcentual de la iluminancia horizontal directa calculada y medida muestra valores más altos, que la iluminancia horizontal difusa y global, a excepción del periodo central del día astronómico, en donde la diferencia porcentual de la iluminancia horizontal directa de 16% es ligeramente menor que la de la diferencia porcentual de la iluminancia horizontal difusa de 18%. De todas formas estas dos iluminancias están ligadas ya que los valores de la iluminancia horizontal directa fueron obtenidos de la resta de la iluminancia horizontal global y la iluminancia horizontal difusa. Así que a menor diferencia porcentual de la iluminancia horizontal global y difusa, menor diferencia porcentual de la iluminancia horizontal directa.

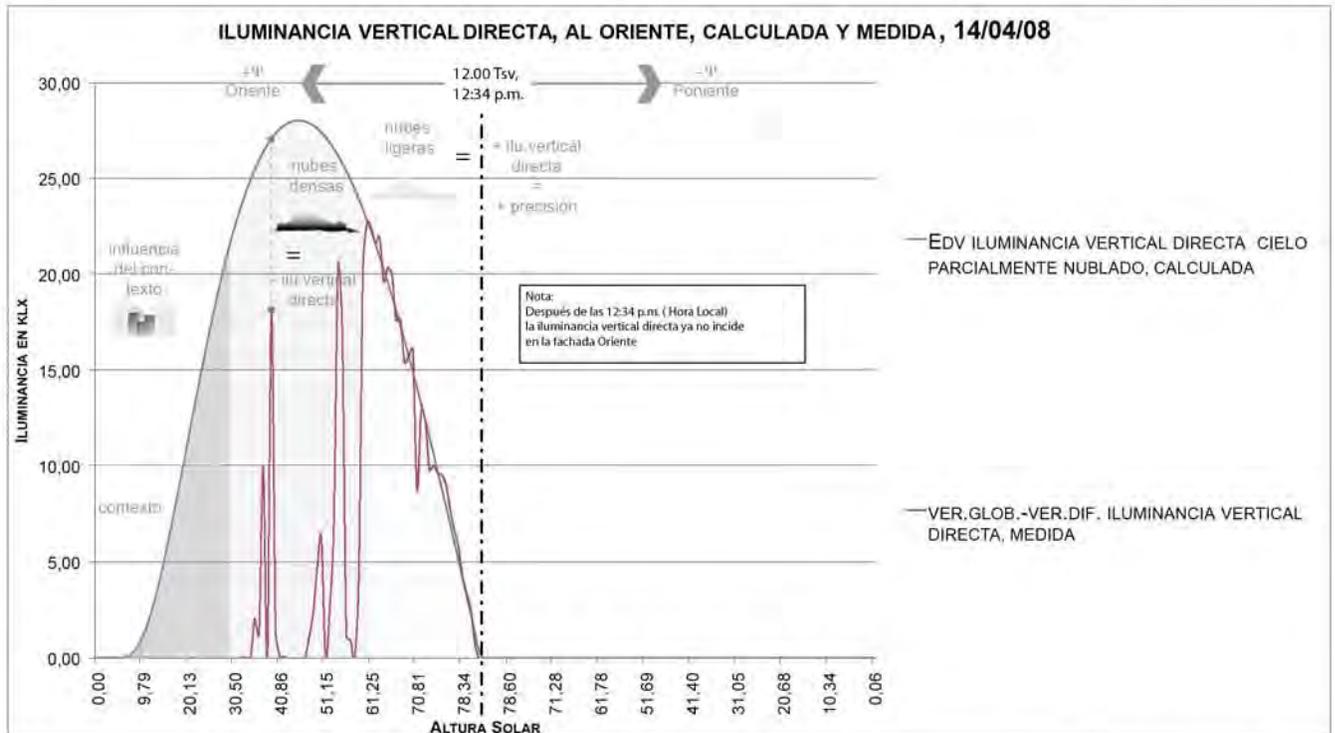
Lo que es representativo del periodo central del día astronómico, de 61° grados, por la mañana a 61° grados por la tarde, de altitud solar, es la diferencia porcentual de la iluminancia horizontal global, calculada y medida, de 7%. En este hecho dos factores son importantes uno es la altura solar, la que parece jugar un papel importante, ya que a menor altitud solar existe influencia del contexto (lo que los cálculos de iluminancia no toman en cuenta), y otro es el correcto pronóstico del tipo de cielo para los cálculos de la iluminancia.

(Ver tabla: Tabla 7. con la diferencia en porcentaje de la comparación de las iluminancias medidas y calculadas para los diferentes periodos)

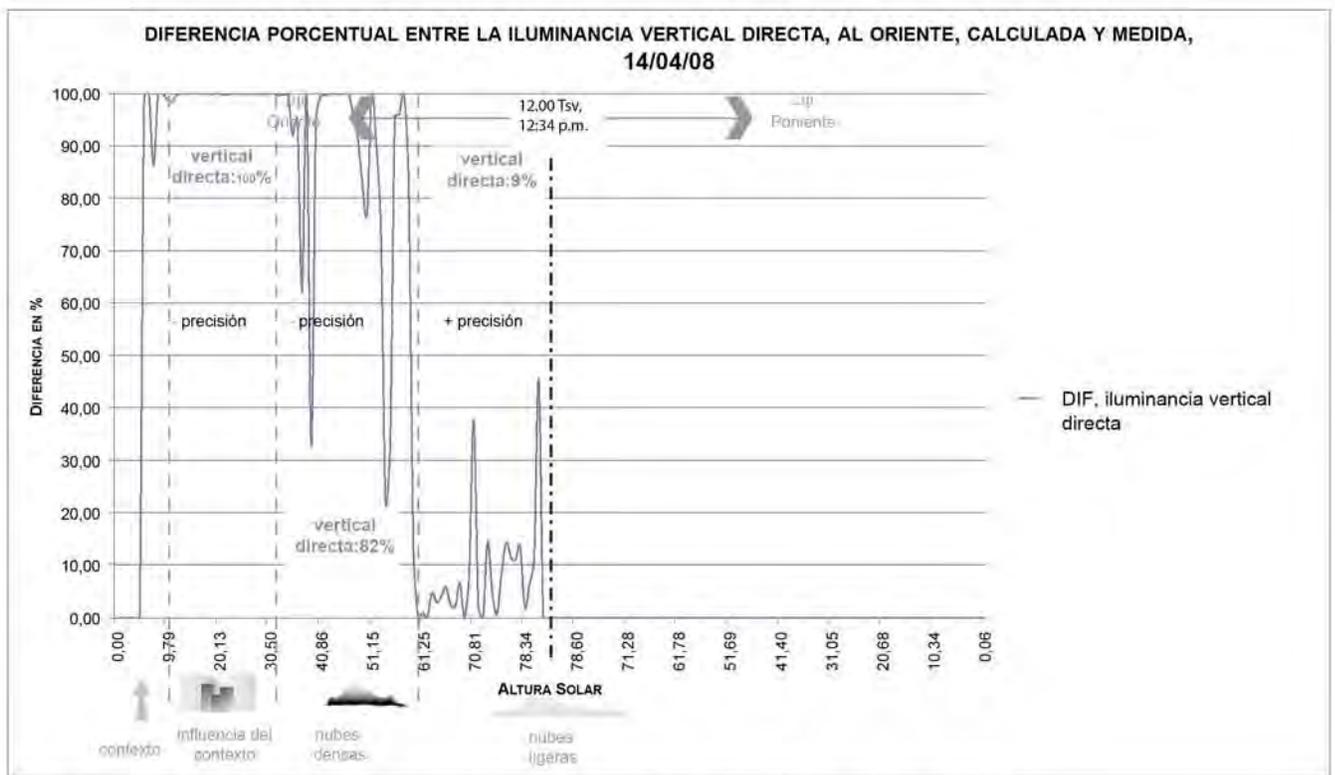
GRÁFICA: ILUMINANCIA VERTICAL DIRECTA, AL ORIENTE, CALCULADA Y MEDIDA, 14/04/08

Esta gráfica muestra la iluminancia vertical directa al Oriente, por lo tanto la curva termina a una altura solar de 79.77°, cuando el Sol esta en su punto más alto a las 12 del día en Tiempo Solar Verdadero y a las 12:34 p.m. Hora Oficial o Local para el día 14 de abril de 2008, a partir de este punto el sensor vertical al Oriente no recibe iluminancia directa.

En las primeras horas del día, hasta una altura solar de 31° grados, la influencia del contexto lleva a que la iluminancia vertical directa medida sea casi nula a diferencia de la calculada. Posteriormente, entre la altura solar de 31° grados a 61° grados la iluminancia vertical directa medida muestra gran diferencia en comparación



Gráfica: Iluminancia vertical global, al Oriente, calculada y medida (resultado de la resta de la iluminancia vertical global y difusa), 14/04/08



Gráfica: Diferencia porcentual entre la iluminancia vertical directa, al Oriente, calculada y medida, 14/04/08

de la calculada, la medida presenta valores cercanos a 0 a excepción de algunos momentos donde presenta valores positivos de 18 klux ($at=39^\circ$), esto se debe a la presencia de nubes densas, como las de un cielo nublado, las cuales no dejan pasar la luz solar. Este último valor de iluminancia vertical directa medida es inferior a la iluminancia vertical directa calculada con 27 klux ($at=39^\circ$).

Posteriormente, a partir de una altura solar de 61° grados, los valores de la iluminancia vertical directa medida y calculada son muy similares.

Tabla 6.7 resumen con la comparación de la iluminancia vertical directa calculada y medida

Tsv	Ho	at	Iluminancia vertical directa calculada	Iluminancia vertical directa medida	Diferencia
tiempo solar	hora local	altura solar			
hrs	hr:min	°	klx	klx	klx
8.55	09:09 AM	39	27	18	9

GRÁFICA: DIFERENCIA PORCENTUAL ENTRE LA ILUMINANCIA VERTICAL DIRECTA, AL ORIENTE, CALCULADA Y MEDIDA, 14/04/08

Esta gráfica muestra la diferencia porcentual de la comparación de la iluminancia vertical directa, al Oriente, calculada y medida in situ el día 14 de abril de 2008. Para este día y para esta orientación los cálculos y las mediciones de la iluminancia vertical directa son casi iguales en presencia de nubes ligeras y en donde la altitud solar es mayor de 61° grados. Para este periodo el valor de la diferencia porcentual de la iluminancia vertical directa calculada y medida es del 9%.

Posteriormente, la diferencia porcentual de la iluminancia vertical directa de la calculada y la medida aumenta al 82%, en el periodo en donde la altitud solar es mayor de 31° grados hasta 61° grados por la mañana, con la presencia de nubes densas, ya que no corresponden a las de un cielo parcialmente nublado, como lo contempló el cálculo, sino a las de un cielo nublado.

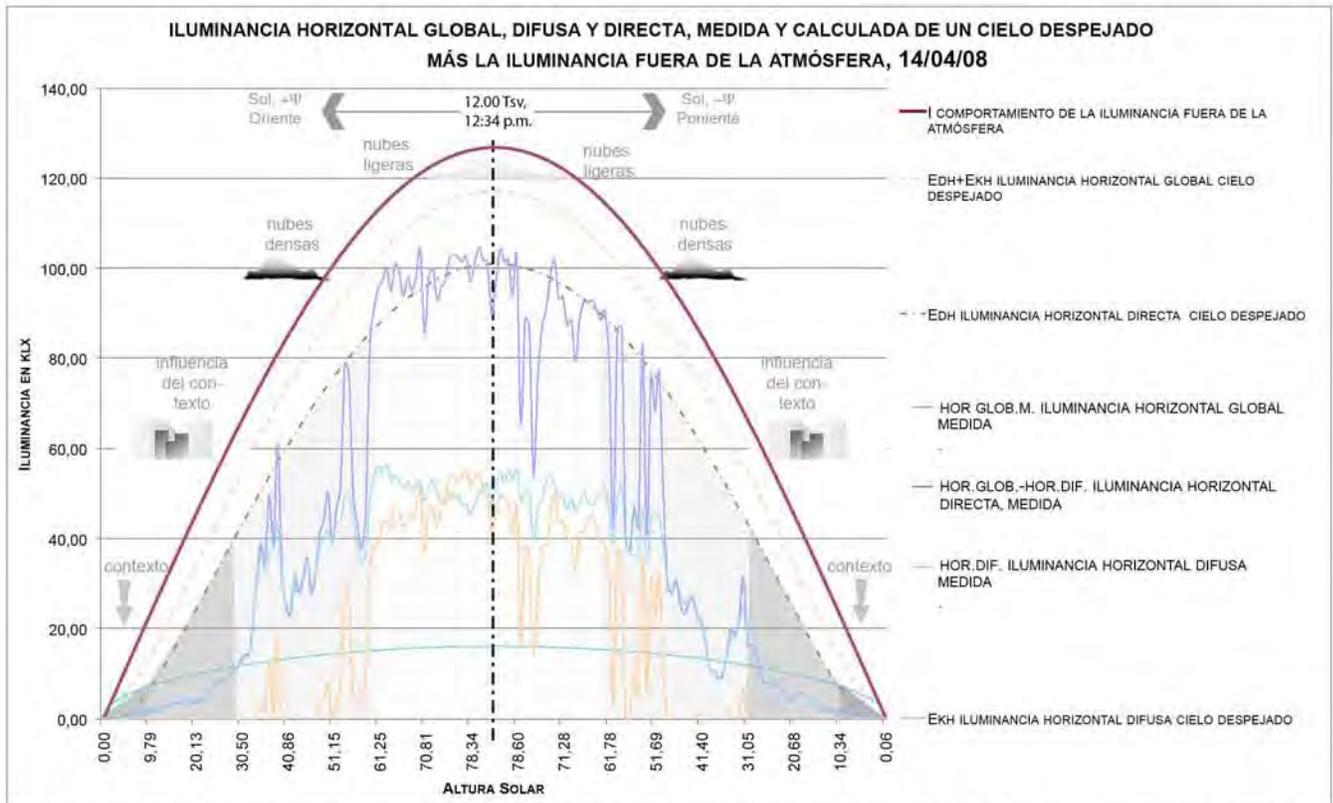
Por último, existe más diferencia porcentual de la iluminancia vertical directa calculada y medida cuando hay influencia del contexto o cuando la altitud solar es menor de 31° , aproximadamente, para esta orientación dentro del Centro Histórico de la Ciudad de México, ésta es del 100%.

La diferencia porcentual promedio del día astronómico de la iluminancia vertical directa es del 65%.

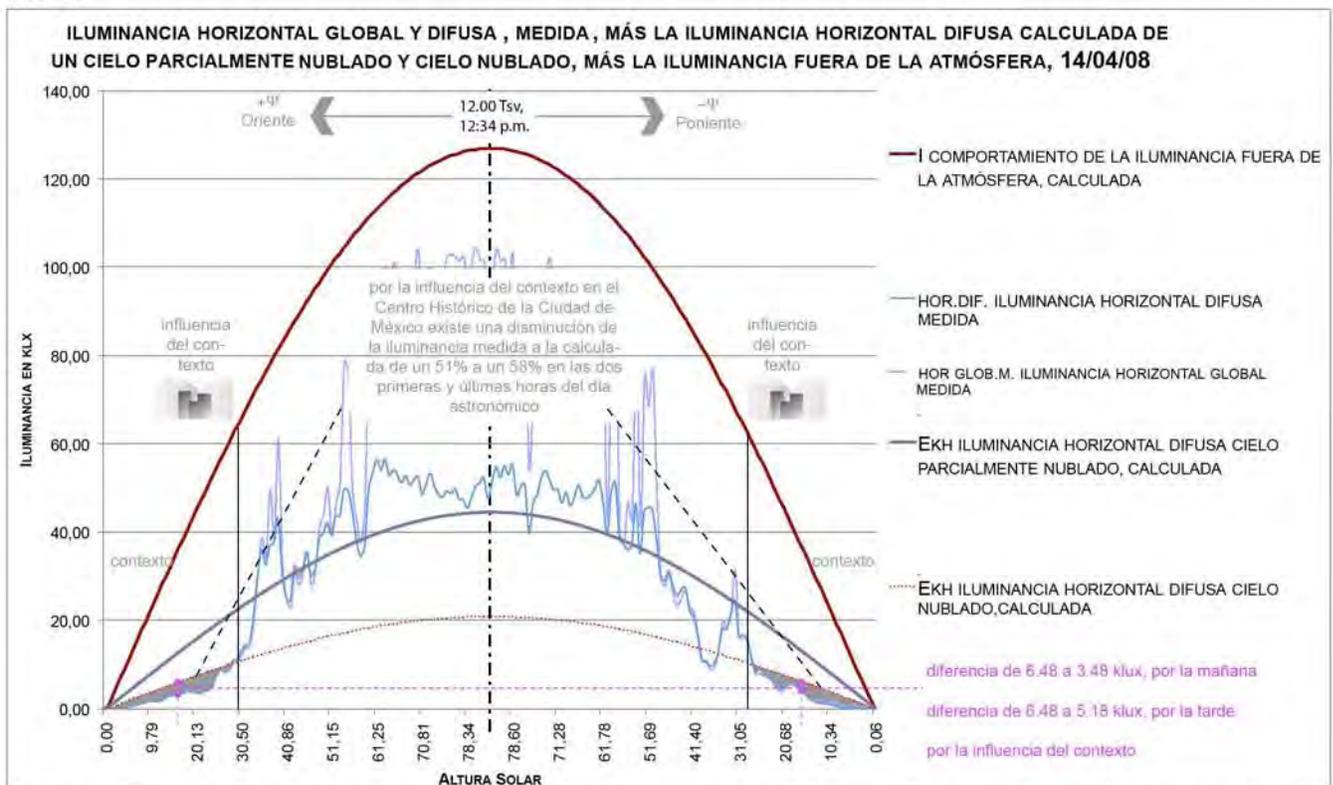
(Ver tabla: Tabla 7. con la diferencia en porcentaje de la comparación de las iluminancias medidas y calculadas para los diferentes periodos)

CONCLUSIONES

Los resultados de los cálculos de la Disponibilidad de Luz Natural para el día 14 de abril de 2008 no representan exactamente la iluminancia medida in situ, por varias razones. Una puede ser la falta de precisión de los algoritmos para el pronóstico de la iluminancia horizontal global, directa y difusa así como de la iluminancia vertical directa, determinados por la IESNA, aunado a esto los algoritmos muestran sólo un promedio de valores medidos en todo el mundo. Otra posible razón es la influencia de los elementos y algunos factores climáticos y atmosféricos de la Cuenca de la Ciudad de México, como la topografía y la densidad de las nubes de este día en particular. Así lo determinado por el promedio de la Razón de Cielo no corresponde fielmente a la cantidad y densidad de las nubes del cielo bajo el cual fueron hechas las mediciones en el Centro Histórico de la Ciudad de México, por una parte porque el estudio de la Razón de Cielo se realizó a 12 kilómetros de distancia del sitio de interés (a falta de los valores de radiación difusa en un punto más cercano o en el mismo sitio de estudio). Y por otra porque los algoritmos contemplan un tipo de cielo promedio que puede no corresponder exactamente a las condiciones de cielo del Centro Histórico de la Ciudad de México. Por lo tanto, también existe la posibilidad de que



Gráfica: Iluminancia horizontal global, difusa y directa, medida y calculada de un cielo despejado, más la iluminación fuera de la atmósfera, 14/04/08



Gráfica: Iluminancia horizontal global y difusa, medida, más la iluminación horizontal difusa calculada de un cielo parcialmente nublado y cielo nublado, más la iluminación fuera de la atmósfera, 14/04/08

la turbiedad atmosférica del Centro Histórico de la Ciudad de México influya en la cantidad de iluminancia medida in situ. Se supone que la turbiedad de la atmósfera puede disminuir la iluminancia directa mientras que aumenta la iluminancia difusa.

Por la lectura de las diferencias porcentuales por cada periodo establecemos que en el periodo central del día astronómico, por su altura solar y por el correcto pronóstico del tipo de cielo, los cálculos de iluminancia muestran más precisión respecto a la iluminancia medida el día y en el sitio de estudio. A comparación del periodo, con nubes densas y con una altitud solar menor de 61° grados, ya que el tipo de cielo seleccionado para los cálculos no coincide con el tipo de cielo real y posiblemente también por la altitud solar influenciada por el contexto. Y a comparación del periodo con una altitud solar menor de 31° grados, el cual tiene una clara influencia del contexto, la cual no contemplan los cálculos de iluminancia.

Tal vez, en el caso en donde el promedio del día sea de un cielo parcialmente nublado, sería conveniente hacer un análisis por bloques de tres horas, de 6-9, 9-12, 12-15, 15-18 horas, con el fin de determinar para cada bloque un tipo de cielo y aplicar las ecuaciones correspondientes a cada tipo de cielo. Así, habría más precisión entre los valores de la iluminancia calculada y la medida.

En el día de estudio aún comparando el periodo central del día astronómico con un tipo de cielo despejado, que sería el que correspondería a tal periodo, se puede ver en la gráfica: Iluminancia horizontal global, difusa y directa, medida y calculada de un cielo despejado, más la iluminancia fuera de la atmósfera, 14/04/08, que los valores de iluminancia horizontal global medidos son inferiores a los valores de la iluminancia horizontal global calculada. También los valores de iluminancia horizontal difusa y directa medidos son significativamente menores que los de la iluminancia horizontal difusa y directa calculados con un cielo despejado.

La influencia del contexto en los primeros y últimos 31° grados, aproximadamente, de altitud solar hasta las 8:33 a.m. por la mañana y a partir de las 4:41 p.m. por la tarde Hora Local, aproximadamente, es significativa. Al parecer el contexto obstruye los rayos solares lo que tiene repercusiones en la iluminancia del sitio de estudio. (Ver imagen: Gráfica Solar indicando la influencia del contexto en los primeros y últimos 30° grados de altura solar).

Para conocer la influencia del contexto en los primeros y últimos 31° grados de altitud solar, lo que corresponde a las primeras y últimas horas del día 14 de abril de 2008 se compara iluminancia horizontal difusa medida con la iluminancia horizontal difusa calculada para un tipo de cielo nublado (para mayor precisión de la iluminancia medida con la calculada), por lo que se establece que la disminución de la iluminancia horizontal difusa medida de la iluminancia horizontal difusa calculada, por la influencia del contexto, es del 48%, aproximadamente, en las dos primeras horas del día astronómico y del 58%, en las dos últimas horas del día astronómico. (Ver tabla: Tabla 8. resumen con la disminución promedio de la iluminancia horizontal difusa medida de la calculada con un tipo de cielo nublado en las primeras y últimas dos horas del día astronómico, a consecuencia de la influencia del contexto) Con lo que en vez de tener a una altura solar de 17.11° grados por la mañana, una iluminancia horizontal difusa de 6.48 klux, con un tipo de cielo nublado, tenemos una iluminancia horizontal difusa de 3.48 klux y por la tarde en vez de tener una iluminancia horizontal difusa de 6.48 klux, con cielo nublado, tenemos una iluminancia horizontal difusa disponible de 5.18 klux. (Ver Gráfica: Iluminancia horizontal global y difusa, medida, más la iluminancia horizontal difusa calculada de un cielo parcialmente nublado y cielo nublado, más la iluminancia fuera de la atmósfera, 14/04/08)

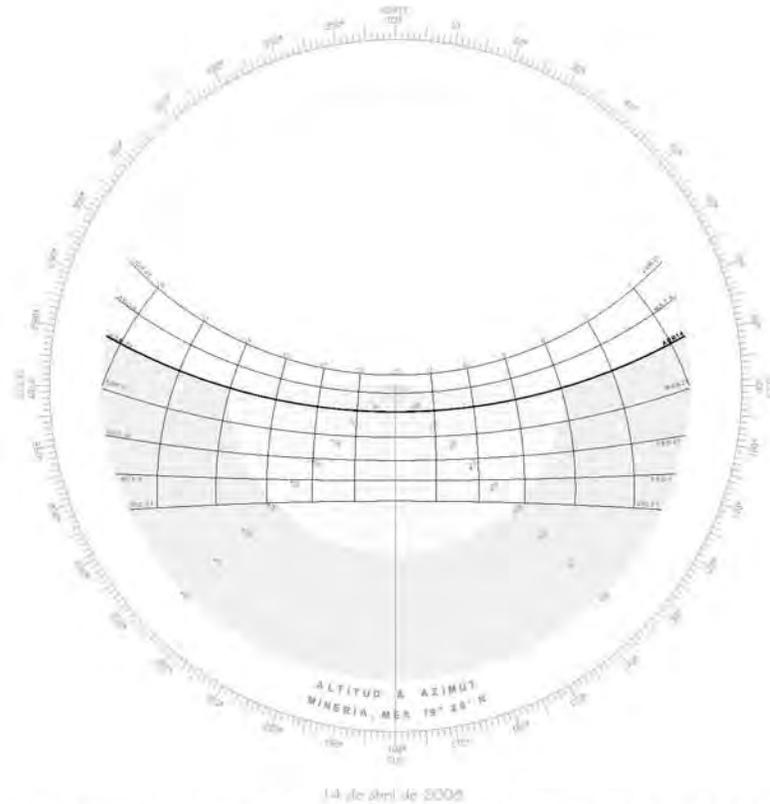
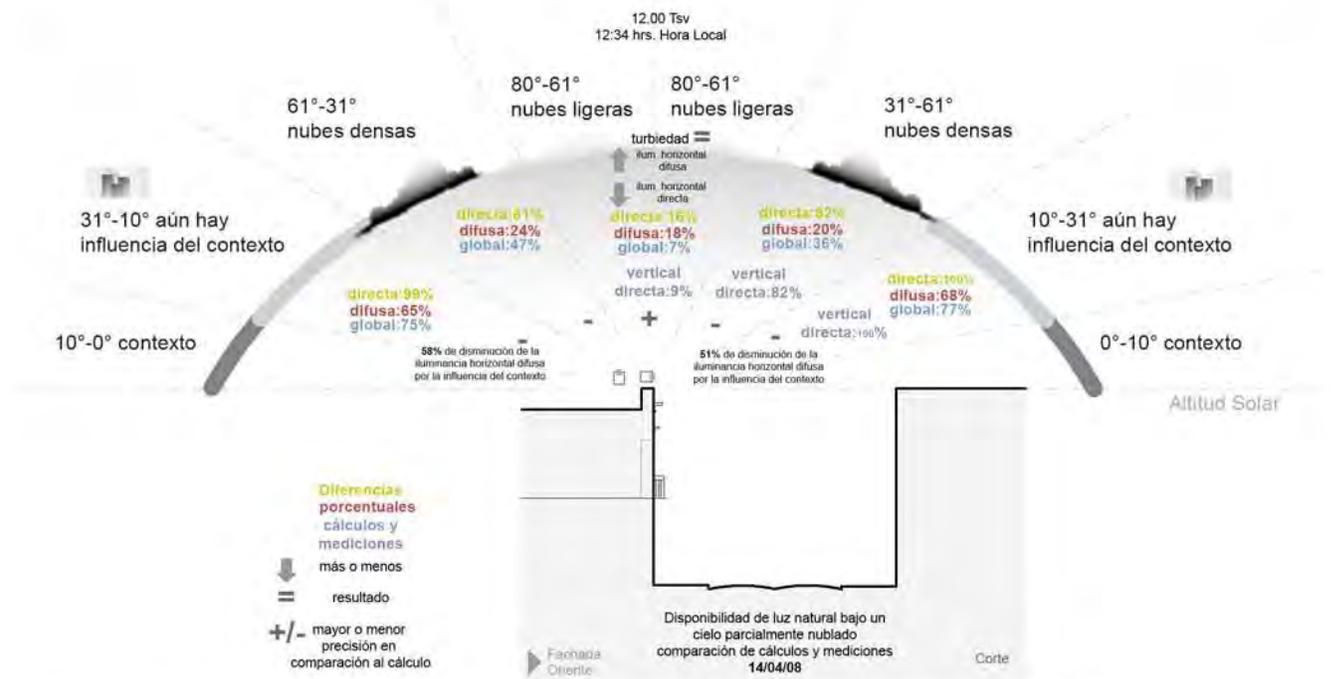


Imagen: Gráfica Solar indicando la influencia del contexto en los primeros y últimos 30° grados de altura solar.



Disponibilidad de Luz Natural bajo un cielo parcialmente nublado, comparación de cálculos y mediciones, 14/40/08

Tabla 8 con la disminución promedio de la iluminancia horizontal difusa medida de la calculada con un tipo de cielo nublado en las primeras y últimas dos horas del día astronómico, a consecuencia de la influencia del contexto

Ho hr:min	Ho hr:min	at, aprox.	Diferencia de la Iluminancia horizontal difusa , para un cielo nublado
desde	hasta	°	
06:21 AM	08:33 AM	0-31	48%
04:41 PM	06:49 PM	31-0	58%

Es importante diferenciar la iluminancia directa y difusa de la iluminancia global, ya que son éstos dos componentes con los que se trabaja en los interiores arquitectónicos. Generalmente, es la luz difusa la que nos permite realizar mayor número de tareas y nos da la oportunidad de permanecer más tiempo en el espacio interior, sin que ésta sobrecaliente el espacio o nos cause incomodidad por los brillos generados por los rayos solares. Aunque también es importante que los espacios interiores habitables cuenten con la incidencia de luz solar, por un mínimo de horas al día.

Para un análisis comparativo más contundente de la iluminancia horizontal directa calculada y medida es necesario contar con la instrumentación necesaria para realizar mediciones de iluminancia horizontal directa in situ, al no contar con esta instrumentación, la iluminancia horizontal directa fue obtenida por la diferencia de la iluminancia horizontal difusa de la global, lo que condiciona a la iluminancia horizontal directa de las mediciones de la iluminancia horizontal difusa y no se puede analizar de manera independiente.

LUZ NATURAL DENTRO DEL CAÑÓN URBANO DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

INTRODUCCIÓN

Es importante conocer la Disponibilidad de la Luz Natural en el sitio de interés, así como la modificación que sufre ésta en un ambiente urbano, ya que la luz natural incidente en el espacio urbano es la que iluminará los interiores arquitectónicos.

El objetivo es saber qué cantidad de iluminancia tenemos dentro del Cañón Urbano (espacio conformado por la vía pública o espacio abierto y el paramento de los edificios que lo delimitan), en el punto donde se localiza la edificación de estudio, a partir de la Disponibilidad de Luz Natural en el sitio de estudio. Esto con el propósito de observar como la traza urbana y los elementos que conforman el espacio urbano modifican los valores de luz natural disponibles para la iluminación natural de la edificación de estudio.

ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

ILUMINACIÓN NATURAL EN EL CAÑÓN URBANO

Existen diferentes métodos introducidos por investigadores en todo el mundo con los cuales se puede estimar la iluminancia en el Cañón Urbano.

La cantidad de luz de día disponible en la ventana de una fachada depende de las condiciones climáticas y de la configuración de obstrucciones urbanas. El clima está determinado por fuerzas naturales, de modo que con lo que se puede trabajar es con el diseño urbano-arquitectónico para maximizar la luz natural incidente en las ventanas. Esto es particularmente importante en zonas urbanas densificadas, donde los edificios son altos y el espacio entre ellos es mínimo, provocando así que las grandes obstrucciones sean inevitables (Cheung y Chung, 05).

El nivel de luz de día en un interior depende de la cantidad de luz natural disponible en la fachada, el diseño de ventanas y la disposición en el interior arquitectónico. La adecuada incidencia de luz en la ventana de la fachada es de suma importancia porque sin suficiente luz natural en la ventana, el interior no estará bien iluminado aunque el diseño de ventana e interiores sean óptimas (Cheung y Chung, 05).

Se entiende que dentro del Cañón Urbano la luz recibida, en un punto de referencia, proviene de dos fuentes: la luz del sol y la luz difusa del cielo. Bajo condiciones de cielo nublado, la iluminancia en un punto en el cañón proviene del cielo y de la luz difusa reflejada dentro del cañón. Bajo condiciones de cielo soleado, como con cielo parcialmente nublado y cielo despejado, la iluminancia en un punto dentro del cañón también incluye luz directa del sol y luz solar reflejada en el interior del Cañón Urbano. Una estimación de la iluminancia en un

punto de referencia se separa en componentes directos e indirectos, tanto del cielo como del sol. (Chaiyakul, 04) (Ver Imagen: Diagrama de la luz de día en un punto de referencia en un Cañón Urbano: (a) luz directa y luz indirecta del cielo; (b) luz directa e indirecta del Sol, Chaiyakul, 04)

El albedo del suelo es un factor importante, ya que presenta diferentes características según su composición, y es un factor que establece una clara diferencia entre el medio natural y el urbano, pues en este último predominan las superficies pavimentadas y asfaltadas. Un pavimento oscuro refleja poco la luz, por ello, aporta al ambiente menos iluminación (Higuera, 06). El albedo determina el grado de absorción o reflexión de la radiación (onda corta y onda larga) en una superficie... Su valor varía de acuerdo con el ángulo de incidencia de los rayos solares incrementándose considerablemente con ángulo agudos (Zeevaert, 84). (Ver tabla: Tabla 1. con albedo de materiales y Tabla 2 con reflectancias típicas bajo luz difusa)

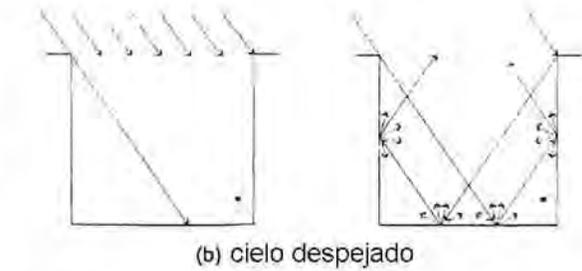
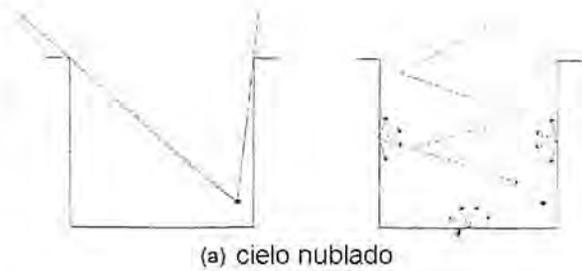


Diagrama de la luz del día en un punto de referencia en un Cañón Urbano: (a) luz directa y luz indirecta del cielo; (b) luz directa e indirecta del Sol, (Chaiyakul, 04)

Tabla 1. con albedo de materiales, obtenidos por diferentes investigadores (Zeevaert, 84)		
Superficie	Albedo	Fuente
Pasto seco	0.28-0.32	Dogniaux (1973)
Pasto	0.25	Monteith (1961)
Tierra	0.17	Monteith (1961)
Arena seca	0.18	Angstrom (1925)
Arena húmeda	0.09	Angstrom (1925)
Asfalto	0.15	Holder y Greenland (1951)
Concreto	0.20	Page (1973)
Concreto limpio	0.55	Dogniaux (1973)
Tabla 1. con albedo de materiales, (Stull, 00, retomado de Jáuregui, 06)		
Edificios	0.09	
Urbano, medio	0.15	
Piedras	0.20-0.30	
Nieve, fresca	0.75-0.90	
Nieve, vieja	0.35-0.70	

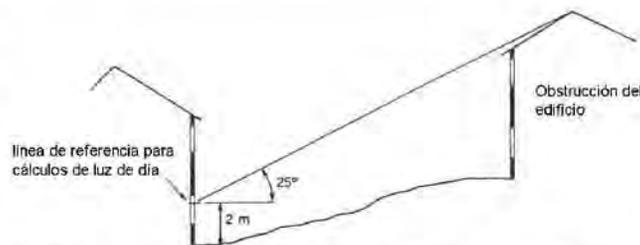
Tabla 2 con reflectancias típicas bajo luz difusa (Tregenza y Loe, 98)	
Pavimentación	0.2
Vegetación	0.1
Piedra Portland	0.6
Ladrillo blanco vidriado	0.7
Piedra caliza mediana	0.4
Concreto	0.4
Ladrillo, pulido	0.3
Ladrillo, rojo	0.2
Granito	0.2
Ventanas de vidrio	0.1
Árboles	0.1

En entornos urbanos densos donde la vista hacia el exterior de una fachada del edificio puede constituir sólo una pequeña porción del cielo y una gran área de las superficies de la obstrucción, la luz reflejada de las obstrucciones y del suelo podrían contribuir más a la luz de día en la fachada vertical que la luz directa del cielo (Cheung y Chung, 05).

El Factor de Luz de Día Vertical (VDF¹), que incluye la luz directa del cielo y la luz reflejada del suelo y de las obstrucciones, podría utilizarse para la medir la Disponibilidad de Luz Natural en las fachadas verticales en situaciones urbanas con grandes obstrucciones. El Factor Luz de Día Vertical se define como el cociente entre la iluminancia en un punto en una superficie vertical de la luz directa o indirecta del cielo y la iluminancia sobre un plano horizontal, con un hemisferio sin obstáculos del mismo cielo. El VDF puede dividirse en cuatro componentes (Cheung y Chung, 05), según Cheung y Chung en 2005:

1. Componente Vertical de Cielo, luz directa del cielo
2. Componente Reflejado de las Obstrucciones, luz del cielo reflejada directamente de la obstrucción
3. Componente Reflejado del Suelo, luz del cielo reflejada directamente del suelo
4. Componente Reflejado en el Interior, múltiples reflexiones en la cavidad formada por los edificios y el suelo.

Littlefair, en 2001, utiliza el Componente Vertical de Cielo para cuantificar la luz de día en las fachadas verticales y con esto propone los Componentes Críticos Verticales de Cielo para varios rangos de latitud en referencia al Ángulo Crítico de Obstrucción, que forman dos edificaciones enfrentadas con un espacio público de distancia. El Componente Vertical de Cielo se define como el cociente entre la iluminancia directa del cielo, en un punto en una pared vertical o en la ventana, y la iluminancia sobre un plano horizontal sin obstrucciones bajo el mismo cielo. Se utiliza la norma CIE para un cielo nublado y la proporción suele ser expresada como porcentaje. El valor máximo es de casi el 40% de una pared vertical sin ninguna obstrucción (Littlefair, 01). (Ver tabla: Tabla 3. con ángulos de separación sugeridos para la luz del cielo) (Ver imagen: Sección de un edificio que muestra un Ángulo de Obstrucción de 25°. Para los edificios nuevos el Ángulo de Obstrucción se mide 2 metros sobre el suelo; para los edificios existentes del centro de la ventana)



Sección de un edificio que muestra un Ángulo de Obstrucción de 25°. Para los edificios nuevos el Ángulo de Obstrucción se mide 2 metros sobre el suelo; para los edificios existentes del centro de la ventana (Littlefair, 91)

Tabla 3. con ángulos de separación sugeridos para la luz del cielo, (Littlefair, 91)

Latitud	Ángulo Crítico de Obstrucción	Componente Crítico Vertical de Cielo
°	°	%
Hasta 40	40	18
40-45	35	21
45-50	30	24
50-55	25	27
55-60	22	29
60+	20	30

1 Por sus siglas en inglés *Vertical Daylight Factor* (VDF)

ANÁLISIS, COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA DISMINUCIÓN LUMÍNICA DENTRO DEL CAÑÓN URBANO EN EL SITIO Y DÍA DE ESTUDIO, BAJO CONDICIONES DE CIELO REAL

Las mediciones evaluaron la iluminancia tanto en la azotea del edificio como dentro del Cañón Urbano de la calle Isabel La Católica, entre las calles de Mesones y República del Salvador, en el Centro Histórico de la Ciudad de México a la altura del número 67. (Ver tabla: Tabla 4. con la ubicación de los fotómetros para las mediciones de iluminación, dentro del Cañón Urbano) Con estas mediciones se compara y establece la disminución de la iluminancia horizontal global y la iluminancia vertical global, medidas en la azotea del edificio, con la iluminancia horizontal global y la iluminancia vertical global, dentro del Cañón Urbano, a la altura del primer piso del edificio de estudio.

Tabla 4. con la ubicación de los fotómetros para las mediciones de iluminación, dentro del Cañón Urbano			
Mediciones en Isabel la Católica No. 67			
Ubicación de fotómetros			
A.	Azotea		
	No. Fotómetro	Ubicación	Abreviaturas en gráficas
	3	Vertical fachada global	ver.glob.
	4	Vertical fachada oriente difusa	ver.dif.
	11	Horizontal global maqueta	hor.glob.m.
C.	Salón Principal		
	No. Fotómetro	Ubicación	Abreviaturas en gráficas
	21	Horizontal en balcón	hor.global.b
	22	Vertical en balcón a 75cm puerta A	ver.f.A.
	23	Vertical en balcón a 75cm puerta B	ver.f.B.

TABLA 5. CON LA COMPARACIÓN DE LA ILUMINANCIA HORIZONTAL GLOBAL Y LA ILUMINANCIA VERTICAL GLOBAL, MEDIDAS EN LA AZOTEA DEL EDIFICIO DE ESTUDIO, Y LA ILUMINANCIA HORIZONTAL GLOBAL Y LA ILUMINANCIA VERTICAL GLOBAL, MEDIDA EN EL CAÑÓN URBANO DE ESTUDIO, BAJO UNA CONDICIÓN DE CIELO REAL EN ESTE CASO, CIELO PARCIALMENTE NUBLADO

Esta tabla muestra los resultados en iluminancia de las mediciones realizadas in situ, específicamente en la azotea del edificio y sobre la fachada del edificio, a la altura del primer nivel, dentro del Cañón Urbano, relacionadas a la altura solar y al Tiempo Solar Verdadero. La iluminancia horizontal global medida en azotea es comparada con la iluminancia horizontal global medida sobre el balcón del edificio, con el fin de conocer la disminución de la iluminancia horizontal global dentro del Cañón Urbano de estudio. Así mismo, la iluminancia vertical global medida en azotea es comparada con la iluminancia vertical global medida, por un lado, vertical sobre la puerta A y por el otro vertical sobre la puerta B del edificio, a la altura del primer nivel dentro del Cañón Urbano.

TABLA 6. CON LA DISMINUCIÓN DE LA ILUMINANCIA HORIZONTAL GLOBAL Y LA ILUMINANCIA VERTICAL GLOBAL, MEDIDAS EN LA AZOTEA DEL EDIFICIO DE ESTUDIO Y EN EL CAÑÓN URBANO DE ESTUDIO, BAJO UNA CONDICIÓN DE CIELO REAL EN ESTE CASO, CIELO PARCIALMENTE NUBLADO

La tabla muestra los promedios de la disminución de la iluminancia horizontal global y la iluminancia vertical global, los cuales corresponden a los periodos de la influencia de nubes densas o de nubes ligeras y a la influencia del contexto con respecto a la posición del Sol. La posición del Sol es importante ya que la fachada, enfrentada al Oriente, tendrá incidencia de los rayos solares por la mañana hasta que la altura solar alcance el cenit, después de este momento habrá, por la tarde, incidencia de luz difusa en la fachada Oriente de estudio.

Tabla 5. con la comparación de la iluminancia horizontal global y la iluminancia vertical global, medidas en la azotea del edificio de estudio, y la iluminancia horizontal global y la iluminancia vertical global, medida en el Cañón Urbano de estudio, bajo una condición de cielo real en este caso, cielo parcialmente nublado

Tsv	Ho	at	iluminancia horizontal global			iluminancia vertical global				
			hor.glob	hor.global b.	Dis.	ver.glob	ver.f.A	Dis. fachada puerta A	ver.f.B	Dis. fachada puerta B
tiempo solar verdadero	hora local	altura solar	azotea	balcón	disminución	azotea	fachada, puerta A	disminución	fachada, puerta B	disminución
hrs	hr:min	°	klx	klx	%	klx	klx	%	klx	%
6.00	06:34 AM	3.05	0.00	0.14	0.00	0.10	0.05	43.68	0.07	24.61
7.00	07:34 AM	17.11	3.34	1.77	46.99	1.57	0.91	41.92	0.93	40.74
8.00	08:34 AM	31.24	12.18	6.43	47.17	5.70	3.27	42.67	3.34	41.34
9.00	09:34 AM	45.35	30.41	18.41	39.47	14.89	9.08	38.99	9.32	37.41
10.00	10:34 AM	59.25	45.51	30.56	32.83	26.16	16.55	36.73	16.57	36.68
11.00	11:34 AM	72.25	97.98	76.67	21.75	35.88	27.78	22.57	28.90	19.44
12.00	12:34 PM	79.77	89.88	42.62	52.58	16.00	9.37	41.44	9.58	40.11
13.00	01:34 PM	72.25	102.2	15.40	84.93	14.35	8.28	42.31	8.55	40.41
14.00	02:34 PM	59.25	86.58	16.03	81.49	16.45	9.25	43.80	9.47	42.46
15.00	03:34 PM	45.35	25.57	10.59	58.56	10.15	5.57	45.11	5.72	43.69
16.00	04:34 PM	31.24	31.47	6.55	79.18	8.08	4.26	47.23	4.39	45.62
17.00	05:34 PM	17.11	5.00	2.45	50.96	2.18	1.15	47.22	1.13	48.41
18.00	06:34 PM	3.05	0.00	0.06	0.00	0.06	0.04	33.33	0.01	83.33
Promedio del día astronómico					50%			42%		41%

Tabla 6. con la disminución de la iluminancia horizontal global y la iluminancia vertical global, medidas en la azotea del edificio de estudio y en el Cañón Urbano de estudio, bajo una condición de cielo real en este caso, cielo parcialmente nublado

Ho		at	iluminancia horizontal global			iluminancia vertical global				
			hor.glob	hor.global b.	Dis.	ver.glob	ver.f.A	Dis. fachada puerta A	ver.f.B	Dis. fachada puerta B
desde	hasta	°	azotea	balcón	disminución	azotea	fachada, puerta A	disminución	fachada, puerta B	disminución
			klx	klx	%			%		%
06:21 AM	07:09 AM	0-10	0.59	0.37	24	0.32	0.18	40	0.19	41
07:13 AM	08:33 AM	10-31	5	3	48	3	1	43	1	40
08:37 AM	10:41 AM	31-61	42	29	34	27	18	38	19	35
10:45 AM	12:34 PM	61-80	98	71	28	33	24	32	24	31
12:41 PM	02:25 PM	80-61	89	16	82	14	8	43	8	42
02:29 PM	04:37 PM	61-31	36	10	68	10	5	46	6	45
04:41 PM	06:01 PM	31-10	6	3	52	3	1	47	1	47
06:05 PM	06:49 PM	10-0	0.46	0.20	61	0.18	0.10	47	0.10	56

GRÁFICA: ILUMINANCIA HORIZONTAL GLOBAL, MEDIDA, EN AZOTEA Y DENTRO DEL CAÑÓN URBANO, 14/04/08

Esta gráfica muestra la iluminancia horizontal global medida en azotea a comparación de la iluminancia horizontal global medida en el balcón dentro del Cañón Urbano de estudio. La variabilidad de los valores lumínicos se debe a que el día 14 de abril de 2008 presentaba un cielo parcialmente nublado y, como ya habíamos mencionado anteriormente, existen periodos de nubes ligeras y periodos de nubes densas, así como la influencia del contexto en los primeros y últimos 31° grados de altitud solar.

Por la mañana, cuando el Sol se encuentra en el Sur-Este, la iluminancia horizontal global medida en azotea presenta, bajo la presencia de nubes ligeras, valores de 104 klux (at=70°) hasta 86 klux (at=71°). Mientras que la iluminancia horizontal global medida en el balcón dentro del Cañón Urbano presenta valores lumínicos, inferiores, de 84 lux (at=70°) hasta 61 klux (at=71°). Por la mañana del día 14 de abril de 2008 en la fachada al Oriente dentro del Cañón Urbano hay incidencia de luz directa y difusa.

Por la tarde, cuando el Sol se encuentra en el Sur-Oeste, la iluminancia horizontal global medida en azotea presenta, bajo la presencia de nubes ligeras, valores de 79 klux (at=69°) hasta 102 klux (at=73°). Mientras que la iluminancia horizontal global medida en el balcón dentro del Cañón Urbano presenta valores, significativamente inferiores, de 12 klux (at=69°) hasta 14 klux (at=73°). Por la posición del Sol así como la orientación de la fachada de estudio al Oriente, la luz natural que incide en el balcón dentro del Cañón Urbano es principalmente luz difusa. Así, mientras la iluminancia horizontal global en azotea es de 102 klux (at=73°), la iluminancia horizontal global disponible en la fachada del edificio es de 14 klux (at=73°). (Ver tabla: Tabla 5.1 resumen con la comparación de la iluminancia horizontal global medida en azotea y dentro del Cañón Urbano

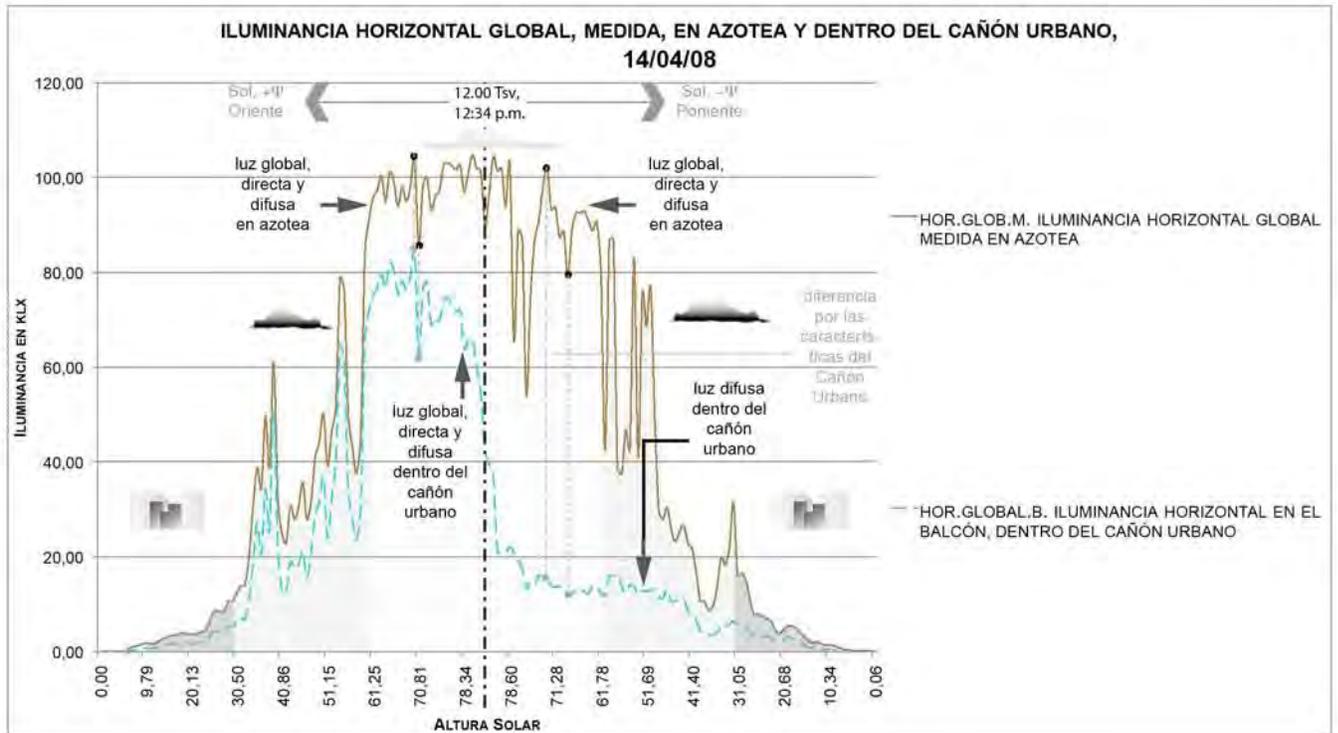
La diferencia de la iluminancia horizontal global, por la mañana, entre la medida en azotea y sobre el balcón de la fachada de estudio dentro del Cañón Urbano, de 20 klux (at=70°) y de 25 klux (at=71°) y por la tarde la diferencia de 67 klux (at=73°) y de 88 klux (at=69°) se deben a las características del Cañón Urbano dentro del Centro Histórico de la Ciudad de México, bajo un cielo parcialmente nublado del día 14 de abril de 2008. Por la tarde, la disminución de la iluminancia horizontal difusa de 88 klux (at=69°) se debe principalmente a las características de los materiales empleados en este espacio, ya que estos son los que absorben y dispersan la luz difusa.

Tabla 5.1 resumen con la comparación de la iluminancia horizontal global medida en azotea y dentro del Cañón Urbano

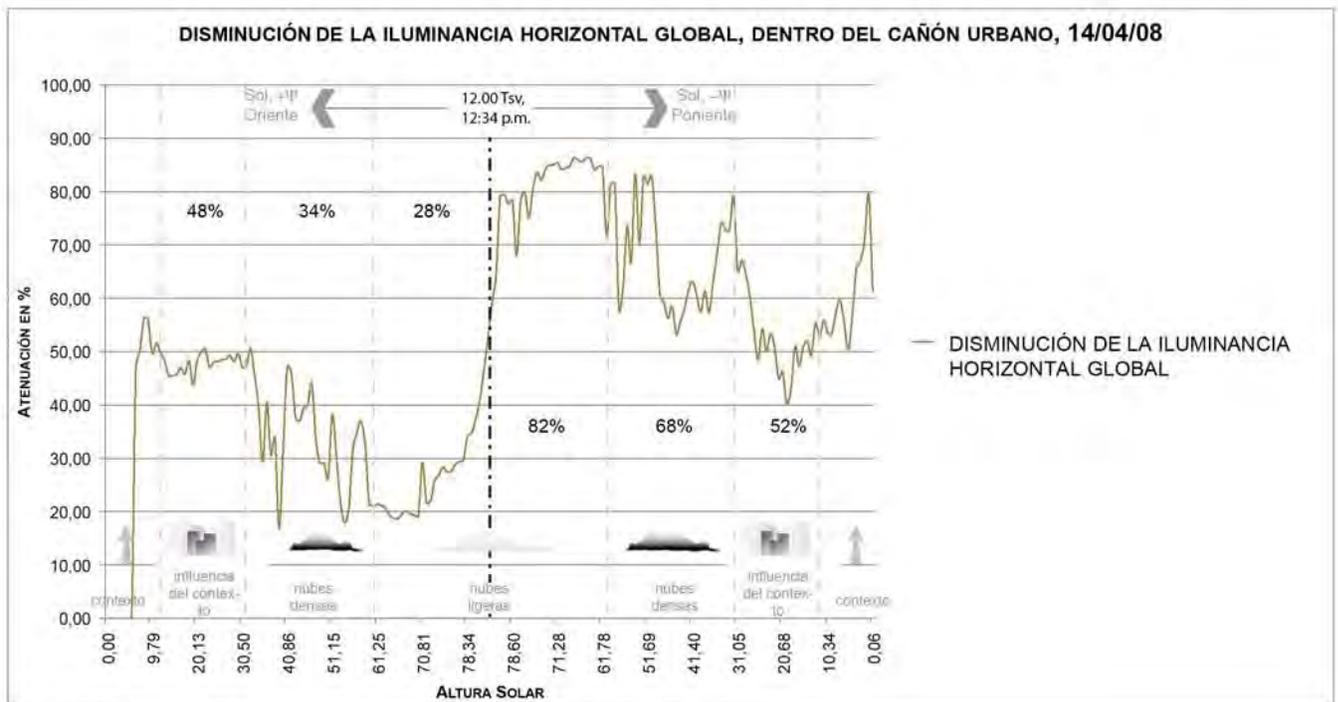
Tsv	Ho	at	Iluminancia horizontal azotea	Iluminancia horizontal Cañón Urbano	Diferencia
tiempo solar	hora local	altura solar			
hrs	hr:min	°	klx	klx	klx
10.81	11:25 AM	70	104	84	20
10.88	11:29 AM	71	86	61	25
12.95	01:33 PM	73	102	14	67
13.28	01:53 PM	69	79	12	88

GRÁFICA: DISMINUCIÓN DE LA ILUMINANCIA HORIZONTAL GLOBAL, DENTRO DEL CAÑÓN URBANO, 14/04/08

La disminución de la iluminancia horizontal global, dentro del Cañón Urbano por la influencia del contexto, en los primeros y últimos 31° grados, muestra una disminución del 48% (en la mañana) y del 52% (en la tarde). El que el valor de estos dos momentos sea similar significa que en estos dos periodos no existe incidencia de rayos en el día de estudio aunado a la influencia del contexto del Centro Histórico de la Ciudad de México. Los valores lumínicos de los primeros y últimos 10° grados de altitud solar no son representativos en este estudio.



Gráfica: Iluminancia horizontal global, medida en azotea y dentro del Cañón Urbano, 14/04/08



Gráfica: Disminución de la iluminancia horizontal global, dentro del Cañón Urbano, 14/04/08

Los datos de la gráfica muestran que, en la primera parte de la mañana cuando el Sol tiene un ángulo acimutal positivo ($+\psi$) y éste incide en la fachada enfrentada al Oriente, la disminución de la iluminancia horizontal global, entre la medida en azotea y sobre el balcón de la fachada de estudio dentro del Cañón Urbano, y bajo un cielo con nubes densas es del 34%, el fotómetro en azotea presenta valores lumínicos promedio de 42 klux y el fotómetro dentro del Cañón Urbano presenta valores promedio de 29 klux. En la segunda parte de la mañana, bajo cielo parcialmente nublado con nubes ligeras, la disminución de la iluminancia horizontal global es del 28%, con valores lumínicos, en azotea de 98 klux y dentro del Cañón Urbano de 71 klux, promedio. En este periodo del día la fachada del edificio de estudio y el fotómetro ubicado en la azotea reciben luz global, que incluye la luz directa y la luz difusa. La iluminancia horizontal global disponible en la fachada del edificio, al Oriente, por la mañana varía de 29 klux (con nubes densas y con una altura solar de 31° a 61° grados, sin la influencia del contexto) a 71 klux (con nubes ligeras y con una altura solar mayor de 61° grados).

La disminución de la iluminancia horizontal global dentro del Cañón Urbano crece a partir de medio día ($at=80^\circ$) cuando el Sol no incide en la fachada de estudio, a 82% (con valores en azotea de 89 klux y dentro del Cañón Urbano de 16 klux, promedio), bajo un cielo con nubes ligeras, y a 68% (con valores promedio en azotea de 36 klux y dentro del Cañón Urbano de 10 klux), bajo un cielo con nubes densas. En este periodo del día la fachada del edificio de estudio recibe luz difusa, tanto del cielo como del reflejo de los edificios enfrentados y del suelo, a comparación del sensor ubicado en azotea, que recibe luz global. La iluminancia horizontal difusa disponible en la fachada del edificio, con orientación Oriente, por la tarde varía de 10 klux (con nubes densas y con una altura solar de 31° a 61° grados, sin la influencia del contexto) a 16 klux (con nubes ligeras y con una altura solar mayor de 61° grados). (Ver tabla: Tabla 6.1 resumen con la disminución de la iluminancia horizontal global, medidas en la azotea del edificio de estudio y en el Cañón Urbano de estudio)

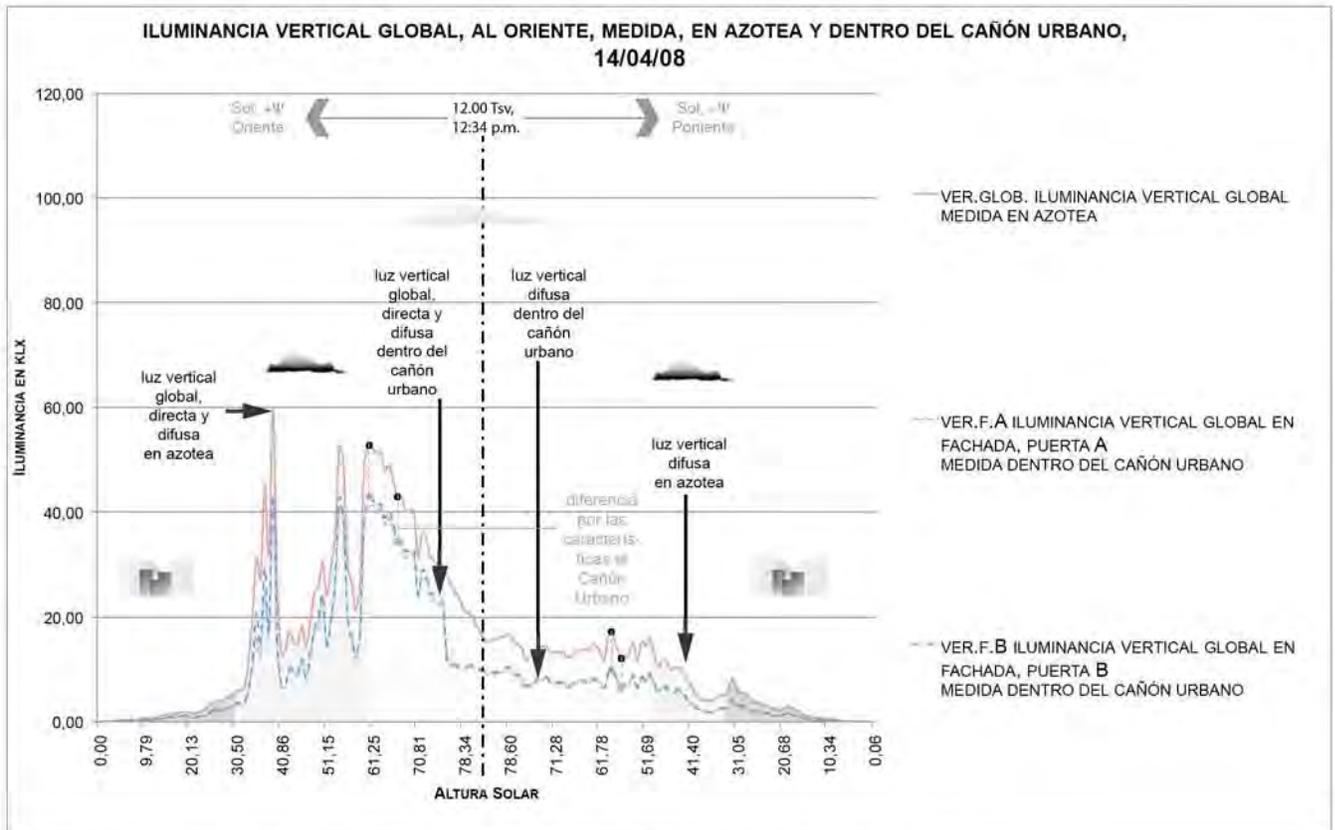
Tabla 6.1 resumen con la disminución de la iluminancia horizontal global, medidas en la azotea del edificio de estudio y en el Cañón Urbano de estudio

Ho		at	iluminancia horizontal global		
			hor.glob	hor.global b.	Dis.
			azotea	balcón	disminución
desde	hasta	°	klux	klux	%
07:13 AM	08:33 AM	10-31	5	3	48
08:37 AM	10:41 AM	31-61	42	29	34
10:45 AM	12:34 PM	61-80	98	71	28
12:41 PM	02:25 PM	80-61	89	16	82
02:29 PM	04:37 PM	61-31	36	10	68
04:41 PM	06:01 PM	31-10	6	3	52

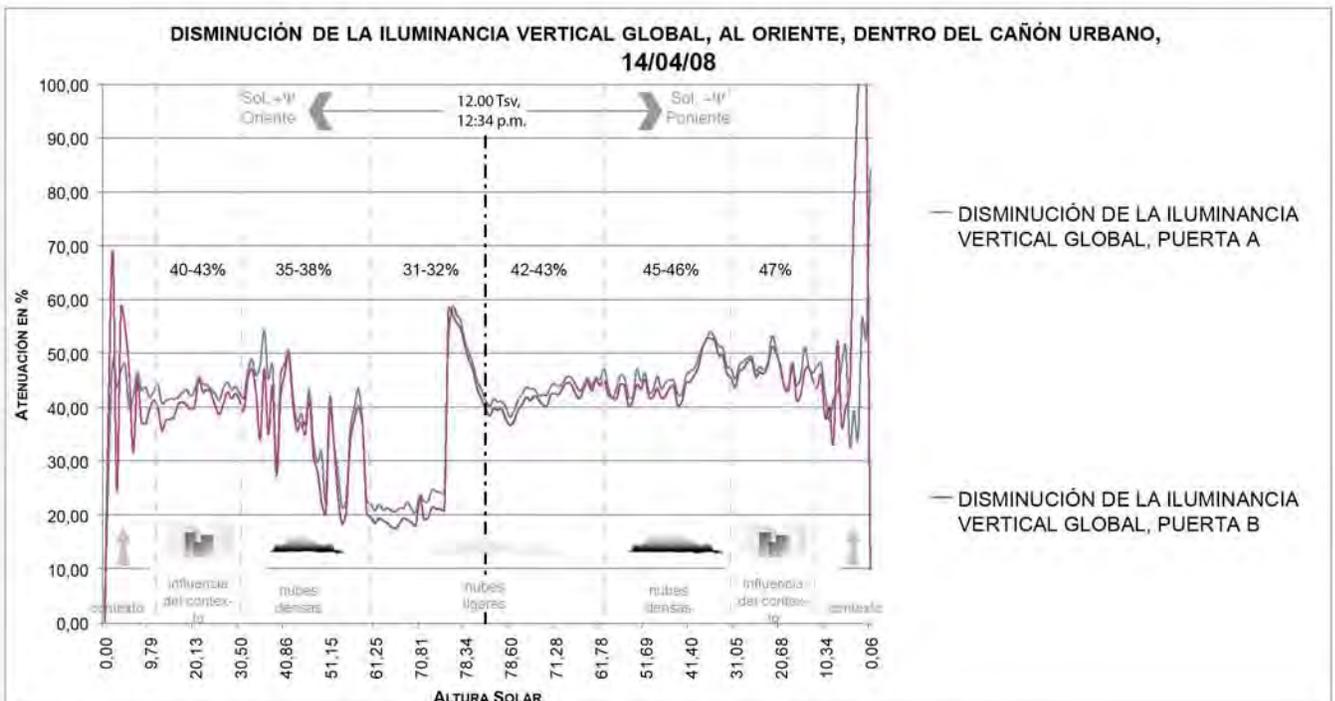
GRÁFICA: ILUMINANCIA VERTICAL GLOBAL, AL ORIENTE, MEDIDA, EN AZOTEA Y DENTRO DEL CAÑÓN URBANO, 14/04/08

Esta gráfica muestra la iluminancia vertical global al Oriente medida en azotea a comparación de la iluminancia vertical global medida sobre la fachada del edificio a la altura del primer nivel en dos puntos, uno sobre la puerta A y el otro sobre la puerta B, dentro del Cañón Urbano.

Por la mañana, cuando el Sol se encuentra en el Sur-Este, la iluminancia vertical global medida en azotea presenta, bajo la presencia de nubes ligeras, valores de 52 klux ($at=61^\circ$) hasta 43 klux ($at=67^\circ$). Mientras que la iluminancia horizontal global medida dentro del Cañón Urbano presenta valores, como promedio de los dos



Gráfica: Iluminancia vertical global, al Oriente, medida, en azotea y dentro del Cañón Urbano, 14/04/08



Gráfica: Disminución de la iluminancia vertical global, al Oriente, dentro del Cañón Urbano, 14/04/08

puntos medidos, de 42 klux ($at=61^\circ$) hasta 33 klux ($at=67^\circ$) estos valores son inferiores a los de la iluminancia vertical global medida en azotea. Por la mañana hasta las 12 del día, en la fachada al Oriente dentro del Cañón Urbano, existe incidencia de la luz directa y difusa.

Por la tarde, cuando el Sol se encuentra en el Sur-Oeste, la iluminancia vertical global medida en azotea presenta, bajo la presencia de nubes ligeras, valores de 17 klux ($at=59^\circ$) hasta 12 klux ($at=57^\circ$). Mientras que el promedio de los dos puntos de la iluminancia vertical global medida dentro del Cañón Urbano es de 9 klux ($at=59^\circ$) a 7 klux ($at=57^\circ$), inferiores a los de la iluminancia vertical global medida en azotea.

La diferencia de la iluminancia vertical global, por la mañana, entre la medida en azotea y sobre el balcón de la fachada de estudio dentro del Cañón Urbano, de 10 klux ($at=60^\circ$ y 67°) y por la tarde la diferencia de 8 klux ($at=59^\circ$) y de 5 klux ($at=57^\circ$) se debe a las características del Cañón Urbano de estudio ubicado en el Centro Histórico de la Ciudad de México el día 14 de abril de 2008, bajo un cielo parcialmente nublado.

En el caso de la iluminancia vertical global al Oriente medida en azotea y dentro del Cañón Urbano, por la tarde, ambas hacen una lectura de luz difusa, por lo tanto en la tarde la diferencia de la iluminancia vertical global de 8 klux ($at=59^\circ$) y de 5 klux ($at=57^\circ$) es menor que la disminución de la iluminancia horizontal global de 88 klux ($at=73^\circ$) y 67 klux ($at=69^\circ$) por la mañana. (Ver tabla: Tabla 5.2 resumen con la comparación de la iluminancia vertical global medida en azotea y dentro del Cañón Urbano)

Tabla 5.2 resumen con la comparación de la iluminancia vertical global medida en azotea y dentro del Cañón Urbano

Tsv	Ho	at	Iluminancia vertical azotea	Iluminancia vertical prom. Cañón Urbano	Diferencia
tiempo solar	hora local	altura solar	klx	klx	klx
hrs	hr:min	"			
10.08	10:41 AM	61	52	42	10
10.61	11:13 AM	67	43	33	10
14.01	02:34 PM	59	17	9	8
14.15	02:45 PM	57	12	7	5

GRÁFICA: DISMINUCIÓN DE LA ILUMINANCIA VERTICAL GLOBAL, AL ORIENTE, DENTRO DEL CAÑÓN URBANO, 14/04/08

Como se mencionó anteriormente, los valores lumínicos de los primeros y últimos 10° grados de altitud solar no son tomados en cuenta en este estudio. Posteriormente, bajo la influencia del contexto de 10° grados hasta 31° grados de altitud solar, la disminución de la iluminancia vertical global en el Cañón Urbano a partir de la iluminancia vertical global en azotea, por la mañana es de un 40% a un 43% con valores lumínicos en azotea de 3 klux y sobre la fachada del edificio de estudio de 1 klux, promedio. Mientras que por la tarde, la disminución de la iluminancia vertical global es de un 47% con valores lumínicos en azotea de 3 klux y sobre la fachada del edificio de estudio de 1 klux, promedio.

La iluminancia vertical global dentro del Cañón Urbano, por la mañana de una altura solar de 31° grados a 61° grados y bajo un cielo con nubes densas, disminuye, a partir de la iluminancia vertical global en azotea de un 38% a un 35% con valores lumínicos en azotea de 27 klux y sobre la fachada del edificio de estudio de 18-19 klux, promedio. En la segunda parte de la mañana de una altura solar de 61° grados a 78° grados y bajo un cielo con nubes ligeras, disminuye de un 32% a un 31%, con valores promedio en azotea de 33 klux y sobre la fachada de 24 klux. En este periodo del día la fachada del edificio de estudio y el sensor ubicado en azotea reciben luz global. La iluminancia vertical global disponible en la fachada del edificio, con orientación Oriente, por la mañana varía de 18-19 klux (con nubes densas y con una altura solar de 31° grados a 61° grados, sin la influencia del contexto) a 24 klux (con nubes ligeras y con una altura solar mayor de 61° grados).

Después de la culminación del Sol, 12.00 Tiempo Solar Verdadero y 12:34 p.m. Hora Oficial o Local, la iluminancia vertical global sobre la fachada, bajo un cielo con nubes ligeras, disminuye un 43% y un 42%, de la medida en azotea, con valores que van desde 14 klux, en azotea y 8 klux en la fachada, promedio. En la segunda parte de la tarde, bajo un cielo con nubes densas, la disminución dentro del Cañón Urbano es del 46% y del 45%, con valores de 10 klux, en azotea a 5-6 klux sobre la fachada. En este periodo del día la fachada del edificio de estudio recibe luz difusa de una parte del cielo así como la luz difusa reflejada de los edificios enfrentados y del suelo, a comparación del sensor ubicado en azotea, que recibe luz difusa del Oriente, aparentemente de un cielo sin obstrucciones. La iluminancia vertical global disponible en la fachada del edificio, al Oriente, por la tarde varía de 5-6 klux (con nubes densas y con una altura solar de 31° grados a 61° grados, sin la influencia del contexto) a 8 klux (con nubes ligeras y con una altura solar mayor de 61° grados).

La disminución de la iluminancia vertical global dentro del Cañón Urbano, por la mañana, es menor que la disminución de la iluminancia horizontal global dentro del Cañón Urbano por la tarde. Esto se debe a que por la tarde la iluminancia vertical global medida en azotea realiza, igual que la iluminancia vertical global medida dentro del Cañón Urbano, hacen una lectura de luz difusa y bajo estas condiciones la disminución dentro del Cañón Urbano es mayor.

Tabla 6.2 resumen con la disminución de la iluminancia vertical global, medidas en la azotea del edificio de estudio y en el Cañón Urbano de estudio, bajo una condición de cielo real en este caso, cielo parcialmente nublado

Ho		at	iluminancia vertical global				
			ver.glob	ver.f.A	Dis. fachada puerta A	ver.f.B	Dis. fachada puerta B
desde	hasta	°	azotea	fachada, puerta A	disminución	fachada, puerta B	disminución
					%		%
07:13 AM	08:33 AM	10-31	3	1	43	1	40
08:37 AM	10:41 AM	31-61	27	18	38	19	35
10:45 AM	12:34 PM	61-80	33	24	32	24	31
12:41 PM	02:25 PM	80-61	14	8	43	8	42
02:29 PM	04:37 PM	61-31	10	5	46	6	45
04:41 PM	06:01 PM	31-10	3	1	47	1	47

CONCLUSIONES

En promedio los valores más altos de disminución de la iluminancia horizontal y vertical global de la medida dentro del Cañón Urbano, a partir de la medida en la azotea del edificio de estudio, los presenta el periodo en donde la altitud solar es menor de 31° grados, por la mañana y por la tarde. Por el análisis de la incidencia de los rayos solares en la arquitectura se tiene que, por ejemplo, por la mañana, por las obstrucciones enfrentadas al edificio de estudio, la luz directa incide recién, a partir de una altitud solar de 17° grados, aproximadamente, en el primer nivel sobre la fachada del edificio de estudio. Por lo tanto, es a partir de este momento donde ambos fotómetros: el que se ubica en azotea y el que se ubica, recibirán luz directa, lo cual reducirá la disminución de la iluminancia horizontal y vertical global de la medida dentro del Cañón Urbano a partir de la medida en la azotea del edificio de estudio.

La disminución de la iluminancia vertical global, sobre la fachada del edificio de estudio, bajo un cielo con nubes densas y con una altitud solar de 31° grados a 61° grados, por la mañana y por la tarde, es mayor que con un cielo con nubes ligeras y con una altitud solar mayor a 61° grados. Es posible que esto se deba a

las características de las nubes y a la altitud solar, ya que ambas generan diferente luminancia del cielo. Las características de las nubes son importantes ya que, al parecer, bajo la influencia de nubes densas (lo que genera luz difusa dentro del Cañón Urbano) la disminución de la iluminancia vertical global es mayor. La causa de esto pueden ser las características de los materiales dentro del Cañón Urbano, los cuales absorben y dispersan la luz dentro de éste espacio, proporcionando menor luz difusa reflejada tanto de las edificaciones como del suelo. Por otro lado, la altitud solar genera diferente luminancia del cielo y ya que el Cañón Urbano no sólo obtiene luz natural de los rayos solares incidentes en éste, sino también de la parte de la bóveda celeste que alcanza a ver, la luminancia del cielo relacionada a la altitud solar juega un rol importante. Se entiende que a mayor altitud solar existe mayor luminancia del cielo en el cenit. (Ver gráfica: Luminancia en el cenit, calculada, 14/04/08, Capítulo 4)

Bajo la ausencia de luz directa sobre la fachada del edificio de estudio, por la tarde del día 14 de abril de 2008, la disminución de la iluminancia horizontal global, sobre la fachada del edificio de estudio, bajo un cielo con nubes ligeras y con una altitud solar mayor a 61° grados es mayor que con un cielo con nubes densas y con una altitud solar menor a 61° grados. La causa de esto puede ser la obstrucción de la misma fachada del edificio de estudio y que la disminución es mayor cuando el fotómetro en azotea recibe más cantidad de iluminancia horizontal global a una altitud solar mayor a 61° grados que a una altitud solar menor a 61° grados, cuando el fotómetro en azotea recibe menos cantidad de iluminancia horizontal global. Con la iluminancia vertical global pasa lo contrario, la disminución es mayor bajo nubes densas y con una altitud solar menor a 61° grados que bajo nubes ligeras y una altitud solar mayor a 61°.

Para conocer la contribución de los diferentes componentes como: el Componente Vertical de Cielo (CVC), el Componente Reflejado de las Obstrucciones (CRO), el Componente Reflejado del Suelo (CRS) y el Componente Reflejado en el Interior (del espacio urbano) (CRI), se le asigna al edificio enfrentado y al suelo, dentro del Cañón Urbano, una reflectancia (en este caso: piedra caliza media = 0.4 y para el pavimento = 0.2). Así, los edificios enfrentados de piedra caliza reflejarán el 40% de la luz incidente y el suelo, en este caso pavimento reflejará el 20% de la luz recibida. Este análisis se lleva a cabo por la tarde, en donde sobre la fachada de estudio incide luz difusa. Así, obtenemos que para la iluminancia horizontal global, el CRO es igual al 40%, con un valor de 2.9 klux; el CRS es igual al 20%, con un valor de 1.5 klux; y el 40% restante, con un valor de 2.9 klux se refiere al CVC y al CRI. Para la iluminancia vertical global obtenemos que el CRO es igual al 40%, con un valor de 1.5 klux; el CRS es igual al 20%, con un valor de 0.7 klux; y el 40% restante, con un valor de 1.5 klux se refiere al CVC y al CRI. Los valores lumínicos son el promedio de la iluminancia por la tarde, la iluminancia horizontal global es igual a 7.3 klux y la iluminancia vertical global es igual a 3.7 klux.

Es importante notar que las edificaciones del contexto tienen una gran influencia en la luz natural disponible en este caso sobre la fachada del edificio de estudio, así la falta de programación urbana, respecto de las alturas y materiales a utilizar en el espacio urbano principalmente, en el Centro Histórico de la Ciudad de México genera irregularidades en el recurso lumínico disponible.

Las características del Cañón Urbano modifican la luz natural disponible en la fachada del edificio de estudio, enfrentado al Oriente, pero en este caso en particular, no impiden que la fachada del edificio de estudio, en el primer nivel, obtenga suficiente luz natural para ser aprovechada en el interior arquitectónico, que en este caso es el salón principal en el primer piso del edificio de estudio. Los valores lumínicos horizontales disponibles van de 3 klux a 71 klux por la mañana y de 16 klux a 3 klux por la tarde, mientras que los valores lumínicos verticales van de 1 klux a 24 klux en la mañana y de 8 a 1 klux en la tarde.

El salón principal de la casa del siglo XIX se utilizaba comúnmente como espacio de reunión. Para este tipo de espacios residenciales la normativa de la Ciudad de México no especifica ningún valor lumínico. Es la IESNA que hace recomendaciones de niveles lumínicos para diferentes actividades en el uso habitacional así

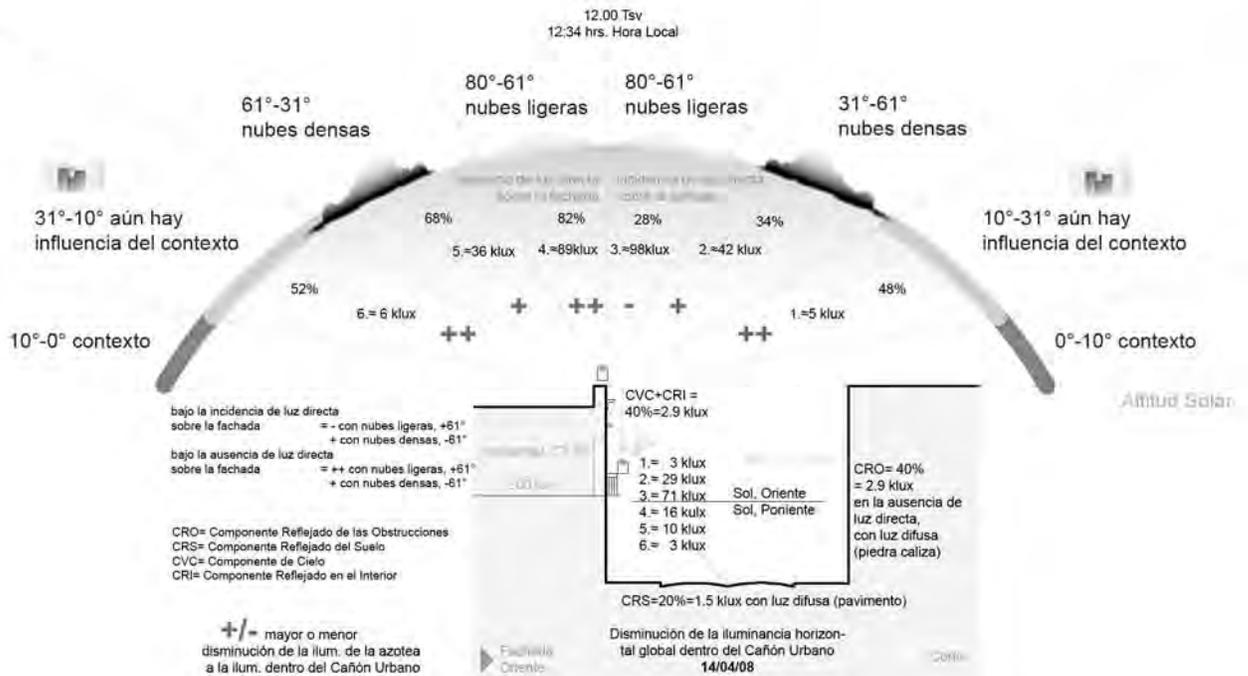


Imagen: Disminución de la iluminancia horizontal global dentro del Cañón Urbano, 14/04/08

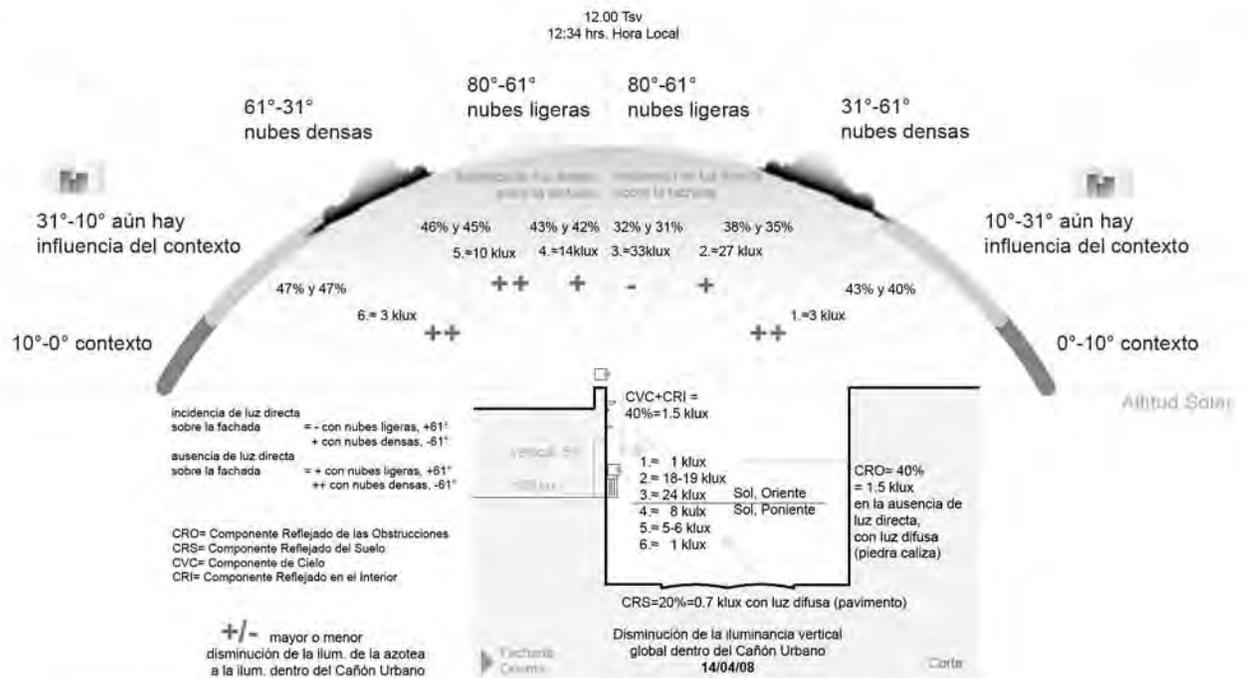


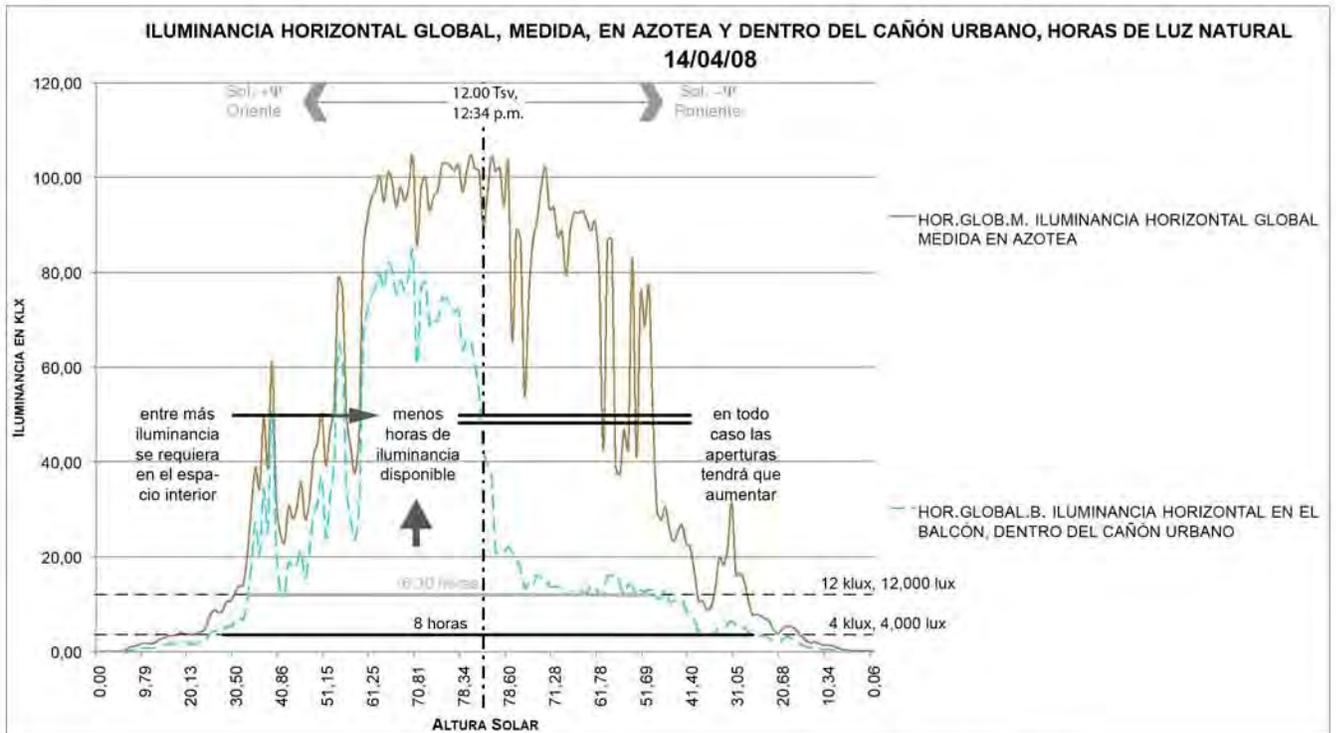
Imagen: Disminución de la iluminancia vertical global dentro del Cañón Urbano, 14/04/08

como para el uso de oficinas. Este último uso es importante ya que con el paso del tiempo la casa habitación ha modificado los usos de los espacios, así lo que antes pudo servir de sala ahora puede servir de estudio u oficina. Para el uso de oficinas la normativa de la Ciudad de México establece valores lumínicos para cuando sea preciso apreciar detalles toscos o burdos, medianos y muy finos. (Ver tabla: Tabla 7. con los niveles de iluminancia según la normativa de la Ciudad de México y las recomendaciones de la IESNA y los porcentajes de iluminancia del exterior para obtener la iluminancia requerida en el interior)

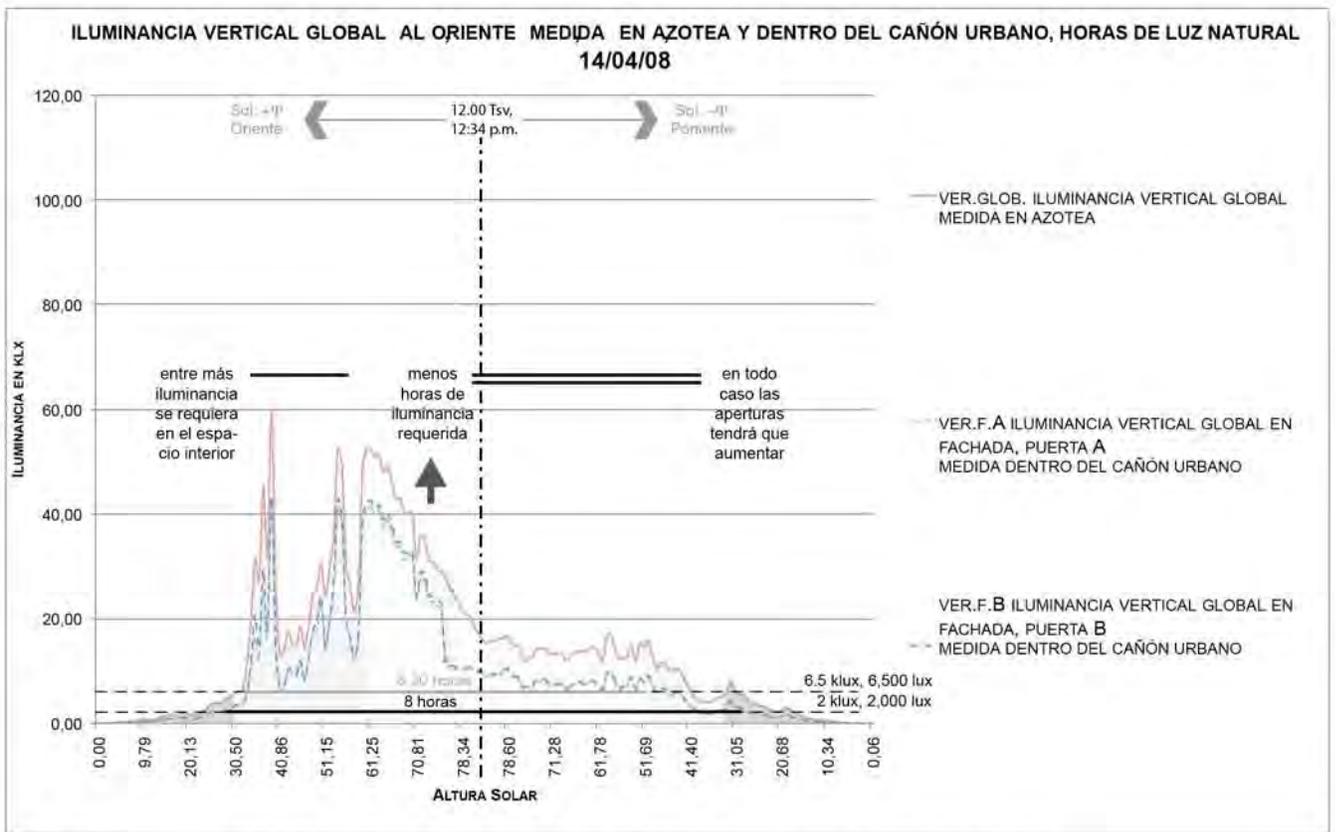
Para que dentro del espacio interior, en el salón principal, se pueda realizar una actividad en donde se requiera de un detalle muy fino, ya sea dentro de un uso habitacional o de oficina, en la cual se requiere una iluminancia horizontal de 500 lux (de acuerdo con la normativa de la Ciudad de México para oficinas cuando preciso apreciar un detalle muy fino y de acuerdo a las recomendaciones de la IESNA para uso habitacional con una actividad seria sobre un escritorio o en el uso de oficina abierta con VDT *Visual Display Terminal* (Terminal visual a través de una pantalla) intermitente y oficina privada), es necesario que la ventana o las ventanas dejen pasar el 12.5% de la iluminancia horizontal exterior, según los datos medidos del día 14 de abril de 2008, bajo un cielo parcialmente nublado. Así cuando la iluminancia horizontal global en el balcón sea mayor o igual a 4,000 lux dentro del espacio habrá una iluminancia horizontal de alrededor o más de 500 lux durante 8 horas del día astronómico de las 8:33 a.m. (con $at=30^\circ$) hasta las 4:41 p.m. (con $at=30^\circ$) para el día 14 de abril de 2008. (Ver gráfica: Iluminancia horizontal global, medida, en azotea y dentro del Cañón Urbano, horas de luz natural, 14/04/08) (Ver tabla: Tabla 7. con los niveles de iluminancia según la normativa de la Ciudad de México y las recomendaciones de la IESNA y los porcentajes de iluminancia del exterior para obtener la iluminancia requerida en el interior)

Cabe aclarar que la normativa de la Ciudad de México no especifica si los valores de iluminancia son valores horizontales o verticales, mientras que las recomendaciones de la IESNA si lo especifican. Así, para que dentro del salón principal exista una iluminancia vertical de 50 ó 100 lux (de acuerdo a las recomendaciones de la IESNA para uso habitacional con una actividad seria sobre un escritorio 100 lux o en el uso de oficina abierta con VDT *Visual Display Terminal* (Terminal visual a través de una pantalla) intermitente y oficina privada 50 lux), es necesario que la ventana o las ventanas dejen pasar el 5% ó el 2.5%, respectivamente, de la iluminancia vertical exterior, de manera tal que cuando la iluminancia vertical sobre la fachada del edificio de estudio sea mayor de 2,000 lux dentro del espacio habrá una iluminancia vertical de alrededor o más de 50 ó 100 lux, durante 8 horas del día astronómico de las 8:33 a.m. (con $at=30^\circ$) hasta las 4:41 p.m. (con $at=30^\circ$) para el día 14 de abril de 2008. (Ver gráfica: Iluminancia horizontal global, medida, en azotea y dentro del Cañón Urbano, horas de luz natural, 14/04/08) (Ver tabla: Tabla 7. con los niveles de iluminancia según la normativa de la Ciudad de México y las recomendaciones de la IESNA y los porcentajes de iluminancia del exterior para obtener la iluminancia requerida en el interior)

La cantidad de iluminancia horizontal y vertical que incide dentro del espacio interior es proporcional a las horas en las que podrá ser posible obtener este recurso a partir de la iluminancia horizontal y vertical del exterior. Esto quiere decir que si la iluminancia horizontal requerida en el interior es de 1,500 lux, en donde la apertura de la o las ventanas ya está establecida para que deje entrar el 12.5% de iluminancia (según la iluminancia que se requiere para tener en el interior 500 lux), las horas en las que podrá ser posible que incida esta cantidad de luz natural en el espacio interior se reducen a 6:30 horas. Por otro lado, si la actividad dentro del espacio necesitara más iluminancia vertical, por ejemplo de más de 150 ó 300 lux, dejando entrar el mismo porcentaje de 2.5% y 5% de luz, la cantidad de iluminancia vertical global disponible en la fachada de estudio deberá de ser de 6,500 lux, disminuyendo las horas de iluminancia disponible en fachada de 8 a 6.30 horas, aproximadamente. Así entre más iluminancia se requiera en el interior a partir de la iluminancia disponible en el exterior, con las aperturas ya



Gráfica: Iluminancia horizontal global, medida en azotea y dentro del Cañón Urbano, horas de luz natural, 14/04/08



Gráfica: Iluminancia vertical global, medida en azotea y dentro del Cañón Urbano, horas de luz natural, 14/04/08

definidas, las horas en las que se gozará de esta iluminancia serán menos. En todo caso las aperturas tendrán que aumentar para que dejen entrar más luz natural. (Ver gráfica: Iluminancia horizontal global, medida, en azotea y dentro del Cañón Urbano, horas de luz natural, 14/04/08)

La iluminancia horizontal y vertical global incluye luz directa por la mañana, por lo que es labor del diseñador trabajar con el componente difuso y con el componente directo de la iluminancia horizontal y vertical global para que las personas que viven y habitan este espacio puedan llevar a cabo las funciones visuales requeridas confortablemente durante el tiempo necesario.

Cabe mencionar que el edificio de estudio, al ubicarse dentro del Centro Histórico de la Ciudad de México, es un edificio catalogado como histórico, por lo cual cualquier modificación que se realice en éste tiene que ser autorizada por la institución correspondiente.

Tabla 7 con los niveles de iluminancia según la normativa de la Ciudad de México y las recomendaciones de la IESNA y los porcentajes de iluminancia del exterior para obtener la iluminancia requerida en el interior

Uso	Actividad	Iluminancia horizontal	Iluminancia vertical	Porcentaje de la iluminancia horizontal del exterior para >4000 lux	Porcentaje de la iluminancia vertical del exterior para >2000 lux
		lux	lux	%	%
Habitacional	Conversación, relajación y entretenimiento	30 ²	30 ²	0.75	1.5
	Lectura en una silla, casual	300 ²	50 ²	7.5	2.5
	Lectura en una silla, seria	500 ²	100 ²	12.5	5
	Sobre un escritorio, casual	300 ²	30 ²	7.5	1.5
	Sobre un escritorio, seria	500²	100²	12.5	5
Oficinas privadas y públicas	Cuando sea preciso apreciar detalles toscos o burdos	200 ¹	No específica	5	No aplica
	Cuando sea preciso apreciar detalles medianos	300 ¹		7.5	
	Cuando sea preciso apreciar detalles muy finos	500¹		12.5	
Dibujo y artes gráficas	Estaciones de computadora	100 ²	30 ²	2.5	1.5
	Computadora y trabajo sobre papel	300 ²	30 ²	7.5	1.5
Oficinas	Planta abierta de oficinas con VDT intensivo	300 ²	50 ²	7.5	2.5
	Planta abierta de oficinas con VDT intermitente	500²	50²	12.5	2.5
	Oficina privada	500²	50²	12.5	2.5

¹ Normas Técnicas Complementarias para el Proyecto Arquitectónico, Requisitos mínimos de Iluminación Artificial

² IESNA *Lighting Design Guide* (Guía del diseño de iluminación)

MODELOS A ESCALA Y SIMULACIÓN EN COMPUTADORA, DOS HERRAMIENTAS PARA EL PRONÓSTICO DE LA LUZ NATURAL EN LOS INTERIORES Y EXTERIORES ARQUITECTÓNICOS

INTRODUCCIÓN

Es de suma importancia poder predecir la iluminación natural en los interiores y exteriores arquitectónicos con el fin de que los espacios cuenten con la luz natural deseada por el proyectista.

El objetivo de este estudio es conocer la precisión con la que cuentan dos herramientas de predicción comúnmente utilizadas en los despachos de arquitectura, como son los modelos a escala y la simulación en computadora.

La calidad y cantidad de la luz natural dentro de estos espacios dependen del diseño urbano y arquitectónico. Debido a que la variabilidad de espacios urbanos y arquitectónicos es infinita, recurrimos a diferentes métodos de predicción de la luz natural, para conocer los valores y la calidad de ésta en los espacios interiores.

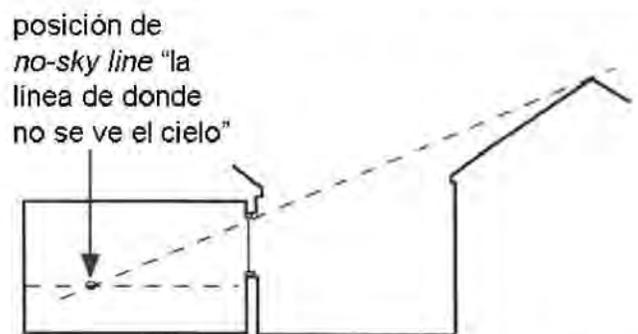
ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

LUZ NATURAL EN LOS ESPACIOS INTERIORES

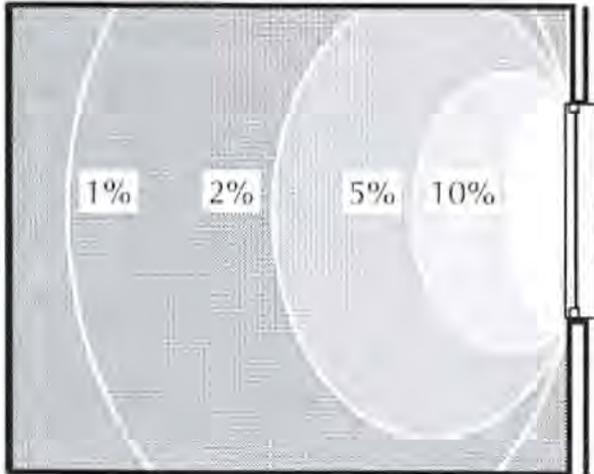
La luz natural en un interior arquitectónico depende principalmente del tamaño y de la ubicación de la apertura resuelta para la incidencia de luz natural en el espacio. Ésta puede ser, generalmente, de dos tipos: luz lateral o luz cenital.

Cuando la incidencia de la luz en el espacio es lateral la cantidad de luz natural que cae en un punto dentro de una habitación depende principalmente de la cantidad de cielo visible desde ese punto, entre mayor sea el ángulo que ve al cielo, mayor será la iluminancia. El área, de la superficie del espacio, en donde no incida la luz directa (y por tanto sea iluminada sólo por la reflectancia) la iluminancia es generalmente menos de una décima parte de la iluminancia del área, equivalente, cerca de la ventana. El límite de la zona de cielo no visible, se conoce como *no-sky line* "la línea de donde no se ve el cielo" (Tregenza y Loe, 98). (Ver imagen: *no-sky line*, "la línea de donde no se ve el cielo")

La iluminancia también se ve afectada por el ángulo en el que la luz incide sobre una superficie. En escritorios cerca de la ventana el promedio del ángulo de incidencia podría ser de 30° grados desde la vertical.



no-sky line "línea de donde no se ve el cielo" (Tregenza y Loe, 98)



Los contornos del factor de igualdad, de la luz natural de una ventana lateral (Tregenza y Loe, 98)

Con la profundidad del espacio este ángulo crece significativamente, hasta que en el fondo del espacio la luz cae sobre el supuesto escritorio sólo en un ángulo de brillo (Tregenza y Loe, 98).

Estos dos factores, zona visible de cielo y ángulo de incidencia, aunado al hecho que el supuesto escritorio cerca de la ventana recibe luz del cielo cercana al cenit (la cual bajo condiciones de cielo nublado es más brillante) da como resultado que la iluminancia sobre el área de trabajo (un plano horizontal a la altura de un escritorio) reduzca rápidamente con el aumento de la distancia desde la ventana lateral (Tregenza y Loe, 98). (Ver imagen: Los contornos del factor de igualdad, de la luz natural de una ventana lateral)

La luz en las superficies verticales, que enfrentan una ventana disminuyen menos drásticamente con la distancia, por lo que la pared trasera de un espacio a menudo tiene mayor iluminancia que una superficie horizontal cerca de esta pared trasera. En las paredes laterales existe una variación en la iluminancia, que depende en gran medida de la posición relativa de las ventanas. La pared de la ventana en sí, en un espacio con ventanas de un solo lado, no recibe luz directa y por lo tanto es la superficie menos iluminada. El mayor contraste que viven las personas dentro del espacio, se produce entre la pared de la ventana y la visión al exterior, que enmarcan las ventanas, en particular del cielo. Esto puede ser la principal causa de deslumbramiento de las ventanas (Tregenza y Loe, 98).

Para estimar la iluminación de un espacio interior bajo condiciones de cielo nublado se utiliza el Factor de Luz Natural (FLN). Éste es la relación, expresada en porcentaje, entre la fracción de iluminancia del interior del espacio y el total de la iluminancia exterior de todo el cielo sin obstrucciones.

$$FLN = E_i / E_{dh} * 100\%$$

En donde

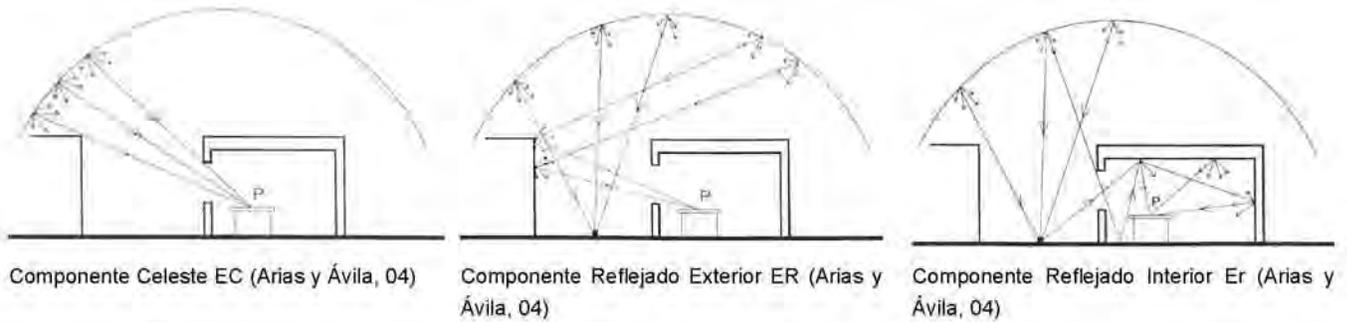
E_i es la iluminancia en un punto dentro del espacio

E_{dh} es la iluminancia exterior simultánea de todo el cielo sin obstrucciones (Tregenza y Loe, 98).

El Factor de Luz Natural se basa en un porcentaje de la luz natural disponible en el exterior y no en niveles específicos de iluminancia de luz natural en un espacio (Boubekri, 08), los cuales podrían variar infinitamente debido a que las condiciones exteriores cambian constantemente. En el Factor de Luz Natural se excluye la luz directa del sol. La razón de preferir principalmente la condición de cielo nublado es histórica, ya que el método fue desarrollado en Inglaterra, en donde la condición de cielo nublado predomina durante el año. El cielo nublado se convirtió en la base de las recomendaciones con el Factor de Luz Natural que aún se sigue utilizando (McGuinness, Stein y Reynolds, 03).

El Factor de Luz Natural se compone de tres partes: la Componente Celeste (directa) (E_c), la Componente Reflejada Exterior (ER) y la Componente Reflejada Interior (E_r) (Arias y Ávila, 04).

La Componente Celeste o componente directa del FLD se refiere a la relación expresada en porcentaje entre: aquella parte de la iluminancia medida en un punto situado en un plano dado, de luz recibida directamente del cielo; y la iluminancia simultánea sobre un plano horizontal de todo el cielo sin obstrucciones (Arias y Ávila, 04).



La Componente Reflejada Exterior del FDL, se refiere a la relación expresada en porcentaje entre: aquella parte de la iluminancia medida en un punto situado en un plano dado, de la luz recibida directamente desde superficies reflectoras externas, iluminadas directa o indirectamente; y la iluminancia simultánea sobre un plano horizontal de todo el cielo sin obstrucciones (Arias y Ávila, 04).

La Componente Reflejada Interiormente del FDL, se refiere a la relación expresada en porcentaje entre: aquella parte de la iluminancia medida en un punto situado en un plano dado, de la luz recibida de las diferentes superficies reflectoras internas, iluminadas directa o indirectamente; y la iluminación simultánea sobre un plano horizontal de todo el cielo sin obstrucciones (Arias y Ávila, 04).

PREDICCIÓN DE LA LUZ NATURAL

La luz natural es dinámica, está en constante cambio en términos de intensidad, dirección y propiedades de color, y es impredecible. La cantidad de luz natural disponible en el exterior depende de la hora, del lugar y del sitio en específico. Estas cualidades hacen que la exigencia de determinados niveles de luz natural dentro de un espacio interior sea un tema complicado. Aunque ahora es posible predecir los niveles de luz natural de interiores y exteriores a través de predicciones empíricas o técnicas de simulación en computadora. Los algoritmos utilizados para predecir cuantitativamente la luz natural se basan en datos históricos recopilados durante un largo período de tiempo. Por lo tanto, los niveles de luz natural calculados, son sólo predicciones estadísticas y, por lo tanto, no pueden ser precisos ni están garantizados (Boubekri, 08).

Aunado a que los niveles de luz natural calculados son predicciones estadísticas y no pueden ser precisos ni están garantizados, sabemos que en nuestro país carecemos de datos históricos recopilados durante un periodo de tiempo considerable, por ende los métodos matemáticos y por ende las simulaciones virtuales para predecir la luz natural en los interiores arquitectónicos, pueden ser muy poco precisos.

Por lo tanto, es importante evaluar; a través de diferentes métodos, en este caso, modelos a escala y simulación en computadora; la predicción de la luz natural en los interiores y exteriores arquitectónicos.

ANÁLISIS, COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS MEDICIONES DE ILUMINANCIA EN ESCALA REAL Y EN EL MODELO A ESCALA

El objetivo de comparar los valores lumínicos medidos en un espacio a escala real y los valores lumínicos medidos en un modelo a escala, simultáneos y bajo condiciones de cielo reales es conocer el grado de precisión que tiene este método de predicción (modelos físicos a escala) de la luz natural en interiores arquitectónicos.

MODELOS A ESCALA

Estudios en todo el mundo y desde hace más de dos décadas, como los de Love y Navvab en 1991, se han enfocado a comparar la predicción de luz natural en la arquitectura a través de modelos a escala real y a diferentes escalas con el fin de conocer la precisión de cada uno de estos métodos y saber para que etapa del

diseño arquitectónico sería adecuado aplicar cada uno. Los investigadores han presenciado complejidades al extender los estudios para todos los tipos de condiciones de cielo.

Como todo estudiante de arquitectura e ingeniería sabe, los modelos físicos son útiles y en ocasiones son una herramienta imprescindible para la investigación de fenómenos complejos. Las variables de diseño de la luz natural son tan numerosas y los rangos tan amplios que incluso los modelos físicos simples pueden dar al diseñador de iluminación una comprensión visual de un espacio iluminado con luz natural (McGuinness, Stein y Reynolds, 03).

Un análisis cuantitativo en un modelo físico requiere de mediciones fotométricas de luz natural (IESNA Daylighting Committee, 99), con la instrumentación apropiada. Las mediciones fotométricas en modelos físicos es un método costoso, debido al elevado costo de la instrumentación y al costo de la fabricación de los modelos físicos, y complejo, por las habilidades requeridas para manejar equipos especializados.

Sin embargo, hoy en día, este método puede ser aplicado en espacios con muchas superficies reflectantes y/o algunas formas complejas. Ya que la física de la iluminación es tal que la luz se comporta exactamente de la misma manera en un modelo a escala como lo hace en un edificio a escala real. Si un modelo a escala es una réplica exacta del edificio a gran escala, y si se prueba bajo condiciones de cielo análoga, los resultados en el modelo serán idénticos a los de la construcción a gran escala (Ander, 03). Para que lo anterior resulte cierto, es necesario que las proporciones y los detalles de los modelos a escala sean idénticas a los reales, propiciando así un análisis exacto de las reflexiones e interreflexiones en el interior del mismo (Arias y Ávila, 04).

La iluminancia proporcionada por las condiciones del cielo natural tiende a cambiar constantemente. Los valores de la iluminancia interior del espacio no serán muy representativos si el cielo cambia de manera significativa durante las mediciones. Mediciones con modelos a escala bajo un cielo parcialmente nublado, no se recomiendan debido a los cambios rápidos en las condiciones del cielo. Una clara o uniforme condición de nubes sería más adecuada (Ander, 03).

Es necesario evaluar, con mediciones bajo condiciones de cielo reales a través de métodos prácticos como la elaboración de maquetas a escala de los espacios arquitectónicos, para que ésta sea una herramienta que utilicen los arquitectos en función de conocer el comportamiento de la luz natural y, en el mejor de los casos, los valores lumínicos en el interior del espacio de estudio.

MODELOS A ESCALA CON MEDICIONES FOTOMÉTRICAS DE LUZ NATURAL BAJO CONDICIONES DE CIELO REAL

Para la construcción de los modelos a escala, en los cuales se van a llevar a cabo mediciones fotométricas de luz natural bajo condiciones de cielo real, es importante contemplar los siguientes aspectos:

1. Selección de la escala
2. Selección de materiales exteriores e interiores
3. Características urbanas y materiales
4. Ubicación de cámaras
5. Fotómetros

Selección de la escala

Los modelos físicos para el estudio de la luz natural se pueden construir en cualquier escala conveniente. En general, es difícil de reproducir con exactitud los detalles en modelos muy pequeños, y el tamaño relativo del sensor de iluminación utilizado, puede causar una excesiva absorción y reflectancia cuando se introduzca en un modelo pequeño. Sin embargo, un modelo a pequeña escala es útil en una fase temprana del desarrollo del diseño (Ander, 03), para el análisis cualitativo de la luz natural en los interiores arquitectónicos.

La escala 1:100 (1/8"=1'0") es adecuada para el concepto y el diseño del conjunto arquitectónico. Por lo

general, es una escala fundamental para proporcionar una sensación de volumetría. En la lectura de luz natural al interior podemos observar pautas de luz, reflejos y la obstrucción de la luz natural (Seminario ILF, 09). Es a través de una percepción visual que se lleva a cabo la lectura cualitativa de la luz.

Escalas medias de 1:50 (1/4"=1'-0") a 1:25 (1/2"=1'-0") permiten el desarrollo y el perfeccionamiento de la estrategia de iluminación natural en el interior de los espacios. Es posible trabajar con el tamaño de la apertura por donde incide la luz natural, su ubicación y su transmitancia. Se puede llevar a cabo un análisis cuantitativo y cualitativo de los niveles de luz natural incidentes en el interior del espacio (Seminario ILF, 09), a través de mediciones fotométricas.

Escalas de más de 1:25 (1/2"=1'-0") permiten la integración y la optimización del detalle fino. Son claves para el desarrollo de los detalles y componentes del diseño arquitectónico (Seminario ILF, 09). Estas escalas permiten un análisis cualitativo y cuantitativo de la luz natural a través de mediciones fotométricas.

La escala real, relaciona a la persona con el ambiente interior y con los aspectos cuantitativos y cualitativos del espacio. Será lo más cercano al espacio real (Seminario ILF, 09).

La selección de la escala del modelo es fundamental para una lectura acertada, en forma cualitativa y cuantitativa de los valores lumínicos, de la incidencia de luz natural al interior del espacio arquitectónico.

Selección de materiales exteriores e interiores

Los materiales externos deben de ser resistentes a los cambios del clima en la intemperie. Mientras que los materiales en el interior deben de simular, en la medida de lo posible, los materiales propuestos para el espacio real. Estos son importantes en términos de su transparencia u opacidad (luz transmitida o bloqueada), su reflectancia (luz reflejada o absorbida) y su textura (brillante o difusa) (Ander, 03).

Tabla 1. con el valor de reflectancia de la luz de algunos materiales, utilizados en la construcción, y por los que pueden ser sustituidos en los modelos a escala (Seminario ILF, 09)

Material	Valor de Reflectancia de Luz	Posible Material utilizado en Modelos a escala
Ladrillo	20%	Fotografías a color a escala
Ladrillo blanco esmerilado	70%	Fotografías a color a escala, en papel brillante
Vidrio	20%	Vidrio, omitirlo o Acetato
Bloque de vidrio	20%	Plexiglas o Acetato
Agua	Varía	Papel celofán, Espejo, Plexiglas con una película negra en la superficie de abajo.
Concreto	20%	Lija pintada o Papel
Alfombra	20%	Terciopelo
Piedra	20-60%	Corcho, Fotografías a color a escala
Madera	10-40%	Fotografías a color escalas, Balza o Papel opaco.
Muebles	20-60%	Diversos

Características urbanas y materiales

Es importante contemplar los elementos exteriores y sus materiales, así como la configuración del

espacio, ya que estos pueden obstruir y reflejar la luz que incidirá en el espacio interior de los modelos a escala. Estos materiales deben de ser resistentes al agua y a la intemperie.

Ubicación de cámaras

Los datos obtenidos son más útiles si son gradados en video, proporcionando así la visualización global de los cambios de la iluminación en las diferentes etapas del día y temporadas del año (Arias y Ávila, 04).

Fotómetros

Se puede reducir el error en las mediciones fotométricas si se toma en cuenta la calibración de los fotómetros, las reflectancias de las superficies del modelo a escala, la fidelidad con que el modelo reproduce el espacio y los sistemas de fenestración reales (Love y Navvab, 91).

El tamaño del fotómetro juega un papel importante dentro de la escala del modelo, ya que un determinado tamaño de sensor tiene una visión diferente del cielo, en un modelo a escala, que en un espacio real, y en donde la iluminancia cambia rápidamente y por grandes valores (por ejemplo, cerca de una ventana sin control de luz natural), el error puede resultar significativo (Love y Navvab, 91).

La nivelación del fotómetro es fundamental para la precisión de las mediciones. Ya que en los espacios donde la incidencia de luz natural es lateral, en donde mucha de la luz incidente sobre el sensor cae con ángulos cerrados, pequeños errores en la nivelación de un fotómetro pueden producir grandes errores en las mediciones de iluminancia: por un ángulo de incidencia de 85° , una mala alineación del fotómetro, de 2° , tendrá un error del 40% (Walsh, 61, retomado de Love y Navvab, 91). Por supuesto, este tipo de error también puede producirse en mediciones fotométricas a una escala real (Love y Navvab, 91), debido a la corrección del fotómetro con la ley del coseno. (Ver anexo 3)

La ubicación de los fotómetros tendrá que ser estratégica, ya que estos nos proporcionarán la lectura de los niveles lumínicos. Si bien no es difícil colocar el fotómetro, este proceso se tendrá que efectuar con mucha precisión, ya que los pequeños errores de colocación en los modelos pueden dar lugar a errores relativamente grandes (Love y Navvab, 91).

UBICACIÓN DEL LABORATORIO

El Laboratorio se ubicó en el edificio de estudio, localizado sobre Isabel La Católica, en el Centro Histórico de la Ciudad de México, para llevar a cabo las mediciones de luz natural en el salón principal de tal edificio y simultáneamente en el modelo a escala ubicado en la azotea del mismo edificio. El equipo de recopilación de datos y la computadora fueron ubicados en un espacio adjunto al salón principal. Este espacio adjunto tiene un tragaluz por el cual fue posible hacer las conexiones de los fotómetros ubicados en la azotea, los cuales medían la disponibilidad de la luz natural y la iluminancia dentro del modelo a escala.

FABRICACIÓN, UBICACIÓN Y ORIENTACIÓN DEL MODELO A ESCALA

Se elaboró un modelo a escala 1:20 del edificio de estudio y su contexto inmediato, como lo son el ancho de calle y las edificaciones enfrentadas. El material seleccionado para el modelo del edificio fue MDF (aglomerado de fibras de madera) el cual puede resistir la intemperie. En el modelo a escala la calle fue simulada con un material tipo lija, color oscuro, el cual simula el pavimento de la vía pública. Mientras que las fachadas enfrentadas son una superficie vertical a la cual le fue adherida una impresión simulando los colores y las formas del contexto real.

Las paredes del interior del modelo del edificio de estudio se pintaron de color blanco, mientras que el piso, el techo y las puertas se mantuvieron con el mismo color del aglomerado de madera. Las ventanas, por las



Fotografía del modelo a escala y su contexto inmediato



Fotografía del interior del modelo a escala con fotómetros

fueron colocados a 1.50, 3.00 y 4.50 metros desde las ventanas, en 3 hileras perpendiculares a dichas ventanas y al centro de estas. Las mediciones se llevaron a cabo con las dos puertas tipo ventana cerradas. (Ver imagen: Fotografía del salón principal, desde la ubicación de la cámara de video con el montaje de los fotómetros) (Ver imagen: Fotografía del montaje de los fotómetros en interior del espacio real, salón principal)

La cámara de video fue colocada en la esquina superior Sur-Oeste dentro del salón principal.

Los fotómetros dentro del modelo a escala fueron colocados sobre unas bases, para que simularan la altura de 75 centímetros, en 3 hileras, dos perpendiculares a las ventanas y una perpendicular al centro de éstas. Por la disponibilidad de fotómetros (Ver anexo 3) dentro del modelo a escala, se colocaron sólo dos hileras una a 1.5 y otra a 4.5 metros de distancia desde las ventanas y del centro de éstas (representados en escala 1:20), a diferencia de los fotómetros montados en el salón principal a 1.50, 3.00 y 4.50 metros. (Ver imagen: Ubicación de fotómetros dentro del salón principal y los rayos solares incidentes en éste, más la línea de donde no se ve el cielo, corte y planta) (Ver imagen: Ubicación de fotómetros dentro del modelo a escala 1:20 y los rayos solares incidentes en éste, más la línea de donde no se ve el cielo, corte y planta)

Los fotómetro de la primera fila del salón principal son comparados con los correspondientes de la primera fila del modelo a escala. Los fotómetros de la segunda fila del salón principal con los correspondientes de la tercera fila del modelo a escala.

cuales incide la luz natural al espacio, fueron simuladas con un material tipo plástico, también de color blanco.

El modelo a escala fue ubicado en la azotea del edificio a 9 metros, aproximadamente, del nivel de calle. La fachada del modelo fue orientada paralela a la fachada del edificio, con un ángulo acimutal de 81.75° grados del Sur geográfico.

(Ver imagen: Fotografía del modelo a escala y su contexto inmediato) (Ver imagen: Fotografía del interior del modelo a escala con fotómetros)

EQUIPO

Para estas mediciones de luz natural se utilizaron 15 fotómetros de la marca Li-Cor, un adquirente de datos de la marca Hewlett Parker y una computadora con un programa con el cual se especificó el horario y la frecuencia de las mediciones. (Ver anexo 3). También se utilizaron algunas cámaras digitales para visualizar la bóveda celeste, el interior del salón principal y el interior del modelo a escala.

MEDICIONES Y PUNTOS DE MEDICIÓN EN LA ARQUITECTURA

Los fotómetros dentro del salón principal se ubicaron a 75 centímetros del nivel de piso terminado, representando un plano de trabajo. Los fotómetros fueron montados sobre unos tubos de cartón los cuales rematan con unas tapas de plástico negras. Estos tubos fueron nivelados a través de hilos tensados y



Fotografía del salón principal, desde la ubicación de la cámara de video con el montaje de los fotómetros



Fotografía del montaje de los fotómetros en interior del espacio real, salón principal

Tabla 2. con ubicación de los fotómetros para las mediciones de iluminancia, en el modelo y en el salón principal

Mediciones en Isabel la Católica No. 67

Ubicación de fotómetros

B. Modelo a escala, Azotea

No. Fotómetro	Ubicación	Abreviaturas en gráficas
5	Hilera perpendicular a la ventana A, fila 1	ven.A.1.m
6	Hilera perpendicular a la ventana A, fila 3	ven.A.2.m
7	Hilera perpendicular al centro de ventanas, fila 1	centro.1.m
8	Hilera perpendicular al centro de ventanas, fila 3	centro.2.m
9	Hilera perpendicular a la ventana B, fila 1	ven.B.1.m
10	Hilera perpendicular a la ventana B, fila 3	ven.B.2.m

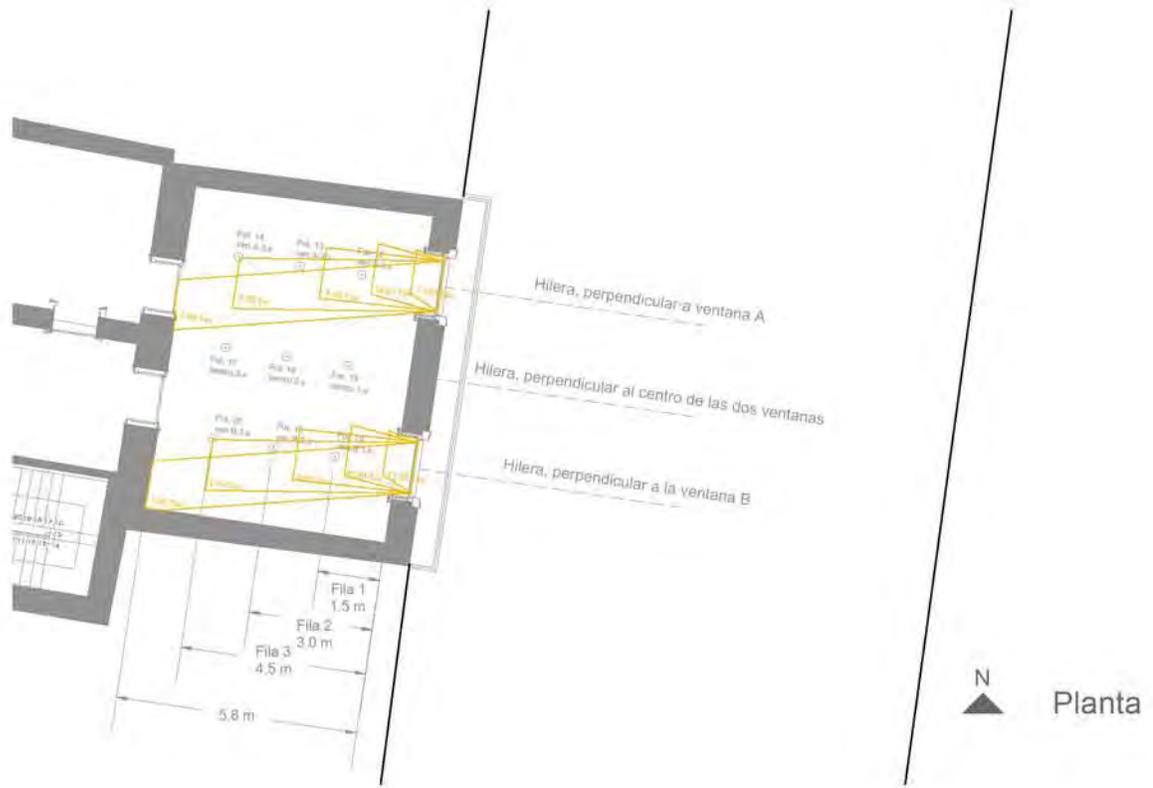
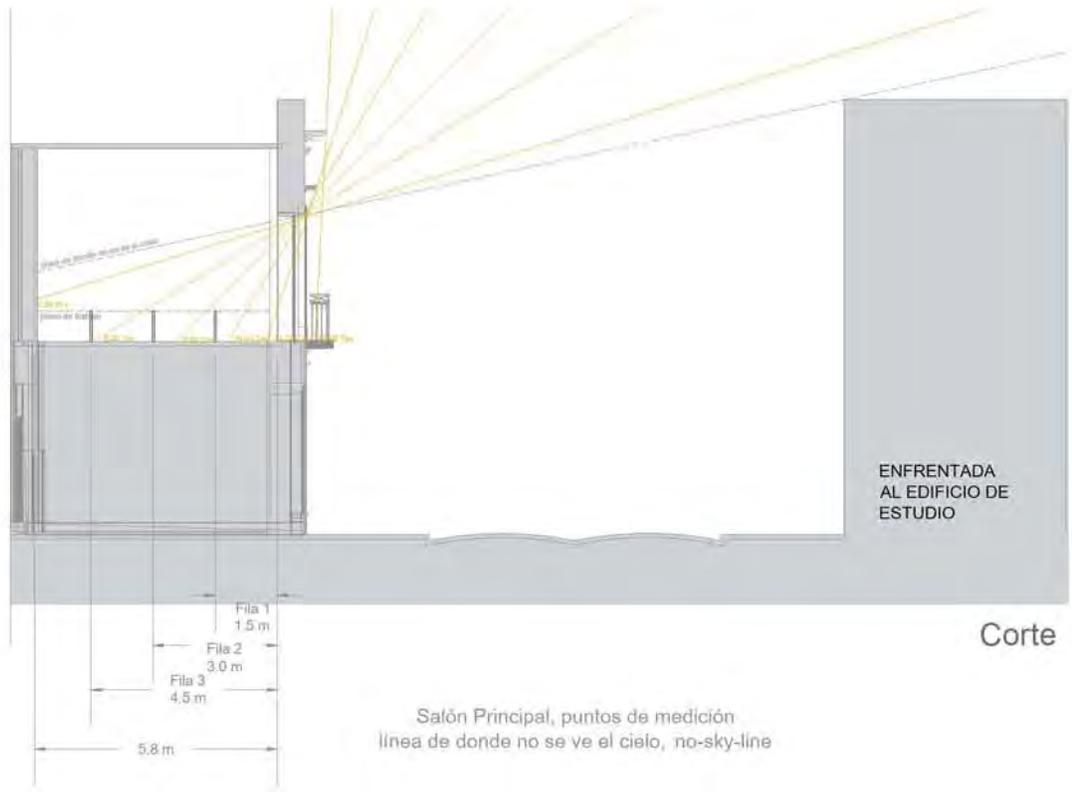
* "A" ventana derecha vista desde la fachada

* "B" ventana izquierda vista desde la fachada

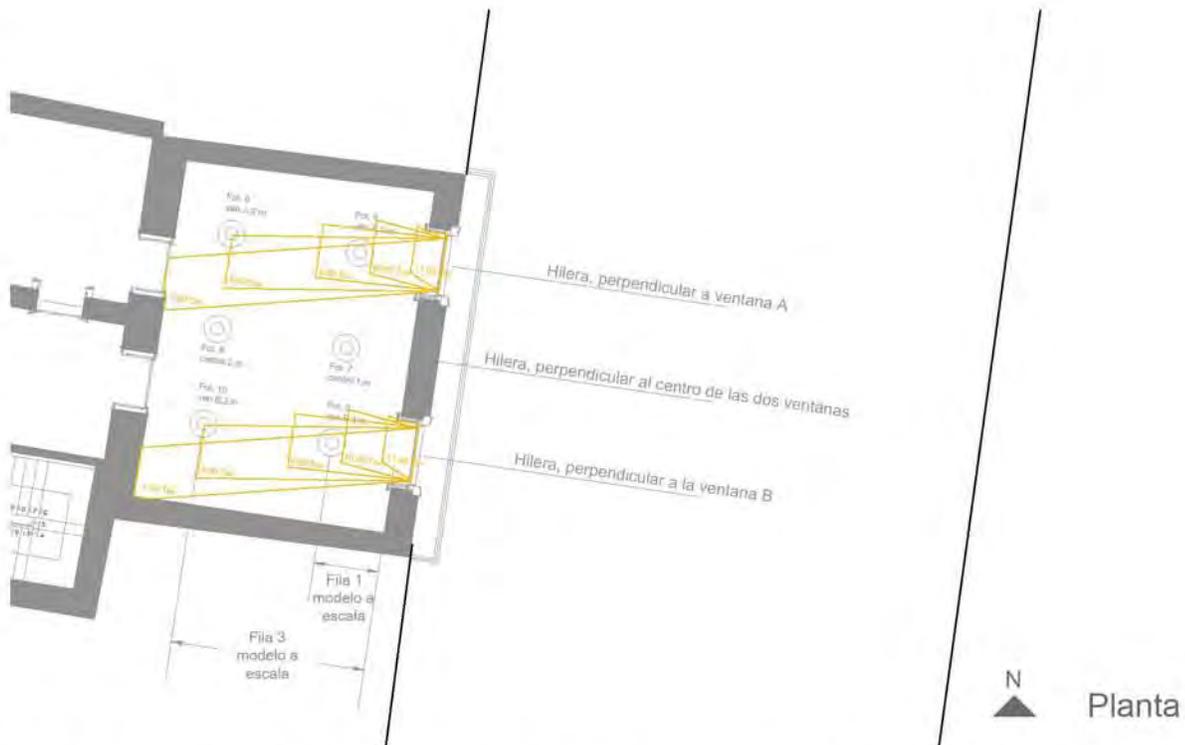
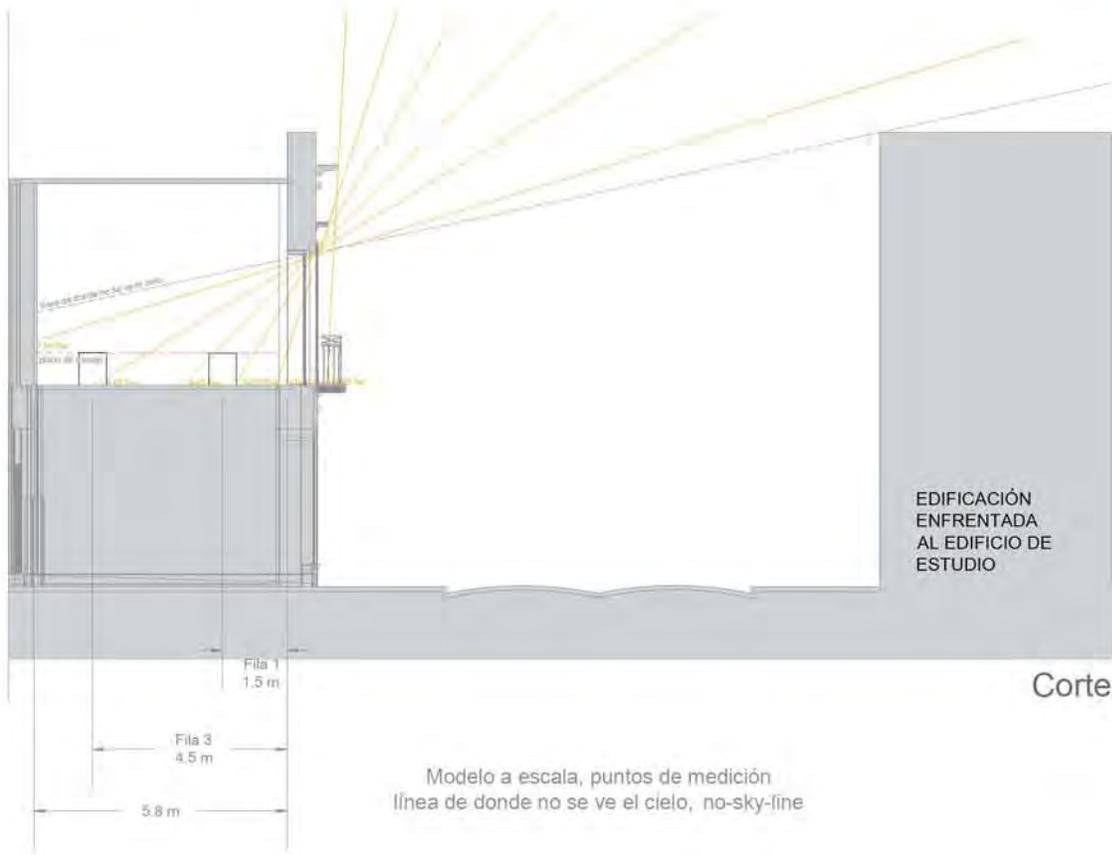
C. Espacio a escala real, Salón Principal

No. Fotómetro	Ubicación	Abreviaturas en gráficas
12	Hilera perpendicular a la ventana A, fila 1	ven.A.1.s
13	Hilera perpendicular a la ventana A, fila 2	ven.A.2.s
14	Hilera perpendicular a la ventana A, fila 3	ven.A.3.s
15	Hilera perpendicular al centro de ventanas, fila 1	centro.1.s
16	Hilera perpendicular al centro de ventanas, fila 2	centro.2.s
17	Hilera perpendicular al centro de ventanas, fila 3	centro.3.s
18	Hilera perpendicular a la ventana B, fila 1	ven.B.1.s
19	Hilera perpendicular a la ventana B, fila 2	ven.B.2.s
20	Hilera perpendicular a la ventana B, fila 3	ven.B.3.s

Por el corte arquitectónico podemos conocer si el punto de medición tiene visión del cielo. Los puntos de medición en la hilera perpendicular a la ventana A y B tienen visión del cielo, tanto en la primera fila como en la segunda y en la tercera. A comparación del los puntos de medición en la hilera perpendicular al centro de la pared entre las dos ventanas, que no tienen visión del cielo. (Ver imagen: Ubicación de fotómetros dentro del salón principal y los rayos solares incidentes en éste, más la línea de donde no se ve el cielo, corte y planta) (Ver imagen: Ubicación de fotómetros dentro del modelo a escala 1:20 y los rayos solares incidentes en éste, más la línea de donde no se ve el cielo, corte y planta)



Ubicación de fotómetros dentro del salón principal y los rayos solares incidentes en éste, más la línea de donde no se ve el cielo, corte y planta



Ubicación de fotómetros dentro del modelo a escala 1:20 y los rayos solares incidentes en éste, más la línea de donde no se ve el cielo, corte y planta

TABLA 3. CON LOS DATOS DE LAS MEDICIONES EN ESCALA REAL Y EL MODELO A ESCALA, BAJO CONDICIONES DE CIELO REAL, EN ESTE CASO CON UN CIELO PARCIALMENTE NUBLADO, EL 14 DE ABRIL DE 2008

Esta tabla muestra los resultados de dos mediciones simultáneas realizadas in situ y bajo condiciones de cielo reales, a cada hora con referencia a la altura solar y al tiempo del día 14 de abril de 2008, por un lado dentro del salón principal del edificio de estudio y por el otro dentro del espacio que simula el salón principal en un modelo a escala, ubicado en la azotea del mismo edificio con la misma orientación de la fachada hacia el Oriente. Esto con el fin de conocer la diferencia porcentual de la iluminancia horizontal global medida dentro del modelo a escala a comparación de la iluminancia horizontal global medida en el espacio a escala real, salón principal, y por lo tanto conocer la precisión cuantitativa de esta herramienta de diseño arquitectónico, que en este caso son los modelos a escala, para pronosticar la iluminancia en los interiores arquitectónicos.

El promedio de la diferencia porcentual de las mediciones realizadas en el salón principal y dentro del modelo a escala se realiza a cada 4 minutos mientras que los datos de las mediciones mostrados en la tabla son a cada hora.

Por la cantidad de fotómetros disponibles no fue posible colocar dentro del modelo a escala 3 filas de fotómetros como fueron colocados dentro del salón principal. Por lo tanto los fotómetros de la tercera fila dentro del salón principal son comparados con la segunda fila de los fotómetros del modelo a escala.

TABLA 4. CON LOS PROMEDIOS DE LA ILUMINANCIA HORIZONTAL GLOBAL MEDIDA EN EL SALÓN PRINCIPAL Y DENTRO DEL MODELO A ESCALA Y LAS DIFERENCIAS PORCENTUALES A CADA PERIODO, 14/04/08

Esta tabla muestra los promedios de la iluminancia horizontal global y las diferencias porcentuales en el modelo a escala con respecto de la iluminancia horizontal global medida dentro del salón principal. Estos promedios corresponden a los periodos de la influencia de nubes densas o de nubes ligeras y a la influencia del contexto con respecto a la posición del Sol. La posición del Sol es importante ya que la fachada del salón principal, al Oriente, tendrá incidencia de los rayos solares por la mañana hasta que la altura solar alcance el cenit. Después de este momento habrá, por la tarde, incidencia de luz difusa sobre la fachada Oriente y por consecuencia dentro del espacio interior. Los valores de los primeros y los últimos 10° grados de altitud solar no son tomados en cuenta en este estudio.

Tabla 3. con los datos de las mediciones en escala real y el modelo a escala, bajo condiciones de cielo real, en este caso con un cielo parcialmente nublado, el 14 de abril de 2008

Tsv	Ho	at	Iluminancia horizontal global medida en los puntos de medición del salón principal y dentro del modelo a escala												Diferencia de las mediciones en escala real y el modelo a escala					
			Salón principal						Modelo a escala						DIF 5-12	DIF 6-14	DIF 7-15	DIF 8-17	DIF 9-18	DIF 10-20
			12	14	15	17	18	20	5	6	7	8	9	10						
dec.	hrs.min	°	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lux	lux	lux	lux	lux	lux
5.95	06:33 AM	3	0	0	0	3	0	15	16	8	0	0	19	15	16	8	0	3	19	0
6.95	07:33 AM	16	57	6	0	5	70	0	126	32	0	0	160	38	68	26	0	5	90	38
7.95	08:33 AM	31	213	21	13	0	258	0	415	46	119	33	495	66	202	25	106	33	237	66
8.95	09:33 AM	45	501	20	26	32	523	58	988	104	230	140	1166	123	487	83	204	108	644	65
9.95	10:33 AM	59	1011	39	65	20	1135	9	1955	167	409	210	2316	201	945	128	343	190	1181	192
10.95	11:33 AM	72	898	43	46	26	935	28	2015	311	626	381	2326	366	1116	268	580	355	1391	338
11.95	12:33 PM	80	472	36	50	22	505	2	1116	182	420	235	1261	197	644	146	370	212	756	194
12.95	01:33 PM	73	457	37	40	42	402	44	1036	220	415	272	1148	216	578	184	375	230	746	172
13.95	02:33 PM	60	550	81	47	79	566	70	1290	276	421	318	1420	283	740	195	374	239	855	213
14.95	03:33 PM	46	350	33	13	33	363	35	764	118	213	125	881	127	414	85	199	92	518	92
15.95	04:33 PM	32	325	35	18	49	287	72	806	161	191	195	848	170	481	127	173	146	561	98
16.95	05:33 PM	18	57	10	7	0	88	0	145	10	37	12	160	16	88	0	30	12	72	16
17.95	06:33 PM	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	10	0	1	0

Los números representan los fotómetros descritos en la tabla: Tabla con ubicación de los fotómetros para las mediciones de iluminación, en el modelo y en el salón principal

Tabla 4. con los promedios de la iluminancia horizontal global medida en el salón principal y dentro del modelo a escala y las diferencias porcentuales a cada periodo, 14/04/08

Ho		at	Salón principal						Modelo a escala						DIF 5-12	DIF 6-14	DIF 7-15	DIF 8-17	DIF 9-18	DIF 10-20
			12	14	15	17	18	20	5	6	7	8	9	10						
			ven A 1 s	ven A 3 s	centro 1 s	centro 3 s	ven B 1 s	ven B 3 s	ven A 1 m	ven A 2 m	centro 1 m	centro 2 m	ven B 1 m	ven B 2 m						
desde	hasta	°	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	%	%	%	%	%	%
06:21 AM	07:09 AM	0-10	15	3	2	2	13	5	25	7	9	7	28	11	41	32	28	45	46	31
07:13 AM	08:33 AM	10-31	109	4	7	3	105	10	199	13	41	20	227	17	45	42	52	59	55	39
08:37 AM	10:41 AM	31-61	1663	35	57	30	1613	30	2878	167	377	214	3985	203	44	80	85	85	54	83
10:45 AM	12:34 PM	61-80	879	38	56	30	907	29	1903	272	568	344	2192	312	55	86	90	91	59	90
12:41 PM	02:25 PM	80-61	446	46	47	40	434	41	1069	178	395	266	1171	221	58	74	88	85	63	81
02:29 PM	04:37 PM	61-31	349	33	29	31	345	40	763	69	227	159	846	140	54	50	88	82	59	72
04:41 PM	06:01 PM	31-10	101	6	4	4	103	11	195	17	31	23	217	23	42	46	65	61	46	53
06:05 PM	06:49 PM	10-0	7	3	1	2	6	12	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Promedio del día astronómico															47	61	78	86	52	70

Los números representan los fotómetros descritos en la tabla: Tabla con ubicación de los fotómetros para las mediciones de iluminación, en el modelo y en el salón principal

GRÁFICA: ILUMINANCIA HORIZONTAL GLOBAL, COMPARACIÓN DE VALORES EN ESCALA REAL (SALÓN PRINCIPAL) Y EN EL MODELO A ESCALA, PUNTOS DE MEDICIÓN: FILA 1, LA MÁS CERCANA A LA VENTANA, HILERA PERPENDICULAR A LA VENTANA A Y B, 14/04/08

Esta gráfica muestra la iluminancia horizontal global medida dentro del espacio real, salón principal, en dos puntos; en la fila 1, la más cercana a la ventana, en la hilera perpendicular a la ventana A y B; a comparación de la iluminancia horizontal global medida dentro del modelo a escala; igualmente en dos puntos dentro de la fila 1, la más cercana a la ventana, en la hilera perpendicular a la ventana A y B el día 14 de abril de 2008. La iluminancia horizontal global es medida en ambos casos a una altura de 75 centímetros del piso, simulando un plano de trabajo y los valores son presentados en lux.

Estos puntos de medición tienen más visión del cielo que el resto de los puntos de medición y en ellos inciden los rayos del Sol.

La iluminancia horizontal global dentro del modelo a escala presenta valores más altos que la iluminancia horizontal global dentro del salón principal, tanto por la mañana, antes de las 12:34 p.m. Hora Local en donde el Sol se encuentra en el cenit, como por la tarde.

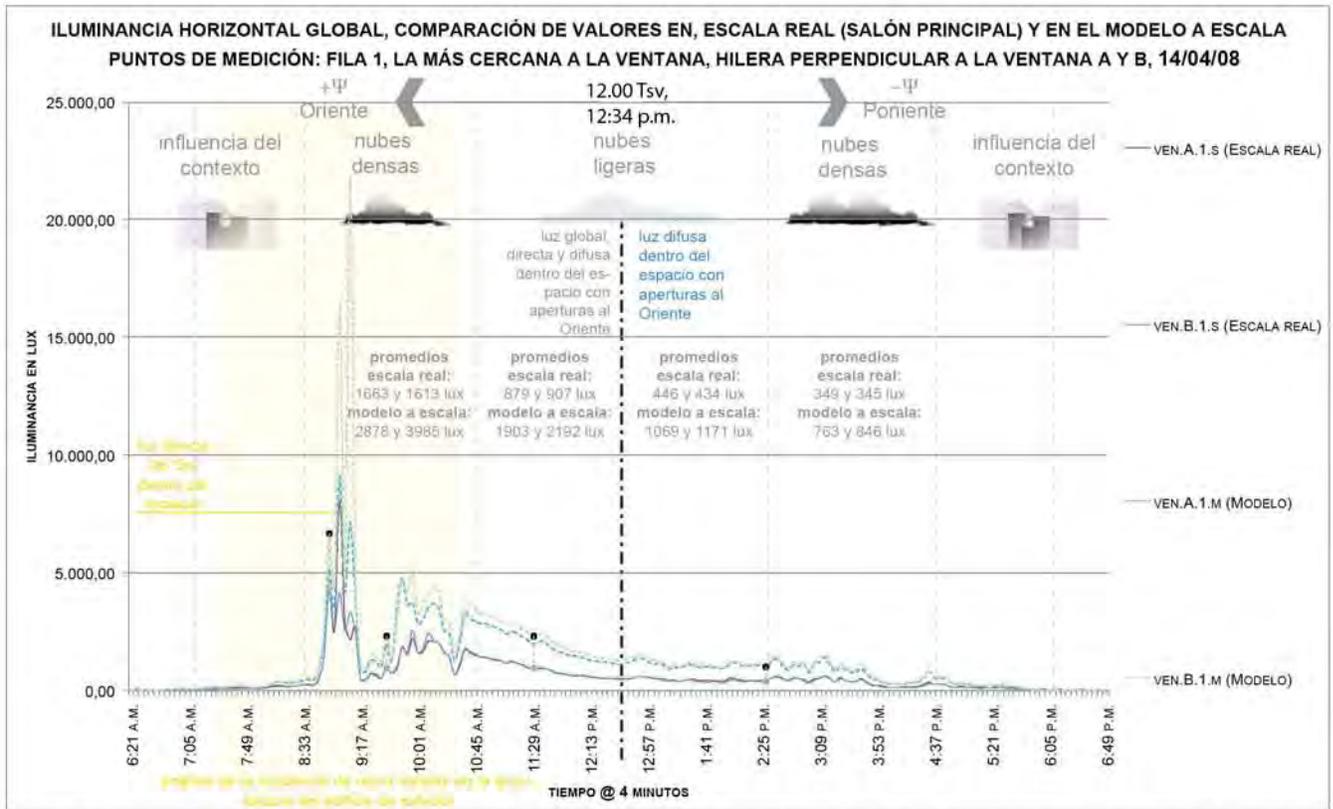
Por el análisis de la incidencia de los rayos solares en la arquitectura del edificio de estudio tenemos que la luz directa del Sol incide en el espacio de estudio (específicamente en los dos primeros puntos de medición dentro de la fila 1, en la hilera perpendicular a la ventana A y B) desde las 7.00 horas del Tiempo Solar Verdadero, lo que equivale a las 7:37 a.m. en Hora Oficial o Local y hasta las 10.00 horas en Tsv, lo que equivale a las 10:37 a.m. en Hora Local. (Ver imagen: Ubicación de fotómetros dentro del salón principal y los rayos solares incidentes en éste, supuestos por los trazos de la geometría solar) (Ver imagen: Ubicación de fotómetros dentro del modelo a escala 1:20 y los rayos solares incidentes en éste, supuestos por los trazos de la geometría solar)

Como ya se mencionó anteriormente en los primeros y últimos 31° grados de altitud solar, lo que equivale a las primeras dos horas del día astronómico hasta las 8:33 a.m. por la mañana, aproximadamente, tienen influencia del contexto del Centro Histórico de la Ciudad de México. Sin embargo, por los valores lumínicos en esta gráfica se puede observar que no es hasta las 8:53 a.m. del día 14 de abril de 2008 que el Sol incide dentro del espacio de estudio, específicamente en estos puntos de medición a 1.5 metros de las ventanas.

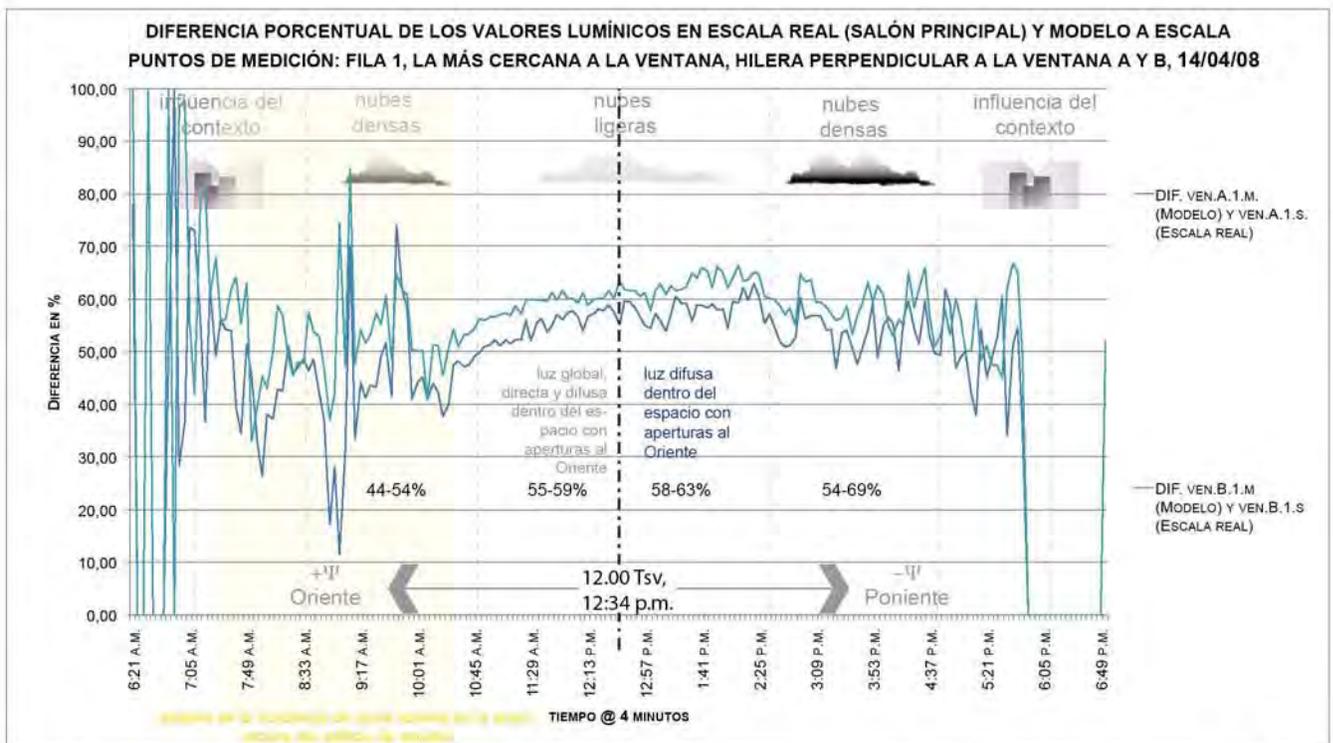
Cuando existe incidencia de rayos solares, en los puntos de medición, la iluminancia horizontal global en el salón principal a las 8:53 a.m., con una altura solar de 35° grados, tiene un valor de 4241 y 4215 lux, mientras que la iluminancia horizontal global dentro del modelo a escala presenta los valores de 5128 y 6704 lux, respectivamente. La diferencia de la iluminancia horizontal global medida en el salón principal y la medida en el modelo a escala de 887 y 2489 lux es significativa para evaluar cuantitativamente la iluminancia dentro de un espacio interior.

El período de la mañana de 8:37 a.m. a 10:41 a.m. presenta un cielo con nubes densas, por lo que hay momentos como el mencionado, a las 8:53 a.m. en donde existe incidencia de rayos solares dentro del espacio de estudio y momentos, que por el paso o por la densidad de las nubes del cielo, los valores lumínicos disminuyen (aún cuando por la incidencia de los rayos solares en la arquitectura se supone que el sensor recibiría luz solar), por ejemplo a las 9:33 a.m., con una altura solar de 45° grados, la iluminancia horizontal global dentro del salón principal tiene un valor de 501 y 523 lux, mientras que la iluminancia horizontal global dentro del modelo a escala presenta los valores de 988 y 1166 lux, respectivamente. La diferencia de la iluminancia horizontal global medida en el salón principal y la medida en el modelo a escala es de 487 lux y de 643 lux, respectivamente. El promedio de iluminancia, en este periodo (de 8:37 a.m. a 10:41 a.m.), dentro del salón principal, bajo la incidencia de los rayos solares, es de 1663 y 1613 lux y dentro del modelo a escala es de 2878 y 3985 lux.

Después de las 10:37 a.m., cuando los puntos de medición ya no reciben luz solar, por ejemplo a las 11:33 a.m., con luz global y nubes ligeras, los valores de iluminancia horizontal global dentro del salón principal



Gráfica: Iluminancia horizontal global, comparación de valores en escala real (salón principal) y en el modelo a escala, puntos de medición: fila 1, la más cercana a la ventana, hilera perpendicular a la ventana A y B, 14/04/08



Gráfica: Diferencia porcentual de los valores lumínicos en escala real (salón principal) y modelo a escala, puntos de medición: fila 1, la más cercana a la ventana, hilera perpendicular a la ventana A y B, 14/04/08

son de 898 y 935 lux, mientras que los valores de la iluminancia horizontal global dentro del modelo a escala son de 2015 y 2326 lux, respectivamente. La diferencia de la iluminancia horizontal global medida en el salón principal y la medida en el modelo a escala es de 1117 lux y de 1391 lux. El promedio de iluminancia en este periodo (de 10:45 a.m. a 12:34 p.m.) con luz global disponible en la fachada y con nubes ligeras, dentro del salón principal es de 879 y 907 lux y dentro del modelo a escala es de 1903 y 2192 lux.

Por la tarde, cuando el espacio interior recibe luz difusa del cielo y luz reflejada del exterior, por ejemplo a las 2:33 p.m., cuando el Sol tiene una altura de 60° grados, la iluminancia horizontal global medida en el salón principal presenta valores de 550 y 566 lux, mientras que la iluminancia horizontal global medida dentro del modelo a escala presenta valores de 1290 y 1420 lux. La diferencia de la iluminancia horizontal global medida en el salón principal a comparación de la medida en el modelo a escala es de 740 y 854 lux, respectivamente. El promedio de iluminancia en el periodo con luz difusa y nubes ligeras, por la tarde de 12:41 p.m. a 2:25 p.m., dentro del salón principal es de 446 y 434 lux y dentro del modelo a escala es de 1069 y 1171 lux. El promedio de iluminancia en el periodo con luz difusa y nubes densas, por la tarde, de 2:29 p.m. a 4:37 p.m., dentro del salón principal es de 349 y 763 lux y dentro del modelo a escala es de 763 y 846 lux.

Tabla 3.1 resumen con la iluminancia horizontal global medida en el salón principal y en el modelo a escala

Tsv	Ho	at	12 ven.A.1.s	18 ven.B.1.s	5 ven.A.1.m	9 ven.B.1.m	DIF 5-12	DIF 9-18
hrs	hrs:min	°	lx	lx	lx	lx	lux	lux
8.28	08:53 AM	35	4241	4215	5128	6704	887	2489
8.95	09:33 AM	45	501	523	988	1166	487	643
10.95	11:33 AM	72	898	935	2015	2326	1117	1391
13.95	02:33 PM	60	550	566	1290	1420	740	854

Tabla 4.1 resumen con los promedios de la iluminancia horizontal global medida en el salón principal con respecto de la iluminancia horizontal global medida dentro del modelo a escala

Ho		at	12 ven.A.1.s	18 ven.B.1.s	5 ven.A.1.m	9 ven.B.1.m
desde	hasta	lx	lx	lx	lx	lx
08:37 AM	10:41 AM	31-61	1663	1613	2878	3985
10:45 AM	12:34 PM	61-80	879	907	1903	2192
12:41 PM	02:25 PM	80-61	446	434	1069	1171
02:29 PM	04:37 PM	61-31	349	345	763	846

GRÁFICA: DIFERENCIA PORCENTUAL DE LOS VALORES LUMÍNICOS EN ESCALA REAL (SALÓN PRINCIPAL) Y MODELO A ESCALA, PUNTOS DE MEDICIÓN: FILA 1, LA MÁS CERCANA A LA VENTANA, HILERA PERPENDICULAR A LA VENTANA A Y B, 14/04/08

Esta gráfica representa la diferencia en porcentaje de los valores de iluminancia de los puntos de medición en la fila 1, la más cercana a la ventana, en la hilera perpendicular a la ventana A y B el día 14 de abril de 2008. Durante el día astronómico la diferencia porcentual promedio del punto en la ventana A es del 47% y del punto en la ventana B es del 52%.

En los primeros grados del periodo con influencia del contexto (de 7:13 a.m. a las 8:33 a.m. y de 4:41 p.m. a las 6:01 p.m.), la diferencia porcentual de la iluminancia horizontal global medida en el salón principal y la

medida dentro del modelo a escala varía considerablemente, mostrando valores de 0 hasta 100%, estos valores coinciden con que el ángulo de altitud solar es bajo, lo que puede generar imprecisión en la lectura de valores lumínicos en el fotómetro, por la coerción del coseno. (Ver anexo 3)

Fuera del periodo de influencia del contexto (después de las 8:37 a.m. y antes de las 4:41 p.m.) en el periodo con luz global disponible en la fachada, nubes densas e incidencia de rayos solares en los puntos de medición, por la mañana (de 8:37 a.m. a 10:41 a.m.), se presenta la diferencia porcentual más baja (menor de 20%) y la más alta (mayor de 80%). Aún así, en promedio este periodo presenta la diferencia porcentual más baja con 44-54%. A comparación del periodo con luz global y nubes ligeras (de 10:45 a.m. a 12:34 p.m.) en donde ya no hay incidencia de rayos solares en los puntos de medición, esta diferencia es del 55-59%.

Por la tarde, de 12:41 p.m. a 2:25 p.m., con nubes ligeras, donde la fachada del edificio de estudio recibe principalmente luz difusa del cielo y luz reflejada del exterior, la diferencia es del 58-63%, mayor que la diferencia porcentual con luz difusa y nubes densas, de 2:29 p.m. a 4:37 p.m., del 54-59%.

El periodo que presenta más diferencia porcentual es, por la tarde (de 12:41 p.m. a 2:25 p.m.) con luz difusa disponible en la fachada, nubes ligeras y luz reflejada del exterior. Esto quiere decir que los rayos solares inciden en la fachada enfrentada al edificio de estudio y que el espacio de estudio recibe luz reflejada de estos edificios.

Tabla 4.2 resumen con las diferencias porcentuales de la iluminancia horizontal global medida en el salón principal con respecto de la iluminancia horizontal global medida dentro del modelo a escala

Ho		at	DIF 5-12	DIF 9-18
desde	hasta		ven.A.1.m. y ven.A.1.s.	ven.B.1.m y ven.B.1.s
		°	%	%
07:13 AM	08:33 AM	10-31	45	55
08:37 AM	10:41 AM	31-61	44	54
10:45 AM	12:34 PM	61-80	55	59
12:41 PM	02:25 PM	80-61	58	63
02:29 PM	04:37 PM	61-31	54	59
04:41 PM	06:01 PM	31-10	42	46
Promedio del día astronómico			47	52

GRÁFICA: ILUMINANCIA HORIZONTAL GLOBAL, COMPARACIÓN DE VALORES EN ESCALA REAL (SALÓN PRINCIPAL) Y EN EL MODELO A ESCALA, PUNTOS DE MEDICIÓN: FILA 1, LA MÁS CERCANA A LA VENTANA, HILERA PERPENDICULAR AL CENTRO DE LA PARED ENTRE LAS VENTANAS, 14/04/08

Esta gráfica muestra la iluminancia horizontal global medida en un punto en la primera fila y en la hilera al centro de la pared entre las dos ventanas, tanto dentro del salón principal como dentro del modelo a escala el día 14 de abril de 2008.

Este punto de medición no tiene visión del cielo y no recibe rayos solares en ningún momento del día de estudio, recibe principalmente luz reflejada de las superficies del espacio interior. (Ver imagen: Ubicación de fotómetros dentro del salón principal y los rayos solares incidentes en éste, supuestos por los trazos de la geometría solar) (Ver imagen: Ubicación de fotómetros dentro del modelo a escala 1:20 y los rayos solares incidentes en éste, supuestos por los trazos de la geometría solar)

Los valores de la iluminancia medida dentro del modelo a escala son más altos (en algunos momentos por arriba de 700 lux) a comparación de los valores de la iluminancia dentro del modelo a escala (por debajo de 100 lux, promedio).

Los valores promedio de iluminancia dentro del salón principal se mantienen más constantes, de 29 a 57 lux, mientras que los valores promedio de iluminancia en el modelo a escala varían, de 227 a 568 lux.

Dentro del periodo, con luz global y nubes densas, por la mañana, por ejemplo a las 9:33 a.m., la iluminancia dentro del salón principal tiene un valor de 26 lux, mientras que la iluminancia dentro del modelo a escala tiene un valor de 230 lux. La diferencia de 204 lux es significativa para el análisis cuantitativo de la iluminancia dentro de un espacio arquitectónico.

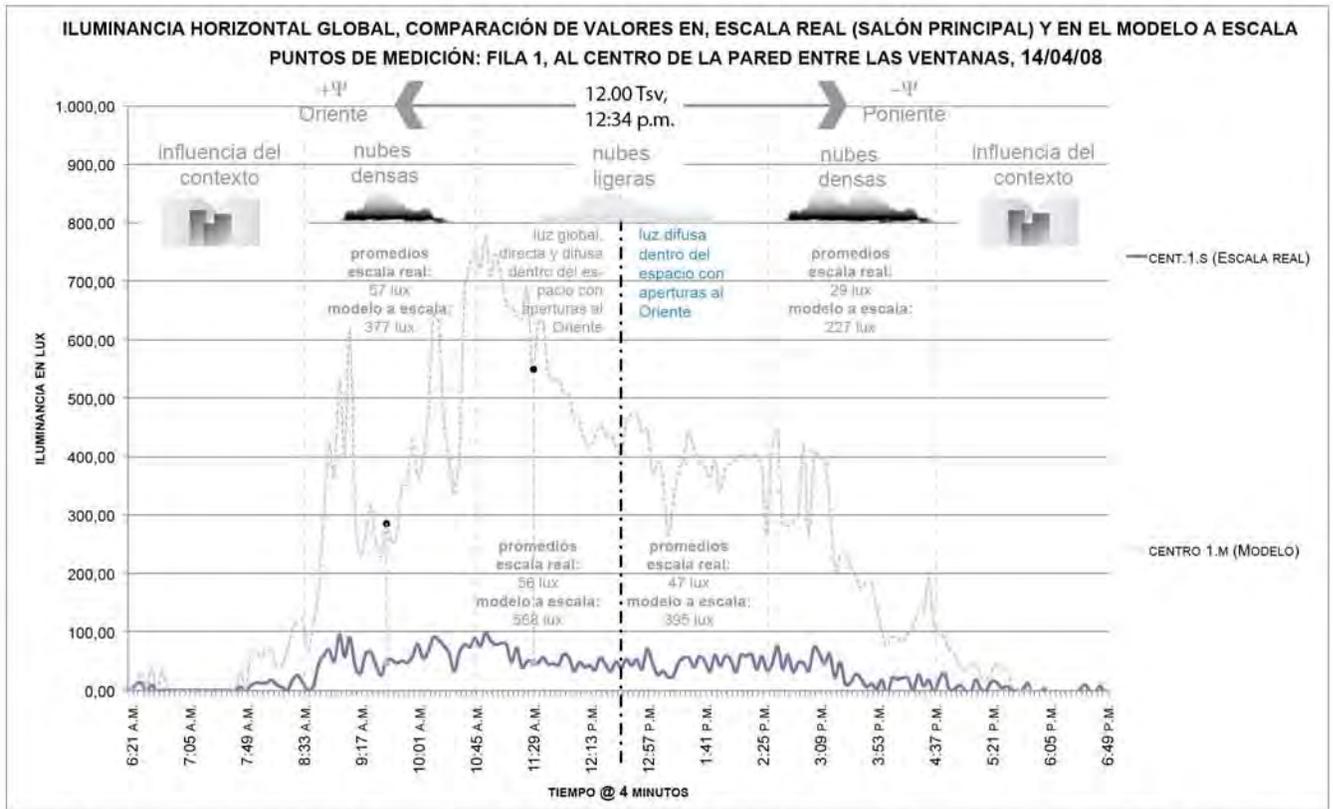
En el periodo en donde el punto de medición dentro del modelo a escala recibe más iluminancia, por la mañana con luz global y con nubes ligeras, por ejemplo a las 11:33 a.m. la iluminancia horizontal global medida en el salón principal es de 46 lux, mientras que la iluminancia horizontal global medida dentro del modelo a escala es de 626 lux. La diferencia de 580 lux, también es significativa para el análisis cuantitativo de la iluminancia dentro de un espacio arquitectónico.

Tabla 3.2 resumen con la iluminancia horizontal global medida en el salón principal y en el modelo a escala

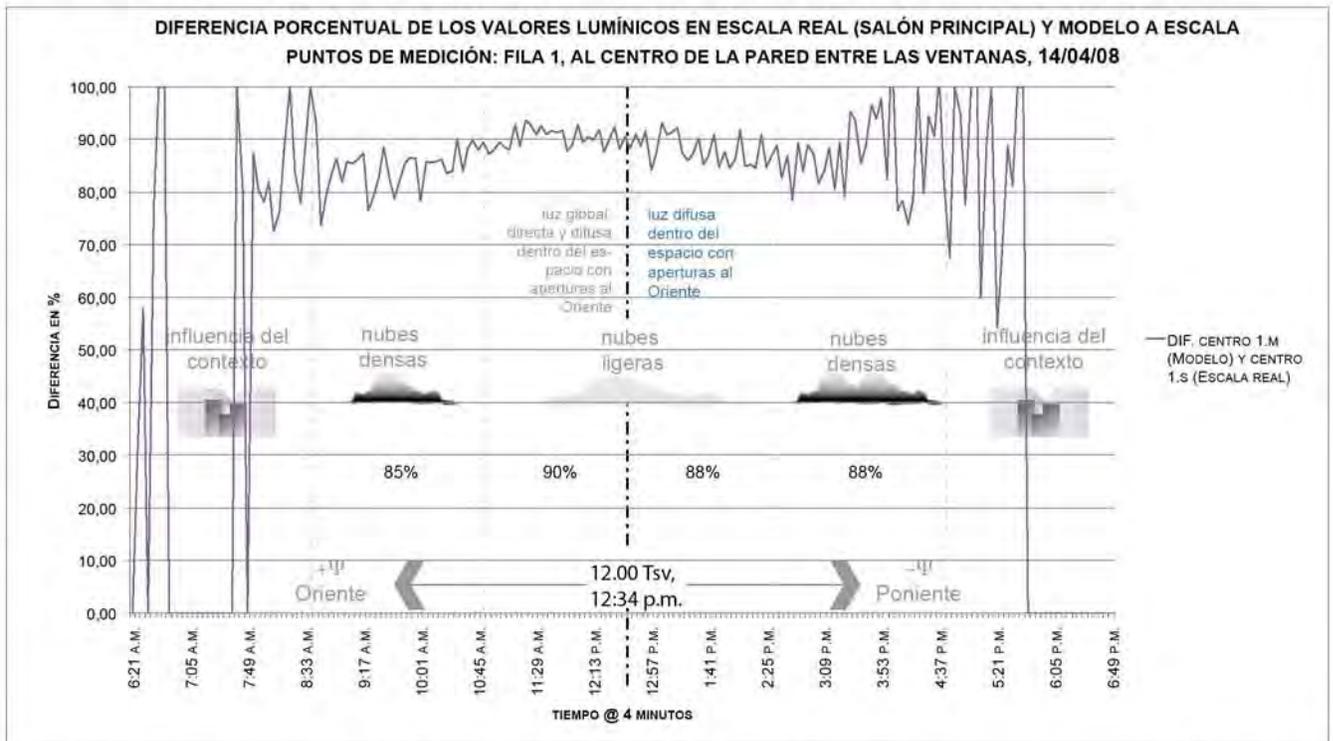
Tsv	Ho	at	15 centro.1.s	7 centro.1.m	DIF 7-15
hrs	hrs:min	°	lx	lx	lux
8.95	09:33 AM	45	26	230	204
10.95	11:33 AM	72	46	626	580

Tabla 4.3 resumen con los promedios de la iluminancia horizontal global medida en el salón principal con respecto de la iluminancia horizontal global medida dentro del modelo a escala

Ho		at	15 centro.1.s	7 centro.1.m
desde	hasta	lx	lx	lx
08:37 AM	10:41 AM	31-61	57	377
10:45 AM	12:34 PM	61-80	56	568
12:41 PM	02:25 PM	80-61	47	395
02:29 PM	04:37 PM	61-31	29	227



Gráfica: Iluminancia horizontal global, comparación de valores en escala real (salón principal) y modelo a escala, puntos de medición: fila 1. al centro de la pared entre las ventanas, 14/04/08



Gráfica: Diferencia porcentual de los valores lumínicos en escala real (salón principal) y modelo a escala, puntos de medición: fila 1. al centro de la pared entre las ventanas, 14/04/08

GRÁFICA: DIFERENCIA PORCENTUAL DE LOS VALORES LUMÍNICOS EN ESCALA REAL (SALÓN PRINCIPAL) Y MODELO A ESCALA, PUNTOS DE MEDICIÓN: FILA 1, LA MÁS CERCANA A LA VENTANA, HILERA PERPENDICULAR AL CENTRO DE LA PARED ENTRE LAS VENTANAS, 14/04/08

Esta gráfica representa la diferencia porcentual de los valores de la iluminancia horizontal global medida dentro del salón principal y la iluminancia horizontal global medida dentro del modelo a escala, en un punto en la primera fila y al centro de la pared entre las dos ventanas. El promedio de la diferencia porcentual durante el día astronómico, del día 14 de abril de 2008, es del 78%.

En el periodo con influencia del contexto, de 7:13 a.m. a las 8:33 a.m. y de 4:41 p.m. a las 6:01 p.m., ambas iluminancias presentan valores alrededor de 0 lux, con lo que la diferencia porcentual es de 0% y el promedio de estos dos periodos es del 52% por la mañana y del 65% por la tarde.

Si excluimos el periodo con influencia del contexto, los valores de la diferencia porcentual, por la mañana con luz global disponible en la fachada, nubes densas e incidencia de rayos solares en el espacio de estudio (de las 8:37 a.m. a las 10:41 a.m.) es del 85%, inferior al valor de la diferencia porcentual, con luz global, nubes ligeras y sin la incidencia de rayos solares en el espacio de estudio (de las 10:45 a.m. a las 12:34 p.m.) del 90%.

Por la tarde, con luz difusa disponible en la fachada, nubes ligeras y luz reflejada del exterior (de las 12:41 p.m. a las 4:37 p.m.), la diferencia porcentual es del 88%, igual que la diferencia porcentual, con luz difusa y nubes densas, de 2:29 p.m. a 4:37 p.m., de 88%.

Tabla 4.4 resumen con las diferencias porcentuales de la iluminancia horizontal global medida en el salón principal con respecto de la iluminancia horizontal global medida dentro del modelo a escala

Ho		at	DIF 7-15
desde	hasta	"	centro.1.m - centro.1.s
			%
07:13 AM	08:33 AM	10-31	52
08:37 AM	10:41 AM	31-61	85
10:45 AM	12:34 PM	61-80	90
12:41 PM	02:25 PM	80-61	88
02:29 PM	04:37 PM	61-31	88
04:41 PM	06:01 PM	31-10	65
Promedio del día astronómico			78

GRÁFICA: ILUMINANCIA HORIZONTAL GLOBAL, COMPARACIÓN DE VALORES EN ESCALA REAL (SALÓN PRINCIPAL) Y EN EL MODELO A ESCALA, PUNTOS DE MEDICIÓN: FILA 3, LA MÁS LEJANA A LA VENTANA, HILERA PERPENDICULAR A LA VENTANA A Y B, 14/04/08

Esta gráfica muestra la iluminancia horizontal global de dos puntos dentro del salón principal; en la tercera fila, la más lejana de la ventana, y las hileras perpendiculares a la ventana A y a la ventana B; y la iluminancia horizontal global dentro del modelo a escala en dos puntos con la misma ubicación el día 14 de abril de 2008.

Estos puntos de medición tienen visión del cielo, aunque menor que los puntos de medición en la fila 1, y en ellos inciden los rayos del Sol, en un momento por la mañana.

La iluminancia dentro del salón principal muestra valores lumínicos más constantes durante todo el día astronómico, principalmente de las 8:33 a.m. a las 4:37 p.m., fuera de la influencia del contexto del Centro Histórico de la Ciudad de México. Los valores lumínicos promedio de la iluminancia dentro del salón principal no rebasan los 100 lux, éstos van de 29 a 46 lux. Mientras que la iluminancia dentro del modelo a escala, fuera de la influencia del contexto, muestra valores lumínicos irregulares, que van desde los 200 lux hasta los 400 lux

(con valores promedio de 167 a 312 lux), por la mañana y por la tarde de 200 lux hasta 100 y 0 lux, (con valores promedio de 69 a 221 lux). En general los valores de la iluminancia dentro del modelo a escala son más altos que los valores de la iluminancia dentro del salón principal a escala real.

Estos puntos de medición dentro del salón principal como dentro del modelo a escala reciben los rayos directos del Sol, según el análisis de la incidencia de los rayos solares en la arquitectura del espacio de estudio, a las 8.00 horas del Tiempo Solar Verdadero, lo que equivale a las 8:37 a.m. (Ver imagen: Ubicación de fotómetros dentro del salón principal y los rayos solares incidentes en éste, supuestos por los trazos de la geometría solar) (Ver imagen: Ubicación de fotómetros dentro del modelo a escala 1:20 y los rayos solares incidentes en éste, supuestos por los trazos de la geometría solar) Esta incidencia de rayos solares se puede ver reflejada a las 8:53 a.m. en donde la iluminancia dentro del salón principal es de 54 lux y 15 lux y la iluminancia dentro del modelo a escala es de 178 y 223 lux. La diferencia de la iluminancia medida dentro del salón principal y dentro del modelo a escala de 124 lux y de 208 lux, respectivamente, es significativa para la predicción cuantitativa de la luz natural en modelos a escala.

Con luz global disponible en fachada, nubes ligeras y sin la incidencia de rayos solares en los puntos de medición, por ejemplo a las 11:33 a.m., la iluminancia dentro del salón principal tiene un valor de 43 lux y 28 lux, mientras que la iluminancia dentro del modelo a escala tiene un valor de 311 lux y de 366 lux. Por la mañana, con luz global, nubes ligeras y sin la incidencia de rayos solares en los puntos de medición, la diferencia de la iluminancia medida dentro del salón principal y dentro del modelo a escala, es de 268 lux y de 338 lux, respectivamente.

Por la tarde, con luz difusa disponible en fachada, nubes ligeras y luz reflejada del exterior, por ejemplo a las 2:05 p.m. (con una altura solar de 66° grados), la iluminancia dentro del salón principal es de 62 lux y de 74 lux, mientras que la iluminancia dentro del modelo a escala es de 258 lux y de 259 lux, respectivamente. Con luz difusa disponible en fachada, nubes ligeras y luz reflejada del exterior, de 2:29 p.m. a 4:37 p.m., la diferencia de la iluminancia es de 196 lux y de 185 lux, respectivamente.

Tabla 3.3 resumen con la iluminancia horizontal global medida en el salón principal y en el modelo a escala

Tsv	Ho	at	14 ven.A.3.s	20 ven.B.3.s	6 ven.A.2.m	10 ven.B.2.m	DIF 6-14	DIF 10-20
hrs	hrs:min	°	lx	lx	lx	lx	lux	lux
8.28	08:53 AM	35	54	15	178	223	124	208
10.95	11:33 AM	72	43	28	311	366	268	338
13.48	02:05 PM	66	62	74	258	259	196	185

Tabla 4.5 resumen con los promedios de la iluminancia horizontal global medida en el salón principal con respecto de la iluminancia horizontal global medida dentro del modelo a escala

Ho		at	14 ven.A.3.s	20 ven.B.3.s	6 ven.A.2.m	10 ven.B.2.m
desde	hasta	lx	lx	lx	lx	lx
08:37 AM	10:41 AM	31-61	35	30	167	203
10:45 AM	12:34 PM	61-80	38	29	272	312
12:41 PM	02:25 PM	80-61	46	41	178	221
02:29 PM	04:37 PM	61-31	33	40	69	140

GRÁFICA: DIFERENCIA PORCENTUAL DE LOS VALORES LUMÍNICOS EN ESCALA REAL (SALÓN PRINCIPAL) Y MODELO A ESCALA, PUNTOS DE MEDICIÓN: FILA 3, LA MÁS LEJANA A LA VENTANA, HILERA PERPENDICULAR A LA VENTANA A Y B, 14/04/08

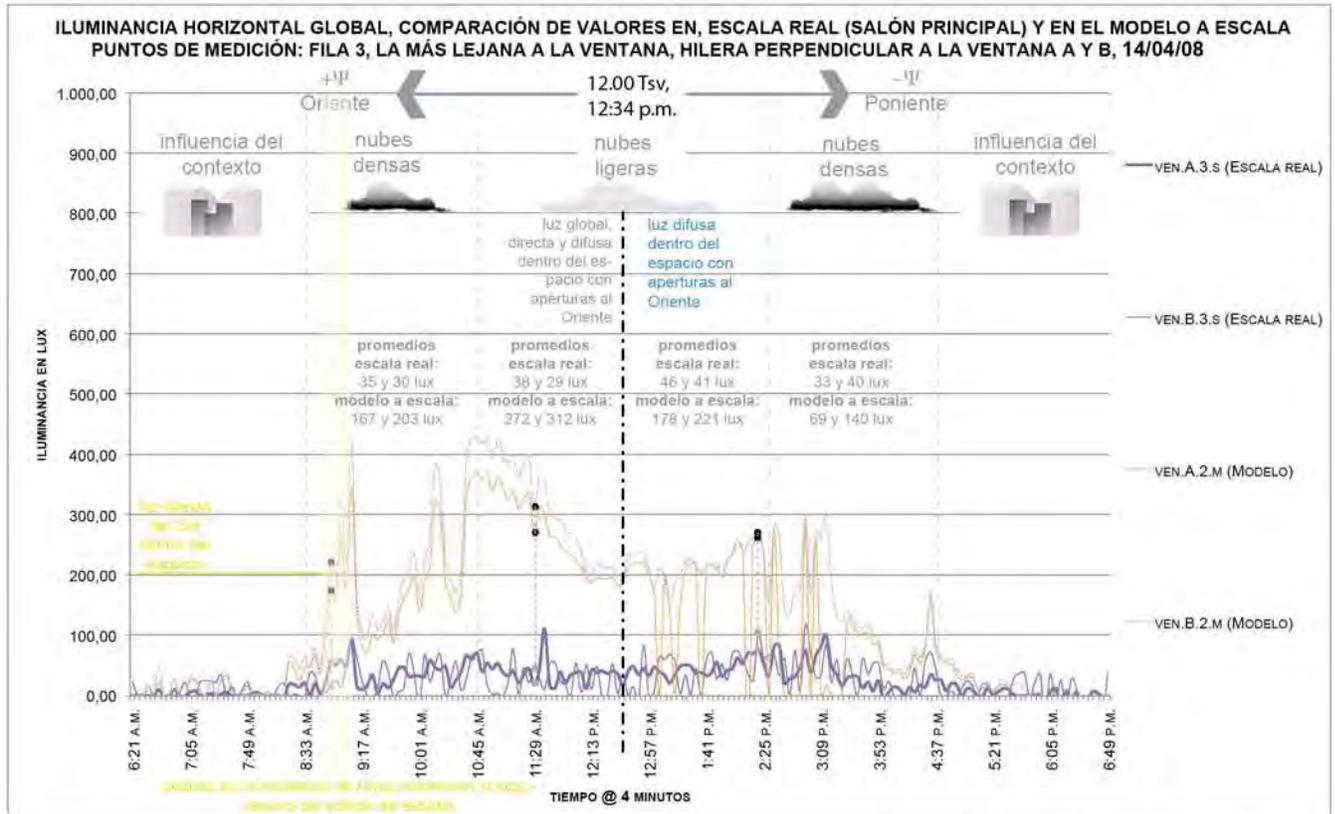
Esta gráfica muestra la diferencia porcentual de la iluminancia medida dentro del salón principal y dentro del modelo a escala; en la tercera fila, la más lejana de la ventana, y las hileras perpendiculares a la ventana A y a la ventana B; la diferencia porcentual de todo el día astronómico, del día 14 de abril de 2008, del punto en la hilera de la ventana A es de 61% y del punto en la hilera de la ventana B es de 70%. Estos porcentajes de la diferencia porcentual son mayores que los porcentaje de la diferencia porcentual de los puntos; en la primera fila, la más cercana a la ventana, en las hileras perpendiculares a la ventana A (47%) y a la ventana B (52%).

Por la mañana, de 8:37 a.m. a 10:41 a.m., con luz global disponible en la fachada, nubes densas e incidencia de rayos solares en los puntos de medición, la diferencia porcentual es de 80 y 83%. De 10:45 a.m. a 12:34 p.m. con luz global, nubes ligeras y sin la incidencia de rayos solares, la diferencia porcentual es mayor, ésta es de 86 y 90%.

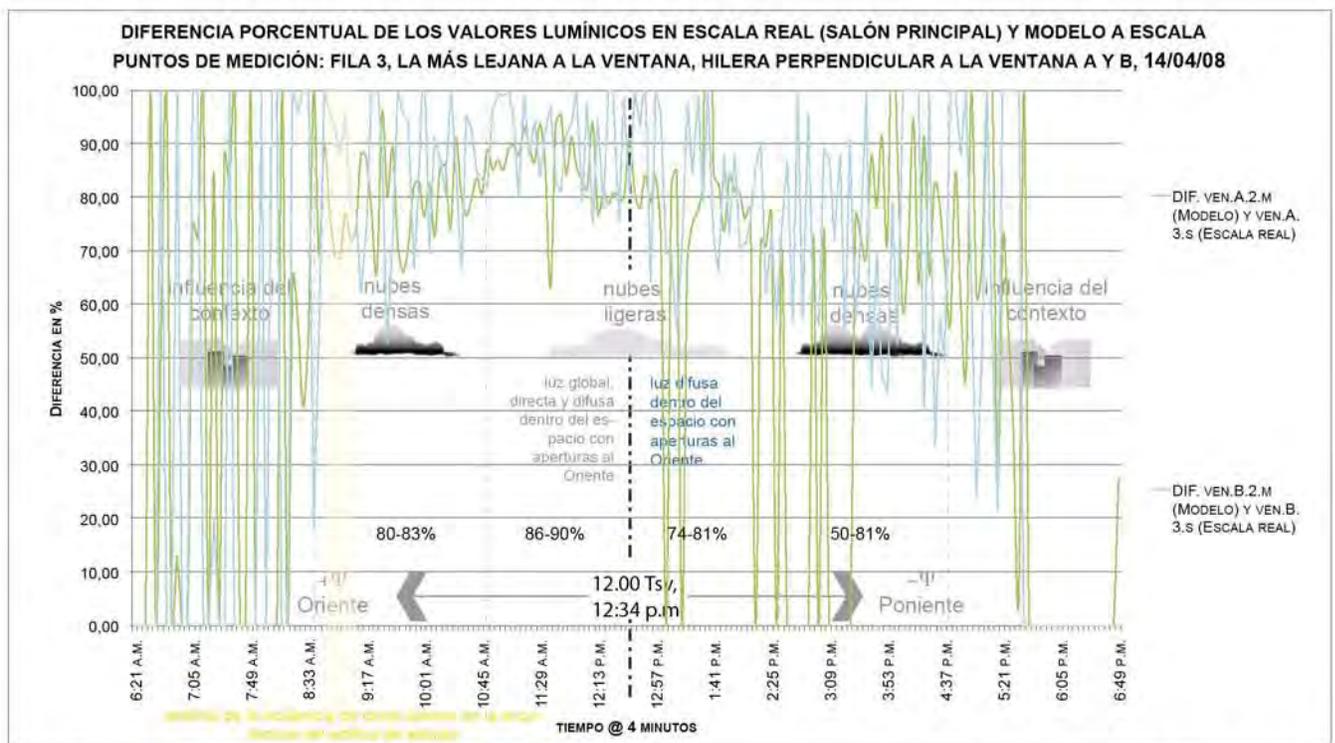
Por la tarde, de 12:41 p.m. a 2:25 p.m., con luz difusa disponible en la fachada, nubes ligeras y luz reflejada del exterior, la diferencia porcentual es de 74 y 81% mayor a la diferencia porcentual, con luz difusa y nubes densas, de 2:29 p.m. a 4:37 p.m., del 50-72%.

Tabla 4.6 resumen con las diferencias porcentuales de la iluminancia horizontal global medida en el salón principal con respecto de la iluminancia horizontal global medida dentro del modelo a escala

Ho		at	DIF 6-14	DIF 10-20
desde	hasta		ven.A.2.m y ven.A.3.s	ven.B.2.m y ven.B.3.s
		°	%	%
07:13 AM	08:33 AM	10-31	42	39
08:37 AM	10:41 AM	31-61	80	83
10:45 AM	12:34 PM	61-80	86	90
12:41 PM	02:25 PM	80-61	74	81
02:29 PM	04:37 PM	61-31	50	72
04:41 PM	06:01 PM	31-10	46	53
Promedio del día astronómico			61	70



Gráfica: Iluminancia horizontal global, comparación de valores en escala real (salón principal) y modelo a escala, puntos de medición: fila 3, la más lejana a la ventana, hilera perpendicular a la ventana A y B, 14/04/08



Gráfica: Diferencia de los valores lumínicos en escala real (salón principal) y modelo a escala, puntos de medición: fila 3, la más lejana a la ventana, hilera perpendicular a la ventana A y B, 14/04/08

GRÁFICA: ILUMINANCIA HORIZONTAL GLOBAL, COMPARACIÓN DE VALORES EN ESCALA REAL (SALÓN PRINCIPAL) Y MODELO A ESCALA, PUNTOS DE MEDICIÓN: FILA 3, LA MÁS LEJANA A LA VENTANA, HILERA PERPENDICULAR AL CENTRO DE LA PARED ENTRE LAS VENTANAS, 14/04/08

Esta gráfica muestra la iluminancia horizontal global medida en el salón principal y dentro del modelo a escala en la fila3, la más lejana a la ventana, en la hilera perpendicular al centro de la pared entre las ventanas el día 14 de abril de 2008.

Por la mañana, el promedio de iluminancia dentro del modelo a escala muestra valores irregulares significativamente más altos de 200 lux a 400 lux (con valores promedio de 214 a 344 lux) y por la tarde, los valores lumínicos van de 200 lux a 100 lux (con valores promedio de 159 a 266 lux). Mientras que la iluminancia dentro del salón principal muestra valores de iluminancia constantes menores a 100 lux (con valores promedio de 30 a 40 lux), dentro del periodo fuera de la influencia del contexto, de 8:33 a.m. a 4:37 p.m.

Estos dos puntos dentro del salón principal como dentro del modelo a escala no tienen visión del cielo y no reciben incidencia de los rayos del Sol durante el día de estudio. (Ver imagen: Ubicación de fotómetros dentro del salón principal y los rayos solares incidentes en éste, supuestos por los trazos de la geometría solar) (Ver imagen: Ubicación de fotómetros dentro del modelo a escala 1:20 y los rayos solares incidentes en éste, supuestos por los trazos de la geometría solar)

Por la mañana, con luz global disponible en fachada, nubes densas e incidencia de los rayos solares en el espacio de estudio, a las 8:53 a.m., a una altura solar de 35° grados, la iluminancia dentro del salón principal es de 38 lux y dentro del modelo a escala es de 212 lux, la diferencia de 174 lux es significativa para el pronóstico cuantitativo de luz natural dentro de los modelos a escala. También por la mañana a las 11:33 a.m., con luz global, nubes ligeras (a una altura solar de 72° grados) y sin la incidencia de rayos solares, la iluminancia dentro del salón principal es de 26 lux y dentro del modelo a escala es de 381 lux, la diferencia de es 355 lux.

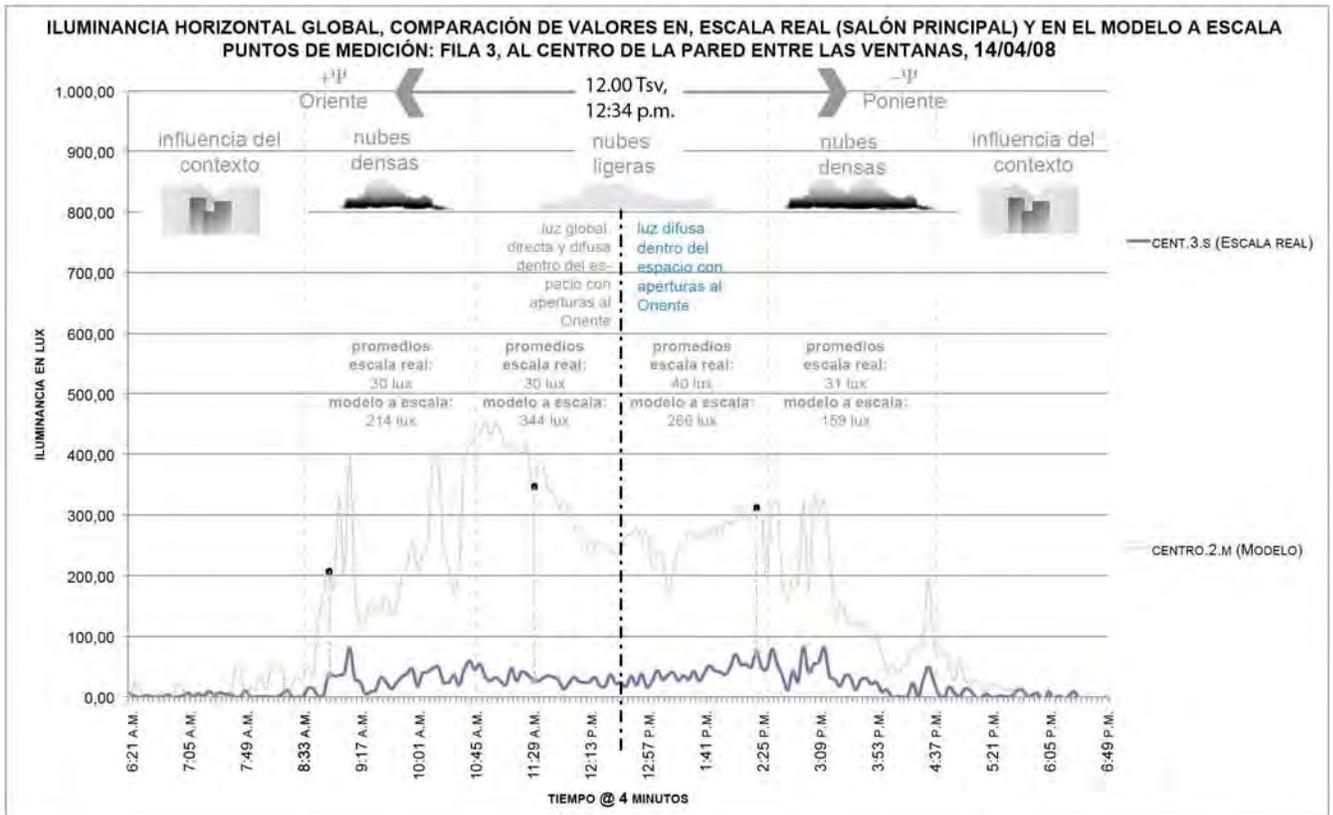
Por la tarde, a las 2:05 p.m. con luz difusa disponible en fachada, nubes ligeras y luz reflejada del exterior, la iluminancia dentro del salón principal es de 70 lux y dentro del modelo a escala es de 381 lux. La diferencia con luz difusa, nubes ligeras y luz reflejada del exterior es de 188 lux.

Tabla 3.4 resumen con la iluminancia horizontal global medida en el salón principal y en el modelo a escala

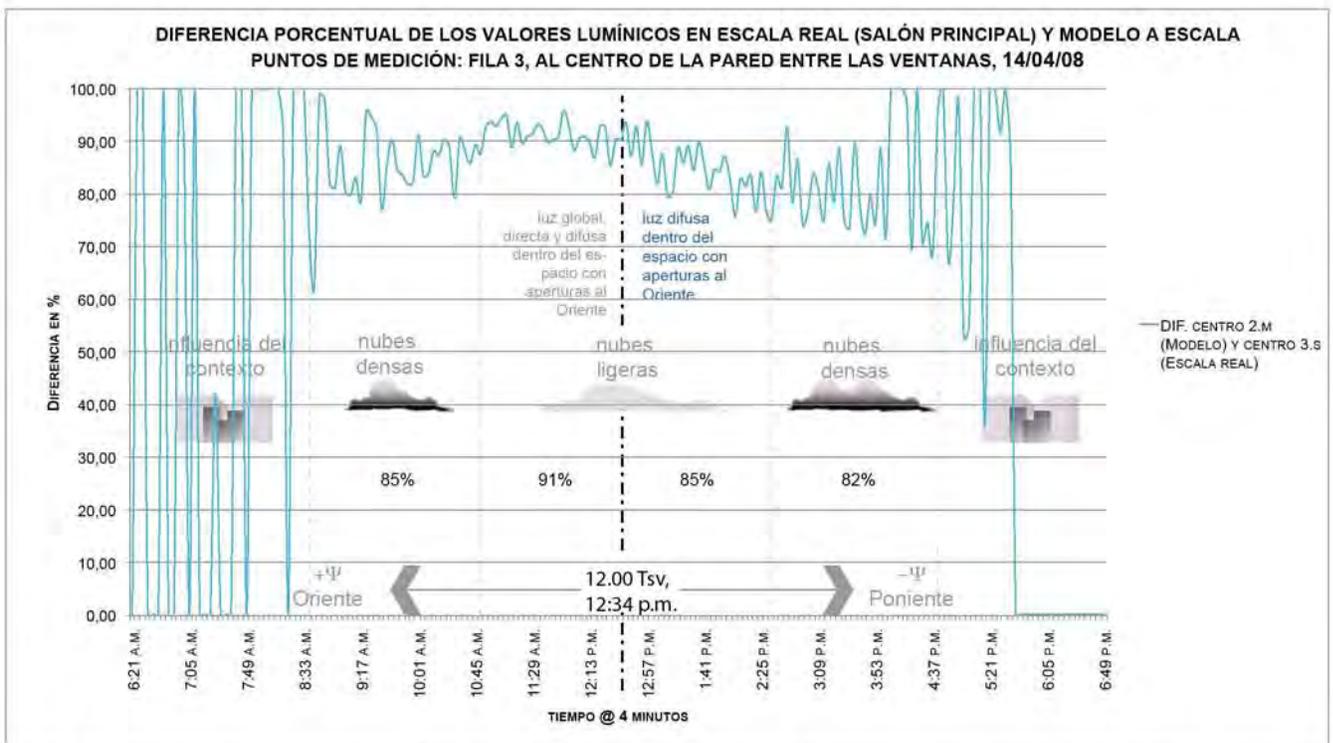
Tsv	Ho	at	17 centro.3.s	8 centro.2.m	DIF 8-17
hrs	hrs:min	°	lx	lx	lux
8.28	08:53 AM	35	38	212	174
10.95	11:33 AM	72	26	381	355
13.48	02:05 PM	66	71	259	188

Tabla 4.7 resumen con los promedios de la iluminancia horizontal global medida en el salón principal con respecto de la iluminancia horizontal global medida dentro del modelo a escala

Ho		at	17 centro.3.s	8 centro.2.m
desde	hasta	lx	lx	lx
08:37 AM	10:41 AM	31-61	30	214
10:45 AM	12:34 PM	61-80	30	344
12:41 PM	02:25 PM	80-61	40	266
02:29 PM	04:37 PM	61-31	31	159



Gráfica: Iluminancia horizontal global, comparación de valores en escala real (salón principal) y modelo a escala, puntos de medición: fila 3, al centro de la pared entre las ventanas, 14/04/08



Gráfica: Diferencia porcentual de los valores lumínicos en escala real (salón principal) y modelo a escala, puntos de medición: fila 3, al centro de la pared entre las ventanas, 14/04/08

GRÁFICA: DIFERENCIA PORCENTUAL DE LOS VALORES LUMÍNICOS EN ESCALA REAL (SALÓN PRINCIPAL) Y MODELO A ESCALA, PUNTOS DE MEDICIÓN: FILA 3, LA MÁS LEJANA A LA VENTANA, HILERA PERPENDICULAR AL CENTRO DE LA PARED ENTRE LAS VENTANAS, 14/04/08

Esta gráfica muestra la diferencia porcentual de la iluminancia dentro del salón principal y dentro del modelo a escala de un punto en fila 3 y en la hilera perpendicular al centro de la pared entre las dos ventanas.

Este punto de medición no tiene visión del cielo y no recibe rayos solares en el día de estudio. (Ver imagen: Ubicación de fotómetros dentro del salón principal y los rayos solares incidentes en éste, supuestos por los trazos de la geometría solar) (Ver imagen: Ubicación de fotómetros dentro del modelo a escala 1:20 y los rayos solares incidentes en éste, supuestos por los trazos de la geometría solar)

La diferencia porcentual a lo largo del día astronómico es del 86%, la más alta con referencia a los demás puntos de medición dentro del espacio de estudio.

Por la mañana, con luz global disponible en la fachada, nubes densas e incidencia de rayos solares en el espacio de estudio, de 8:37 a.m. a 10:41 a.m., la diferencia porcentual es del 85%, más baja que la diferencia porcentual, con luz global, nubes ligeras y sin la incidencia de rayos solares, de 10:45 a.m. a 12:34 p.m., del 91%.

Por la tarde, de 12:41 p.m. a 2:25 p.m., con luz difusa disponible en la fachada, nubes ligeras y luz reflejada del exterior, la diferencia porcentual es del 85%, más alta que la diferencia porcentual, con luz difusa y nubes densas, de 2:29 p.m. a 4:37 p.m., del 82%.

Tabla 4.8 resumen con las diferencias porcentuales de la iluminancia horizontal global medida en el salón principal con respecto de la iluminancia horizontal global medida dentro del modelo a escala

Ho		at	DIF 8-17
desde	hasta	"	centro.2.m y centro.3.s
			%
07:13 AM	08:33 AM	10-31	59
08:37 AM	10:41 AM	31-61	85
10:45 AM	12:34 PM	61-80	91
12:41 PM	02:25 PM	80-61	85
02:29 PM	04:37 PM	61-31	82
04:41 PM	06:01 PM	31-10	61
Promedio del día astronómico			86

CONCLUSIONES

En general los valores de iluminancia medidos dentro del modelo a escala son mayores que los valores de la iluminancia medidos en el espacio a escala real. En el salón principal, la diferencia porcentual, fuera de la influencia del contexto, de la iluminancia medida en el modelo a escala y la iluminancia medida en el espacio a escala real varía; en los puntos de medición con visión del cielo e incidencia de rayos solares en promedio del 44% al 90%; y en los puntos de medición sin visión del cielo y sin incidencia de rayos solares en promedio del 82% al 91%.

Fuera de la influencia del contexto, los valores promedio de iluminancia dentro del espacio real varían; en los puntos de medición con visión del cielo e incidencia de rayos solares de 29 lux a 1663 lux; y en los puntos de medición sin visión del cielo y sin incidencia de rayos solares de 29 lux a 57 lux. Mientras que los valores promedio de iluminancia dentro del modelo a escala varían; en los puntos de medición con visión del cielo e incidencia de rayos solares de 69 lux a 3985 lux; y en los puntos de medición sin visión del cielo y sin incidencia

de rayos solares de 159 lux a 568 lux. (Ver imagen: Comparación de la iluminancia medida dentro del modelo a escala y la iluminancia dentro del espacio a escala real, salón principal, puntos de medición con visión del cielo e incidencia de rayos solares, 14/04/08) (Ver imagen: Comparación de la iluminancia medida dentro del modelo a escala y la iluminancia dentro del espacio a escala real, salón principal, puntos de medición sin visión del cielo y sin incidencia de rayos solares, 14/04/08)

La alta variación en las primeras y últimas horas del día astronómico se debe a que el ángulo de la luz incidente en el sensor es menor de 31° grados, lo que puede presentar grandes diferencias en la lectura de iluminancia tanto en el espacio real como en el modelo a escala, aunque los sensores tengan la corrección de la ley del coseno. (Ver anexo 3). Por otro lado, la influencia del contexto impide la incidencia de luz natural en el espacio de estudio, con lo que los valores de iluminancia en este periodo son mínimos, generando que la variación de la diferencia porcentual sea grande.

La diferencia de valores en iluminancia medidos en la escala real y dentro del modelo a escala son significativos para el pronóstico cuantitativo de la iluminancia. Por lo que esta herramienta de diseño, en este caso, los modelos físicos con una escala de 1 a 20, no son precisos para el pronóstico de la iluminación natural dentro de los espacios interiores. Aún así, los valores lumínicos medidos en el modelo a escala dan una pauta del patrón de la iluminancia dentro del espacio interior arquitectónico, aunque la diferencia en valores sea elevada.

Aunque es complicado afirmar en qué periodo la iluminancia dentro del modelo a escala es más precisa con respecto a la iluminancia dentro del espacio en escala real (salón principal) ya que son varios los factores que afectan tanto la Disponibilidad de Luz Natural en la fachada como la iluminancia dentro del espacio arquitectónico. En este estudio se observa que la precisión de la iluminancia medida dentro del modelo a escala es mayor en el periodo con luz global disponible en la fachada, con nubes densas y cuando los rayos del Sol inciden en los puntos de medición a comparación del periodo luz global disponible en la fachada, con nubes ligeras y cuando los rayos del Sol no inciden en los puntos de medición. En el periodo de luz difusa disponible en fachada, con nubes densas, con incidencia de luz reflejada del contexto y con un altura solar menor de 61° grados la precisión de la iluminancia medida dentro del modelo a escala es mayor a comparación del periodo de luz difusa disponible en fachada, con nubes ligeras, con incidencia de luz reflejada del contexto y con un altura solar mayor de 61° grados. (Ver imagen: Comparación de la iluminancia medida dentro del modelo a escala y la iluminancia dentro del espacio a escala real, salón principal, puntos de medición con visión del cielo e incidencia de rayos solares, 14/04/08) (Ver imagen: Comparación de la iluminancia medida dentro del modelo a escala y la iluminancia dentro del espacio a escala real, salón principal, puntos de medición sin visión del cielo y sin incidencia de rayos solares, 14/04/08)

Dentro del espacio de estudio la diferencia porcentual más alta se encuentra en los puntos del espacio que menos iluminancia reciben del exterior, en estos puntos la luz reflejada de las superficies influye más que la luz directa del cielo. Esto quiere decir que entre menos expuesto este el punto de medición a la luz natural mayor será la diferencia entre la iluminancia medida dentro del modelo a escala y la medida dentro del espacio en escala real. Esto se debe a que, por un lado, el modelo a escala no refleja los valores adecuados de reflectancia del espacio en escala real. La precisión al representar adecuadamente los materiales en el modelo a escala, respecto a su color, reflectancia y textura, con referencia a los materiales reales, tanto de los espacios interiores como de los exteriores en el modelo a escala es de suma importancia, ya que los valores lumínicos medidos dentro del modelo a escala pueden variar por este hecho significativamente.

La precisión en la fabricación del modelo a escala con referencia al espacio real es sumamente importante, como ya se mencionó anteriormente. La ubicación y nivelación de los fotómetros de los dos espacios comparados es indispensable. La ubicación exacta de los fotómetros es de suma importancia para la precisión, aunado a otras

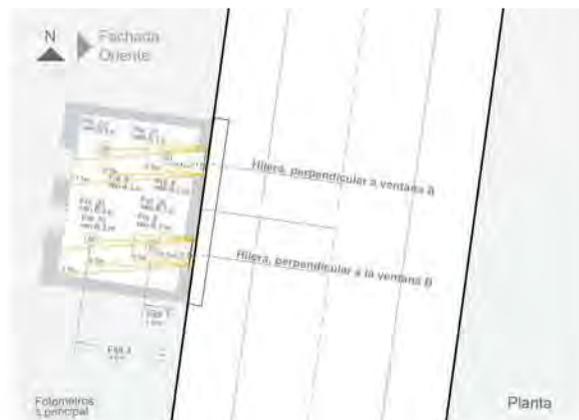
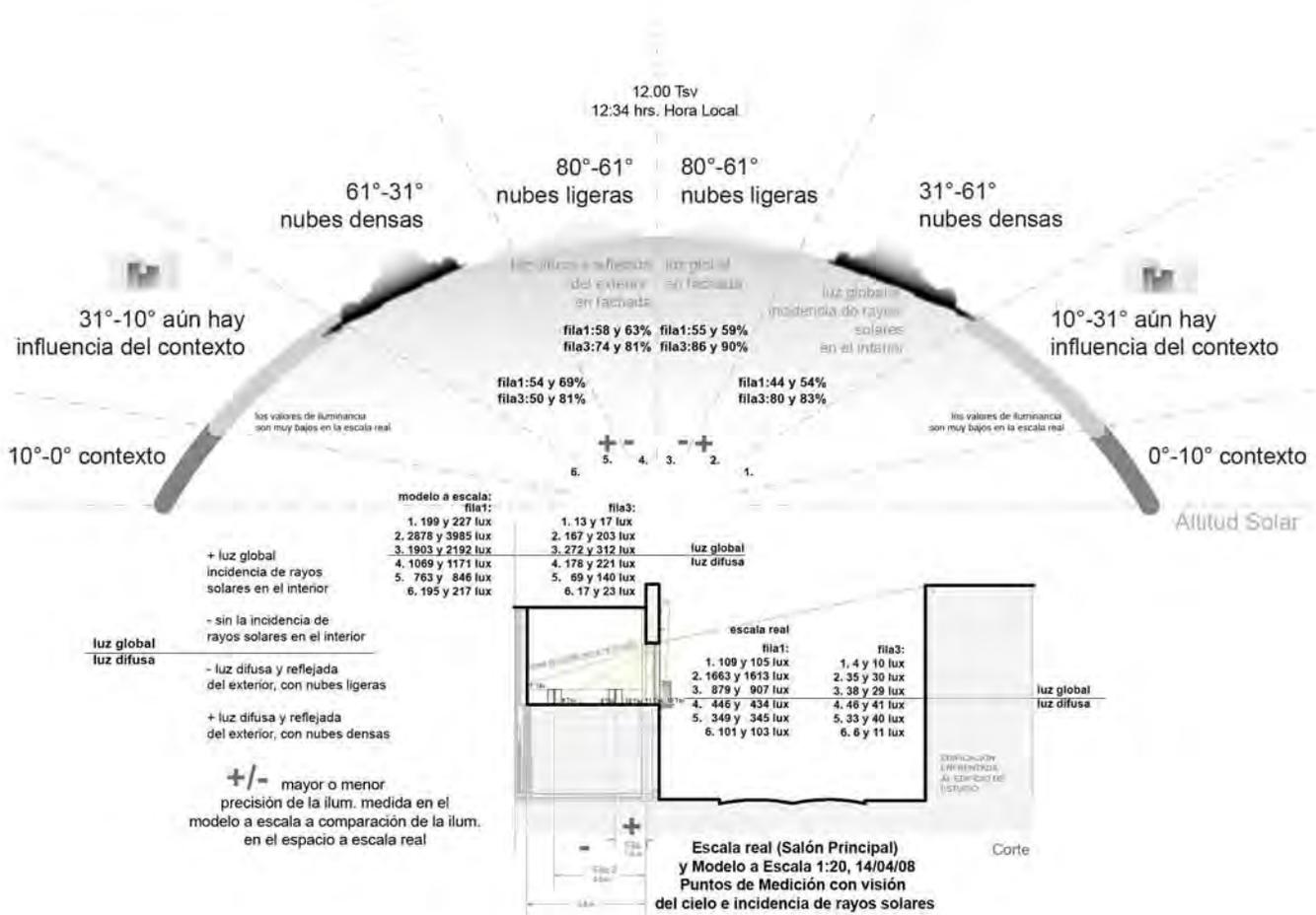


Imagen: Comparación de la iluminancia medida dentro del modelo a escala y la iluminancia dentro del espacio a escala real, salón principal, puntos de medición con visión del cielo e incidencia de rayos solares, 14/04/08

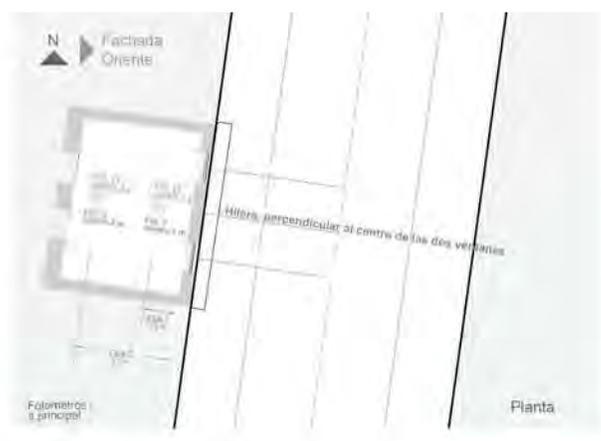
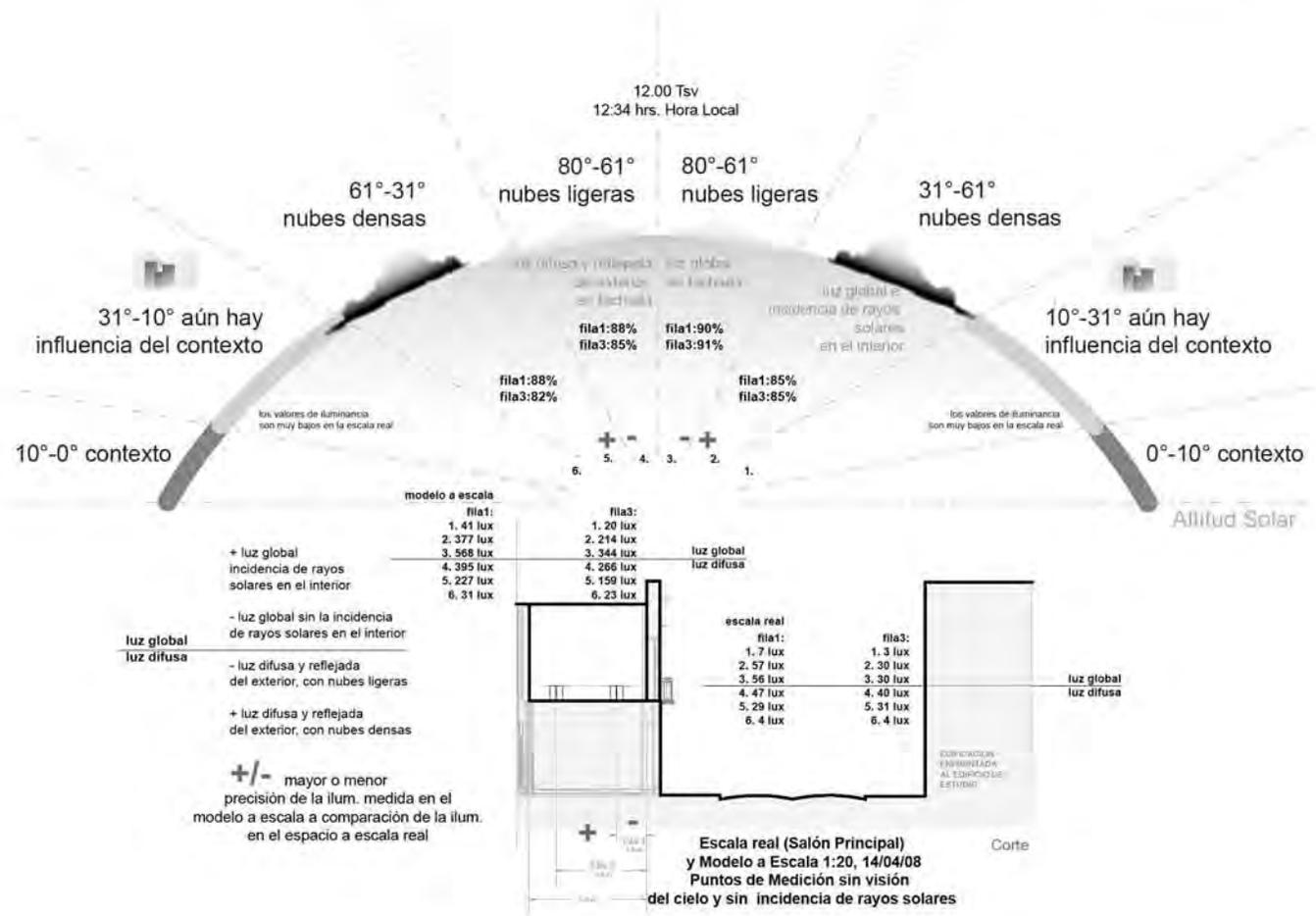


Imagen: Comparación de la iluminancia medida dentro del modelo a escala y la iluminancia dentro del espacio a escala real, salón principal, puntos de medición sin visión del cielo y sin incidencia de rayos solares, 14/04/08

cosas que no están al alcance como es el tamaño del sensor de acrílico dentro del modelo a escala. Es necesario que se considere esta última delimitante para llevar a cabo las mediciones fotométricas.

Es necesario trabajar con una escala mayor en donde sea posible ubicar los fotómetros exactamente en la misma posición que en la escala real. Así mismo, es de suma importancia replicar, en la medida de lo posible todos los detalles de la escala real en el modelo a escala, desde el color de las puertas, las vigas del interior del espacio, hasta el barandal del balcón. Los valores de reflectancia de los materiales que influyen en el espacio interior, son esenciales en la precisión de la lectura de luz natural en un modelo a escala.

Sería necesario trabajar con modelos a escala en los cuales sea posible separar los componentes de luz directa del cielo, componentes reflejados del exterior y componentes reflejados internamente, para conocer cual de los componentes es el crítico en la precisión para la lectura de los valores de iluminación en los modelos a escala a comparación de los valores de iluminación medidos en los espacios reales, bajo condiciones de cielo real.

Es importante que las mediciones, al comparar espacios a escala real y modelos a escala, pueda prolongarse por varios días, para así poder abarcar distintos tipos de cielo y poder llevar a cabo un análisis en cielo despejado y totalmente nublado, ya que, como se menciona anteriormente, no se recomienda realizar este tipo de comparaciones bajo un cielo parcialmente nublado por la variabilidad en intensidades lumínicas. Sin embargo esta es una de las limitantes al utilizar esta herramienta en donde ésta depende de las condiciones climáticas y atmosféricas de los días de estudio.

ANÁLISIS, COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS MEDICIONES DE ILUMINANCIA EN ESCALA REAL Y UNA SIMULACIÓN EN COMPUTADORA CON EL PROGRAMA AGI32

El objetivo de comparar y evaluar las mediciones en escala real y en una simulación en computadora, es el de conocer la precisión de los valores de iluminancia de la simulación y las mediciones de iluminancia de un espacio en escala real, en este caso, el salón principal del edificio de estudio ubicado en el Centro Histórico de la Ciudad de México.

SIMULACIONES EN COMPUTADORA

Desde mediados de la década de los ochenta, una serie de paquetes de cómputo se han estado desarrollando para predecir la iluminación natural en las edificaciones, en particular, los niveles lumínicos en espacios iluminados con luz natural (Ubbelohde y Humann, 98).

Los métodos de predicción de luz natural en computadora ofrecen una gran variedad de aplicaciones a diferencia de los métodos manuales y en comparación con los modelos a escala con equipo de estudio fotométrico. Anteriormente, modelos a escala y modelos en escala real fueron utilizados como el único medio para hacer estas evaluaciones. Ahora, los sistemas de visualización basados en computadoras, ofrecen una vía alternativa para la realización de evaluaciones visuales, para proporcionar información de los patrones de iluminación natural en los interiores arquitectónicos (IESNA Daylighting Committee, 99).

El programa de cómputo es comúnmente utilizado en oficinas de diseño, pero su eficacia depende de un compromiso de formación. El usuario debe entender la luz natural y ser consciente de las limitaciones del programa de cómputo para interpretar adecuadamente los resultados generados por la computadora (IESNA Daylighting Committee, 99).

La incidencia de los rayos solares y la sombra en la arquitectura puede ser analizada por medio de programas de CAD. Para el análisis cuantitativo, el programa de cómputo debe contar con la capacidad para trabajar la iluminación natural (IESNA Daylighting Committee, 99).

Algunos programas de cómputo pueden ser de dominio público, como SuperLite y Radiance¹, en los cuales es posible conocer los algoritmos utilizados para conocer la iluminancia disponible, mientras que en los de dominio privado normalmente sólo se da a conocer el código compilado. Sin embargo, el desarrollo de la interfaz del usuario puede ser superior en programas privados (IESNA Daylighting Committee, 99). Los diferentes programas de cómputo, ya sean de dominio público o privado, difieren en el modelado de base, en su facilidad de uso, en la capacidad de precisión cuantitativa y en la visualización de las imágenes de salida. En el mercado existen varios programas, la IESNA publica una encuesta anual de programas de cómputo de diseño de iluminación, en donde por medio de una extensa y amplia matriz clasifica las características de cada uno de los paquetes, incluyendo precios, direcciones de los vendedores y los requisitos del equipo de cómputo (Ubbelohde y Humann, 98).

La validación es otro tema. La más extensa investigación publicada acerca de la validación se ha realizado para los programas de dominio público (IESNA Daylighting Committee, 99).

Muchos suponen en la profesión del diseño de iluminación, que los programas de cómputo llevarán el nivel más alto posible de precisión, en la predicción de la luz natural en la arquitectura y dejarán a otras técnicas obsoletas (Ubbelohde y Humann, 98). Sin embargo, la precisión de los programas tiene que ser constantemente medida, no sólo en diferentes y cada vez más complejas formas arquitectónicas, sino también en diferentes latitudes y bajo condiciones de cielo cada vez más específicas.

Los programas de cómputo para la predicción de luz natural en los espacios arquitectónicos basan los cálculos de iluminación en algoritmos establecidos por diferentes instituciones. Estos algoritmos son resultado de mediciones hechas en diferentes partes del mundo, por lo tanto, son el resultado promedio de mediciones y éstos no dan valores precisos de la iluminancia in situ.

Para un sitio geográfico como la Ciudad de México, en donde la luz natural no ha sido medida por un periodo considerable de tiempo (varios años), los cálculos de iluminancia, basados en valores promedio de las mediciones mundiales, van a dar como resultado, en el mejor de los casos, una pauta del comportamiento de la luz natural en el exterior y por ende en los interiores arquitectónicos.

Hoy en día se recurre más a los programas de cómputo que a los modelos físicos a escala con equipo de medición especializado, debido al poco tiempo y al bajo presupuesto destinados a obtener resultados cuantitativos de un estudio de luz natural. Aunado a esto, los modelos físicos a escala dependen de las condiciones del tiempo del sitio de estudio, lo que complica el análisis cuantitativo. Sin embargo, es necesario conocer las variables de los programas de cálculo de iluminación con el fin de poder obtener resultados precisos y poder realizar un pronóstico adecuado de la luz natural en la arquitectura.

En el mercado existen un sin fin de programas con los cuales es posible predecir la iluminación. Las investigaciones enfocan su esfuerzo a estudiar los resultados de los programas de dominio público pero pocas enfocan su esfuerzo a verificar los resultados de los programas de dominio privado, siendo estos los que tienen una interfaz más sencilla de utilizar y los cuales pueden ser utilizados en despachos de arquitectura a nivel mundial.

Para la simulación en computadora se seleccionó el programa Agi32 por ser utilizado mundialmente por especialistas en el diseño de iluminación arquitectónica, tanto eléctrica como natural. La interfaz de este programa es sencilla de utilizar, sin embargo, para el correcto uso de este programa, específicamente para obtener valores precisos de iluminancia, es indispensable conocer cómo funciona este programa y todas las variables que puede haber para el modelado correcto de los espacios y para proporcionar las características adecuadas a cada superficie involucrada en el cálculo de luz natural.

El programa de cómputo Agi32 es de dominio privado, sin embargo otorga una licencia para estudiantes,

¹ Generado por la División de Tecnología en Energía Ambiental, Programa de Tecnologías de Construcción *Environmental Energy Technology Division, Building Technologies Program* en el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley, CA, Estados Unidos Norteamericanos.

la cual fue solicitada para el Posgrado de Arquitectura dentro de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Ya que las condiciones de cielo del día de las mediciones eran de un cielo parcialmente nublado, los valores de la simulación, a comparación de las mediciones in situ, pueden diferir por los instantes en donde existe luz solar y otros en los que se oculta. Sin embargo, es importante saber si las simulaciones en computadora nos pueden dar una pauta de la iluminación, con la cual podamos contar para la predicción de la luz natural en los interiores arquitectónicos.

AGI32, PROGRAMA DE CÓMPUTO PARA EL DISEÑO DE ILUMINACIÓN

Agi32 es un programa de cómputo que se utiliza para predecir la luz eléctrica y/o natural en interiores y exteriores. LAI² ofrece este programa de cómputo para cálculos de iluminación y para la representación arquitectónica de la iluminación eléctrica y natural. Es ampliamente utilizado en la industria de la iluminación (Grondzik, Kwok, Stein y Reynolds, 10), es de dominio privado y corre en plataforma Windows.

MODELAJE

Es posible generar el modelo en tercera dimensión (3D) en el programa Agi32. También existe la opción de importar geometrías en 3D, a través de archivos con extensión, "dwg" (originado de la palabra en inglés *drawing*, dibujo) y "dxf" (*drawing exchange file*, archivo intercambiable de dibujo).

La iluminación natural se puede aplicar a ambientes interiores y exteriores en Agi32. En ambientes exteriores, las superficies exteriores primero deben de ser asignadas como tipo de superficie, la cual recibe luz natural. Para aplicaciones en interiores, la luz natural tendrá que ser introducida al espacio mediante la creación de las aperturas de transición tales como ventanas y aperturas de luz natural en la habitación o con un objeto. También se consideran las superficies exteriores que obstaculizan y/o reflejan la luz en el ambiente interior (LAI, 10). Agi32 tiene una limitante en la cual las aperturas de luz natural sólo se pueden aplicar a objetos planos.

CÁLCULO

Agi32 realiza los cálculos numéricos, punto por punto de luz directa o reflejada que incide sobre cualquier superficie real o un plano imaginario. El cálculo se basa en la radiosidad y la representación visual de la iluminación eléctrica y natural (LAI, 10).

Los cálculos de iluminación natural dependen de la distribución de la luminancia del cielo. El nuevo concepto de distribución de luminancia del cielo modela cielos en una amplia gama de sucesos desde el cielo nublado, hasta situaciones de cielos sin nubes con o sin la luz solar. Este concepto fue propuesto para la estandarización de las condiciones de luz natural en exteriores por la CIE³ para la aplicación en todo el mundo (Darula y Kittler, 02).

Agi32 utiliza modelos de cielo aceptados por la IESNA y el CIE para calcular la contribución del cielo en los cálculos de la luz natural. El CIE reconoce el modelo de cielo de Kittler (CIE, Cielo Despejado), el modelo de cielo de Moon y Spencer (CIE, Cielo Nublado), así como otros 15 modelos de cielo de la Norma General de Cielo. Además, la IESNA reconoce el modelo de cielo de Pierpoint (IESNA, Parcialmente Nublado) (LAI, 10).

2 Por sus siglas en inglés de *Lighting Analysts, Inc.* (Compañía de Analistas de Iluminación).

3 Por sus siglas en francés *Commission Internationale de L'Eclairage* (Comisión Internacional de Alumbrado).

Tabla 5. con tipos de cielo según el CIE (Darula y Kittler, 02)

Tipo	Grupo Graduación	Grupo Indicatriz	Descripción de la distribución de la luminancia
1	I	1	CIE Cielo Nublado estándar graduación elevada lumínica hacia el cenit, uniformidad acimutal.
2	I	2	Nublado, con una graduación elevada de luminancia y ligero brillo hacia el sol.
3	II	1	Nublado, moderada graduación, uniformidad acimutal.
4	II	2	Nublado, moderada graduación, ligero brillo hacia el sol.
5	II	1	Cielo de luminancia uniforme.
6	III	2	Cielo parcialmente nublado, sin ninguna graduación hacia el cenit, brillo ligero hacia el sol.
7	III	3	Cielo Parcialmente Nublado, sin ninguna graduación hacia el cenit, la región más brillante es la circunsolar.
8	III	4	Cielo Parcialmente Nublado, sin ninguna graduación hacia el cenit, distinción de la corona solar.
9	III	2	Parcialmente Nublado, con sol oscurecido
10	IV	3	Parcialmente Nublado, la región más brillante es la circunsolar.
11	IV	4	Cielo blanco y azul, distinción de la corona solar
12	V	4	Norma CIE Cielo Despejado, baja turbiedad lumínica
13	V	5	Norma CIE Cielo Despejado, atmósfera contaminada.
14	VI	5	Cielo turbio sin nubes, amplia corona solar.
15	VI	6	Cielo turbio blanco-azul, amplia corona solar.

El "Grupo Graduación" indica la graduación entre el horizonte y el cenit, mientras que el "Grupo Indicatriz" indica la función de dispersión, que relaciona la luminancia de un elemento en el cielo a su distancia angular al Sol.

En el estudio de luz natural se puede obtener los siguientes parámetros: Iluminancia (lux o fc) Horizontal, Vertical, dependiendo de la posición e inclinación del sensor de luz natural, Factor de Luz Natural (FLN o DF^4) y Luminancia (cd/m^2) (LAI, 10).

Para el cálculo de luz natural se pueden llevar a cabo estudios completos sobre varios días y varias horas en una sola ejecución. Una vez que un estudio de luz natural se ha completado, las imágenes generadas se pueden reproducir en secuencia, con velocidad de cuadros seleccionables y varias imágenes por cuadro (LAI, 10).

Radiosidad y "Trazado de Rayos"⁵

Físicamente, simulaciones basadas en la luz, contienen algoritmos globales de iluminación que describen la distribución de la luz en una escena. La luz que deja una superficie se genera, ya sea por emisión o por las reflexiones o transmisiones dentro del ambiente. En consecuencia, la luz que llega a una superficie proviene ya sea directamente de una fuente de luz o de las reflexiones y transmisiones (Cohen y Greenberg, 85, retomado de Mehlika, 01). Hay dos algoritmos básicos para la solución de estas complejas interacciones, llamados radiosidad (elementos finitos) y "trazado de rayos" (Mehlika, 01).

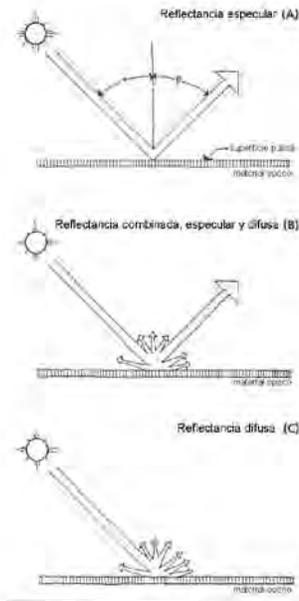
4 Pos sus siglas en inglés *Daylight Factor*, Factor de Luz Natural

5 Pos su traducción al español de *Ray Tracing*, Trazado de Rayos

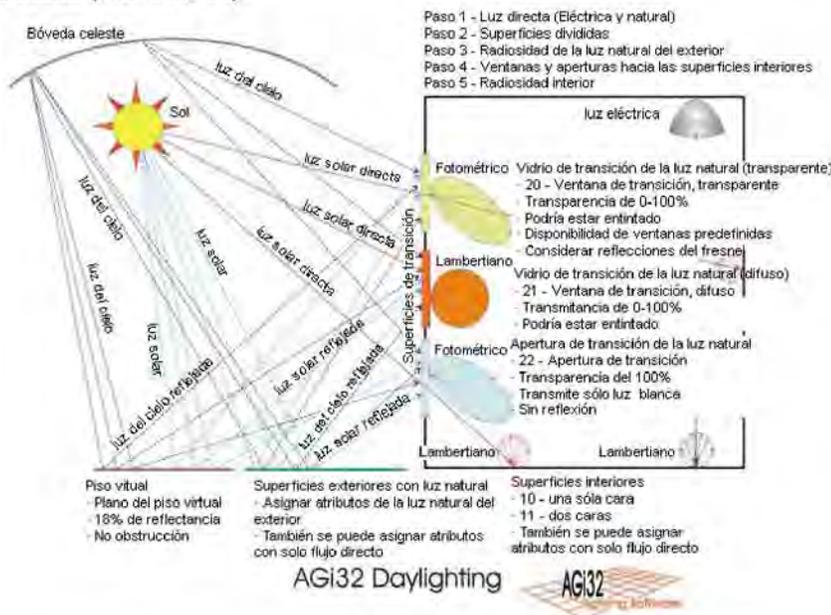
El enfoque de radiosidad, también conocido como un método de transferencia de elementos finitos del flujo (de energía), se basa en la reflectancia ideal difusa de una superficie Lambertiana o de una superficie idealmente mate, en la cual la luminancia se refleja idénticamente en todas las direcciones (Ward Larson, 98, retomado de Ubbelohde y Humann, 98). (Ver imagen: Propiedades de reflectancia). Como resultado de esto, los procesos de cálculo modelan todas las superficies como si fueran perfectamente mate sin características especulares. (Ubbelohde y Humann, 98)

El algoritmo de "trazado de rayos" depende de la vista calculada, mientras que el método de radiosidad es independiente de ésta (Glassner, 95, retomado de Mehlika, 01). La solución por medio de radiosidad permite un recorrido dentro del modelo calculado. En la solución por medio de "trazado de rayos", con el fin de cambiar la vista, el modelo tiene que ser calculado de nuevo. Especialmente los análisis cualitativos requieren información de diferentes vistas, por lo que los cálculos tendrán que realizarse con cada una de éstas (Mehlika, 01).

La fuerza principal del método de radiosidad es su capacidad de calcular las interreflexiones, mientras que su mayor debilidad es su restricción con las superficies Lambertianas (Cohen y Greenberg, 85, retomado de Mehlika, 01). Un punto fuerte del método de "trazado de rayos" es su capacidad de cálculo de reflexiones especulares (Glassner, 95, retomado de Mehlika, 01). La Simulación de reflexiones especulares es importante, especialmente para los análisis cualitativos. Las escenas sólo con reflexiones difusas son poco interesantes y podrían no ser adecuadas (Mehlika, 01).



Propiedades de las reflectancias, (A) Reflectancia especular, (B) Reflectancia combinada, especular y difusa y (C) Reflectancia difusa (Ander, 03)



Esquema del cálculo de la luz natural del programa de cómputo Agi32

MODELAJE Y SIMULACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

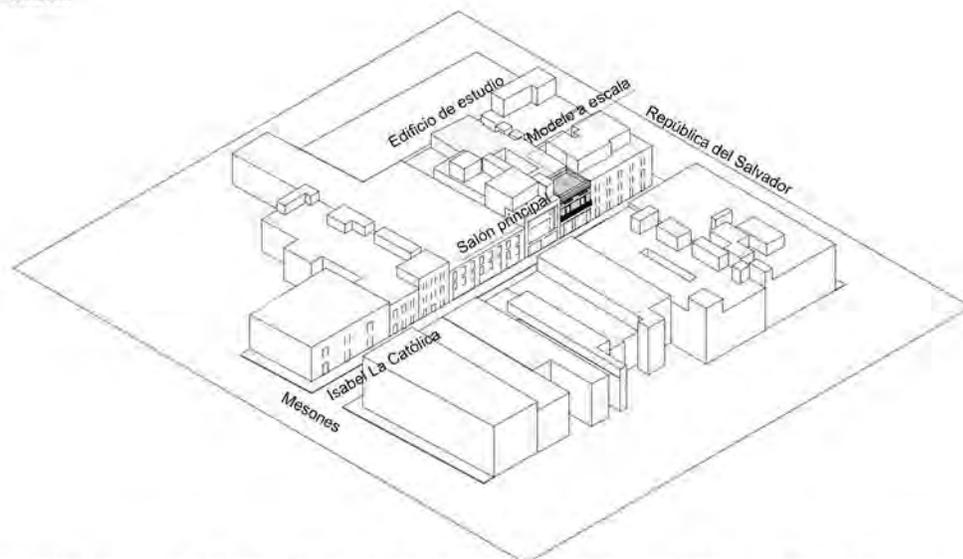
METODOLOGÍA

El modelo del edificio de estudio y de su contexto fue elaborado en un programa de CAD (AutoCAD 2010), a partir de planos proporcionados en los Seminarios de Interacción con el Medio y con información de fotografías tomadas en las visitas al sitio de estudio. Las herramientas de dibujo utilizadas en AutoCAD fueron, principalmente, polígonos extruidos y caras en tercera dimensión (3d faces), como superficies. Este modelo en tercera dimensión con extensión, "dwg", fue importado por el programa de cálculo de iluminación Agi32. Este programa reconoce los objetos sólidos y las superficies, como objetos y, las líneas o polígonos en segunda dimensión, como dibujos. A las superficies de cada objeto se le asignan diferentes atributos así como la orientación de la reflectancia de estos atributos.

El contexto del edificio se limitó a una cuadra de Isabel La Católica, entre Mesones y República del Salvador. El modelo de los volúmenes del contexto y sus materiales se asimilan a la realidad, pero no son una réplica de la realidad. Se omitieron detalles de fachada de los edificios del contexto para no sobrecargar al archivo de Agi32 y que el proceso de cálculo fuera más rápido.

El modelo en tercera dimensión del interior del salón principal fue elaborado con dibujos en segunda dimensión (la información faltante fue supuesta a través de fotografías del sitio). Las puertas-ventanas de la fachada principal fueron retomadas de planos en tercera dimensión. Éstas son de suma importancia ya que la incidencia de luz natural al espacio es a través de piezas de vidrio colocadas en estas puertas. El elemento que integra los dos tipos de puerta fue sumamente complejo de modelar, aún retomando el ya elaborado previamente en tercera dimensión, ya que el programa Agi32 requiere de objetos cuya intersección y unión sean exactas, más aún si la luz natural entra a través de éstos. Así, este elemento que integra las dos puertas de madera (en donde cada una tiene piezas de vidrio en diferentes posiciones por las cuales entra la luz), los marcos de madera y de cantera, fue modelado cuidadosamente, con el fin de que el modelo asemeje, en la medida de lo posible, al espacio construido y los resultados del cálculo sean precisos. Por la precisión requerida, el modelado de las puertas se realizó en un programa de CAD, ya que aún cuando el Agi32 cuenta con herramientas para el modelado en 3D, éstas son muy básicas y menos precisas respecto al detalle.

El agi32 requiere de ciertos datos de entrada para generar los cálculos de luz natural, estos se muestran en la siguiente tabla.



Modelo en tercera dimensión del contexto y del edificio de estudio con la ubicación del salón principal y del modelo a escala

Tabla 6. con la información de entrada y de salida del programa de cómputo, Agi32

Datos de entrada en inglés y su traducción	Descripción	Información de entrada para el cálculo del salón principal
<i>Enable Daylight</i> ; activar la iluminación natural	La iluminación natural sólo se activa con el método de cálculo de radiosidad completa y sólo cuando una o varias caras están presentes en el medio ambiente (es decir, debe crear una habitación o un objeto al considerar luz natural). Marcar esta casilla, para los cálculos de luz natural	
<i>Daylight study</i> <i>INPUT DATA</i> ; Información de entrada		
<i>STUDY NAME</i> ; Nombre del estudio	Especificar el nombre del estudio	Isabel la Católica
<i>LATITUDE</i> ; Latitud	En grados, minutos y segundos o en grados decimales, ya sea Norte o Sur	19°25'59" ó 19.43°N.
<i>LONGITUDE</i> ; Longitud	En grados, minutos y segundos o en grados decimales, ya sea Este u Oeste	99°7'58" ó 99.13°O.
<i>TRUE NORTH</i> ; Norte verdadero	El valor predeterminado es con el Norte a 90°, hacia la parte superior de la pantalla, partiendo de 0° en el Este en sentido antihorario es positivo. También se puede ajustar manualmente.	98.25° grados, ya que el modelo fue girado, para que la calle estuviera totalmente vertical hacia el Norte y la fachada totalmente orientada al Este, para facilitar el modelaje.
<i>RAY TRACING IMAGES</i> ; Generación de imágenes de "trazado de rayo"	La estrategia básica implementada por los algoritmos del "trazado de rayos" es considerar el plano de la imagen como una retícula fina de píxeles coloca entre el ojo del espectador y enviar un rayo desde el ojo a través de cada píxel a la escena (Mitchell, 92, retomado de Ubbelohde y Humann, 98)	No se aplicaron al estudio, ya que el tiempo para la generación de las imágenes aumenta considerablemente y la información que más importaba para este estudio, son los valores de iluminancia calculados por el programa.
<i>DAYLIGHT SAVINGS</i> ; Horario de verano	Se selecciona esta opción si los días de estudio están dentro del horario de verano.	Se aplicó para los cálculos de la simulación en computadora el horario de verano, ya que en la Ciudad de México este horario comienza el primer domingo de abril y termina el último domingo de octubre de cada año, periodo en el cual se encuentra el día de estudio.
<i>DATE</i> ; Fecha	Seleccionar dentro de un calendario la fecha deseada	-
<i>TIME</i> ; Hora	Seleccionar la hora con minutos y segundos	-
<i>ADD DATE AND TIME INTERVAL</i> ; Agregar intervalos de fecha y hora	Es posible que el cálculo de iluminación natural se lleve a cabo dentro de un intervalo de días y horas.	El día de estudio seleccionado fue el 14 de abril de 2008
<i>DATE INTERVAL</i> ; Intervalo de fecha	Seleccionar dentro de un intervalo de días	-
<i>START (INCLUSIVE)</i> ; Comienzo inclusivo	Seleccionar el primer día del cálculo, inclusivo	-

<i>END</i> ; Término		Seleccionar el último día del cálculo	-
<i>INGREMENT</i> ; Incremento		Seleccionar el incremento en días.	-
<i>TIME INTERVAL</i> ; Intervalo de horas		Seleccionar dentro de un intervalo de horas	Los cálculos se efectuaron a cada 4 minutos desde las 6:21 a.m. hasta las 18:49 de la tarde. Sabemos por cálculos del orto y del ocaso de ese día que el Sol "sale" a las 6:21 de la mañana, y se "mete" a las 18:49 de la tarde.
<i>START (INCLUSIVE)</i> ; Comienzo inclusivo		Seleccionar la primera hora del cálculo, inclusivo	-
<i>END</i> ; Término		Seleccionar la última hora del cálculo	-
<i>INGREMENT</i> ; Incremento		Seleccionar el incremento en horas.	0.0666, lo que nos daba como resultado un cálculo a cada 4 minutos.
<i>ELECTRIC LIGHTING</i> ; Iluminación eléctrica		Seleccionar una o las dos	Apagado
<i>SKY CONDITIONS</i> ; Condición de cielo		Seleccionar uno o más	
<i>CLEAR SKY</i> ; Cielo despejado		Modelo de cielo por Kittler	
<i>PARTLY CLOUDY</i> ; Cielo parcialmente nublado		Modelo de cielo reconocido por la IESNA	Se seleccionó el tipo de cielo parcialmente nublado, por estudios anteriores que indican que el día 14 de abril de 2008 contaba con esta condición de cielo.
<i>OVERCAST</i> ; Nublado		Modelo de cielo por Moon y Spencer	
<i>GENERAL SKY-TYPE</i> 1-15, tipo general de cielo 1-15		Ver tabla 5. con tipos de cielo según el CIE (Darula y Kittler, 02)	
<i>ABSOLUTE ZENITH LUMINANCE FACTOR</i> , factor absoluto de luminancia cenital		Esta configuración le permite calibrar a los modelos de cielo seleccionado las condiciones locales. Para calibrar el modelo del cielo local, es necesario medir el valor de la iluminancia real exterior sin obstáculos y dividir por el valor calculado de iluminancia en el programa en el mismo punto (LAI, 10)	No se aplicó este factor.



Modelo del contexto y de la fachada del edificio de estudio en el programa de computo, Agi32

Tabla 7. con la descripción de los atributos asignados a cada superficie para los cálculos de luz natural en el programa de cómputo, Agi32.

Opciones del programa de cómputo	Descripción
Imagen del objeto indicando la dirección de las superficies	Las superficies pueden dirigirse hacia uno o dos lados. En el caso de un lado la dirección indica hacia donde se va a hacer válido el atributo.
ENTITY TYPE; Tipo de entidad	Los elementos importados son reconocidos como objetos.
ENTITY LABEL; Etiqueta de la entidad	Este nombre será el nombre otorgado a la capa en AutoCAD
COMPONENT LABEL; Etiqueta del componente	Están numerados, pero se les puede dar un nombre.
SURFACES NUMBER; Número de superficie	A los objetos se les identifica por las diferentes superficies
REMOVED; Removerla	Es posible que una o varias de las superficies sean removidas, con el fin de sustituirlas por otras superficies con diferentes formas y a las cuales se les asignen atributos diferentes.
TYPE; Tipo	El tipo de superficie define si la luz se refleja hacia uno o dos lados. También aquí es donde se le atribuye a una superficie si es que ésta va a ser una transición de luz natural, ya sea con cristal transparente o difuso. La dirección de esta superficie tiene que ser hacia adentro del espacio.
DAYLIGHT EXTERIOR; Luz natural del exterior	Esta será aplicada a las superficies que reflejen luz natural en el exterior, la cual influya en los interiores arquitectónicos
COLOR; Color	Son valores en RGB (<i>red, green y blue</i> ; rojo, verde y azul) y en HVS (<i>hue, value, saturation</i> ; matiz, valor y saturación) y van ligados a la reflectancia. Cuando se le asigna una textura a la superficie este valor esta predeterminado.
REFLECT; Reflectancia	Reflectancia del material, cuando se especifica una textura, este valor esta predeterminado.
TEXTURE; Textura	Se pueden escoger de la biblioteca de texturas, desde concreto hasta metales.
CLASSIFICATION; Clasificación de la textura dentro de la biblioteca	Es el nombre de la textura escogida desde la biblioteca, se puede modificar el tamaño, la disposición en la superficie y la orientación.

Las reflectancias de los materiales, asignadas en Agi32, fueron deducidas por la autora de esta tesis y en algunos casos fueron tomadas de tablas de reflectancia de materiales elaboradas por diferentes autores, para conocer los atributos otorgados a las diferentes superficies del modelo en el programa de cómputo Agi32. (Ver: Tabla con atributos de los elementos para el cálculo de luz natural del salón principal, en el Anexo 4)

PUNTOS DE CÁLCULO

Los puntos de cálculo fueron ubicados en los mismos puntos en los que se llevaron a cabo las mediciones de luz natural, el día 14 de abril de 2008, dentro del salón principal de estudio.

Se colocaron 9 puntos de cálculo, los cuales miden la iluminancia horizontal global a una altura de 75 centímetros del piso terminado. Los puntos de cálculo se ordenan en 3 filas a 1.50, 3.00 y 4.50 metros y en 3 hileras, dos perpendiculares a la ventana A y a la ventana B y una al centro de la pared entre estas dos ventanas, igual que los puntos de medición en el salón principal.

También se colocaron 3 puntos de cálculo dentro del Cañón Urbano. Dos puntos miden la iluminancia vertical global en la fachada del edificio de estudio sobre la ventana A y la ventana B. Y un punto, ubicado sobre el balcón de la fachada del edificio de estudio, mide la iluminancia horizontal global dentro del Cañón Urbano. Todos los puntos de cálculo corresponden a los puntos de medición de la luz natural in situ. (Ver imagen: Ubicación de fotómetros dentro del salón principal y los rayos solares incidentes en éste, más la línea de donde no se ve el

cielo, corte y planta)

Tabla 8. con ubicación de los fotómetros para las mediciones de iluminación en el salón principal y los puntos de cálculo en la simulación en computadora.

Mediciones en Isabel La Católica No. 67			Simulación en Computadora
Ubicación de fotómetros			Ubicación de los puntos de cálculo
Salón Principal			Modelo en Computadora
No. Fotómetro	Ubicación	Abreviaturas en gráficas	Equivalente de los puntos de cálculo en la simulación en computadora
12	Hilera perpendicular a la ventana A, fila 1	ven.A.1.s	A1.s.c.
13	Hilera perpendicular a la ventana A, fila 2	ven.A.2.s	A2.s.c.
14	Hilera perpendicular a la ventana A, fila 3	ven.A.3.s	A3.s.c.
15	Hilera perpendicular al centro de ventanas, fila 1	centro.1.s	C1.s.c.
16	Hilera perpendicular al centro de ventanas, fila 2	centro.2.s	C2.s.c.
17	Hilera perpendicular al centro de ventanas, fila 3	centro.3.s	C3.s.c.
18	Hilera perpendicular a la ventana B, fila 1	ven.B.1.s	B1.s.c.
19	Hilera perpendicular a la ventana B, fila 2	ven.B.2.s	B2.s.c.
20	Hilera perpendicular a la ventana B, fila 3	ven.B.3.s	B3.s.c.



Modelo del salón principal en el programa de computo, Agi32

INFORMACIÓN GENERADA

La información gráfica generada por los cálculos del programa de cálculo Agi32 son, básicamente, imágenes digitales estáticas y modelos por los cuales es posible crear recorridos virtuales. Estas imágenes pueden incluir texturas e información, como los valores lumínicos del cálculo en los puntos seleccionados.

La información cuantitativa del cálculo de iluminación se genera en archivos de texto, los cuales pueden ser procesados en el programa de cómputo Excel.

Tabla 9. con la información de entrada y de salida del programa de cómputo, Agi32, luz natural

Datos de entrada en inglés y su traducción	Descripción
<i>OUTPUT DATA</i> ; Información de salida	Información generada
<i>IMAGE TYPE</i> ; Tipo de imagen	Tipo de imagen
<i>RGB ONLY</i> ; Sólo RGB <i>PSEUDO ONLY</i> ; Sólo pseudo colores	En las propiedades de la pantalla de las imágenes se pueden encontrar diferentes opciones. Las imágenes en color RGB, son una representación del cálculo de la radiosidad en luminancia. Las imágenes en Pseudo Colores representan colores por la intensidad lumínica ya sea en luminancia o iluminancia. También se puede observar la imagen en escala de grises de acuerdo a la intensidad lumínica. Es posible ver en la imagen los diferentes componentes de la luz, como el directo, indirecto y los dos juntos. También es posible ver la imagen con o sin texturas y con o sin retícula. Es posible activar una escala de colores (o de blancos y negros) que indica los valores en luminancia o iluminancia de los diferentes colores. Es posible cambiar la exposición de la imagen en un rango de -8 hasta 8.
<i>GENERATE IMAGES FOR ALL DEF. VIEWPOINTS</i> ; Generar imágenes para todos los puntos de referencia	Al momento de hacer los cálculos es posible que el programa guarde en formato JPG las imágenes de las vistas seleccionadas
<i>RAY TRACING IMAGES</i> ; Generación de imágenes de "trazado de rayo"	A las imágenes generadas con "trazado de rayo" es necesario asignarles, a las superficies, atributos de entrada.
<i>SAVE ALL GENERATED AGI32 JOB FILES</i> ; Salvar todos los archivos generados por agi32	Es posible que cada cálculo guarde el archivo con formato Agi32, en el caso en donde sea necesario revisar cada archivo, para generar diferentes vistas o un recorrido visual.
<i>SAVE RENDERED ENVIRONMENT FILES</i> ; (radiosity solution files); Salvar los archivos modelados (sólo con el método de radiosidad)	Estos archivos son necesarios para poder ver las imágenes de los modelos ya calculado, desde los archivos de Agi32.
<i>CREATE TAB DELIMITED TEXT FILE FOR EACH SAMPLE</i> ; Crear archivos de texto para cada ejemplo	Estos archivos de texto contienen los resultados cuantitativos de los cálculos de cada punto de cálculo previamente seleccionado. También incluye todos los datos con los que fue solicitado el cálculo lumínico.
<i>LABEL IMAGES, INF.</i> ; Etiqueta la imágenes con información de:	Seleccionando esta opción las imágenes creadas tendrán la siguiente información:
<i>STUDY NAME</i> ; Nombre del estudio	Nombre del estudio
<i>SITE NAME</i> ; Nombre del lugar	Nombre del lugar donde se solicita el estudio
<i>LATITUD/LONGITUD</i> ; Latitud y Longitud	Latitud
<i>COMPASS NORTH</i> ; Brújula referente al norte	Posición del Norte
<i>SKY CONDITIONS</i> ; Condición de cielo	Condición de cielo
<i>DATE/TIME</i> ; Fecha y Hora	Fecha y hora del cálculo lumínico
<i>SKY DOME</i> ; Domo del cielo	Al seleccionar esta casilla, una representación del cielo aparecerá en las imágenes, esto no tiene ningún efecto sobre los cálculos

TABLA 10. CON LA ILUMINANCIA HORIZONTAL GLOBAL MEDIDA EN EL SALÓN PRINCIPAL Y CALCULADA POR LA SIMULACIÓN EN COMPUTADORA EL DÍA 14 DE ABRIL DE 2008

Esta tabla muestra la iluminancia medida en escala real y bajo condiciones de cielo reales dentro del salón principal y la iluminancia calculada a través del programa de cómputo Agi32, para un cielo parcialmente nublado en los mismos puntos de medición (a una altura de 75 centímetros del piso) dentro del salón principal, a cada hora el día 14 de abril de 2008. Esta tabla también muestra la diferencia en iluminancia de la comparación, en cada punto de medición y cálculo. Los valores en iluminancia están relacionados al tiempo y a la posición del Sol.

Esta comparación se realiza con el fin de conocer la precisión cuantitativa y cualitativa de esta herramienta de diseño arquitectónico, que en este caso es la simulación en computadora, para pronosticar la iluminancia en los interiores arquitectónicos.

TABLA 11. CON LOS PROMEDIO DE LA ILUMINANCIA HORIZONTAL GLOBAL MEDIDA Y CALCULADA Y LAS DIFERENCIAS PORCENTUALES A CADA PERIODO EL DÍA 14 DE ABRIL DE 2008

Esta tabla muestra los promedios de la iluminancia horizontal global en el salón principal y en la simulación en computadora, así como las diferencias porcentuales de la comparación. Estos promedios corresponden a los periodos de la influencia de nubes densas o de nubes ligeras y a la influencia del contexto con respecto a la posición del Sol y al tiempo. Por último, esta tabla también muestra la diferencia porcentual de todo el día astronómico por cada comparación.

La posición del Sol es importante ya que la fachada del salón principal, al Oriente, tendrá incidencia de los rayos solares por la mañana hasta que la altura solar alcance el cenit. Después de este momento habrá, por la tarde, incidencia de luz difusa sobre la fachada Oriente y por consecuencia dentro del espacio interior.

El tiempo en Tiempo Solar Verdadero y en Hora Local o Oficial también es importante, ya que éste nos indica en que momento existe incidencia de rayos solares en el interior arquitectónico, de acuerdo al análisis de incidencia de rayos solares en la arquitectura. (Ver imagen: Ubicación de fotómetros dentro del salón principal y los rayos solares incidentes en éste, supuestos por los trazos de la geometría solar). Los valores de los primeros y los últimos 10° grados de altitud solar no son tomados en cuenta en este estudio.

Tabla 10. con la iluminancia horizontal global medida en el salón principal y calculada por la simulación en computadora el día 14 de abril de 2008, continua...

Tsv	Ho	at	Salón principal									Simulación en computadora								
			12	13	14	15	16	17	18	19	20	A1.s.c	A2.s.c	A3.s.c	C1.s.c	C2.s.c	C3.s.c	B1.s.c	B2.s.c	B3.s.c
			ver.A.1.s	ver.A.2.s	ver.A.3.s	centro.1.s	centro.2.s	centro.3.s	ver.B.1.s	ver.B.2.s	ver.B.3.s									
hrs	hrs:min	°	lx	lx	lx	lx	lx	lx	Lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx
5.95	06:33 AM	2.31	0	9	0	0	5	3	0	0	15	52	17	9	11	12	9	55	17	10
6.95	07:33 AM	16.36	57	17	6	0	0	5	70	0	0	361	112	58	68	72	58	378	115	65
7.95	08:33 AM	30.50	213	39	21	13	10	0	258	27	0	10490	243	145	154	159	135	10509	244	152
8.95	09:33 AM	44.61	501	102	20	26	93	32	523	63	58	826	296	190	191	198	172	825	286	188
9.95	10:33 AM	58.53	1011	211	39	65	86	20	1135	200	9	740	274	183	171	185	163	737	265	181
10.95	11:33 AM	71.62	898	170	43	46	85	26	935	102	28	654	267	190	171	184	166	645	257	184
11.95	12:33 PM	79.74	472	96	36	50	52	22	505	76	2	558	250	187	158	173	161	542	238	179
12.95	01:33 PM	72.87	457	114	37	40	88	42	402	105	44	597	323	265	191	226	226	567	308	253
13.95	02:33 PM	59.97	550	190	81	47	99	79	566	119	70	629	385	330	218	270	282	588	368	315
14.95	03:33 PM	46.09	350	79	33	13	48	33	363	27	35	599	387	339	213	271	289	555	370	323
15.95	04:33 PM	31.99	325	121	35	18	81	49	287	77	72	450	283	247	150	194	209	418	273	236
16.95	05:33 PM	17.85	57	8	10	7	0	0	88	11	0	215	120	97	62	77	75	197	113	90
17.95	06:33 PM	3.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	21	17	12	15	14	39	21	16

s.c.= Simulación en computadora

Los números representan los fotómetros descritos en la tabla: Tabla con ubicación de los fotómetros para las mediciones de iluminación en el salón principal y los puntos de cálculo en la simulación en computadora.

Continua... Tabla 10. con la iluminancia horizontal global medida en el salón principal y calculada por la simulación en computadora el día 14 de abril de 2008

Tsv	Ho	at	DIF A1.s.c/ ven.A.1.s	DIF A2.s.c/ ven.A.2.s	DIF A3.s.c.- ven.A.3.s	DIF C1.s.c/ centro 1.s	DIF C2.s.c/ centro 2.s	DIF C3.s.c/ centro 3.s	DIF B1.s.c/ ven.B.1.s	DIF B2.s.c/ ven.B.2.s	DIF B3.s.c/ ven.B.3.s
hrs	hrs:min	°	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx
5.95	06:33 AM	2.31	52	8	9	11	7	7	55	17	-5
6.95	07:33 AM	16.36	303	94	53	68	72	53	308	115	65
7.95	08:33 AM	30.50	10,277	204	124	141	149	135	10,251	217	152
8.95	09:33 AM	44.61	325	194	170	165	105	140	302	223	130
9.95	10:33 AM	58.53	271	63	144	106	98	144	398	65	171
10.95	11:33 AM	71.62	245	97	146	125	99	140	290	155	156
11.95	12:33 PM	79.74	86	154	150	108	121	138	38	162	176
12.95	01:33 PM	72.87	140	209	228	151	138	184	165	203	208
13.95	02:33 PM	59.97	79	194	249	171	171	203	23	249	245
14.95	03:33 PM	46.09	249	308	306	200	223	256	192	343	288
15.95	04:33 PM	31.99	125	161	213	132	113	159	131	196	163
16.95	05:33 PM	17.85	157	111	86	55	77	75	109	101	90
17.95	06:33 PM	3.79	41	21	17	12	15	14	39	21	16

Tabla 11. con los promedio de la iluminancia horizontal global medida y calculada y las diferencias porcentuales a cada periodo el día 14 de abril de 2008... continua

Ho		at	Salón principal										Simulación en computadora								
			12	13	14	15	16	17	18	19	20	A1.s.c	A2.s.c	A3.s.c	C1.s.c	C2.s.c	C3.s.c	B1.s.c	B2.s.c	B3.s.c	
desde	hasta	°	ven.A.1.s	ven.A.2.s	ven.A.3.s	centro.1.s	centro.2.s	centro.3.s	ven.B.1.s	ven.B.2.s	ven.B.3.s	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	
06:21 AM	07:09 AM	0-10	15	4	3	2	5	2	13	5	5	111	35	18	23	23	19	116	36	21	
07:13 AM	08:33 AM	10-31	109	16	4	7	12	3	105	16	10	2,145	156	86	95	100	83	2,165	158	93	
08:37 AM	10:41 AM	31-61	1,663	269	35	57	102	30	1,613	240	30	1,978	283	182	181	190	165	1,984	277	183	
10:45 AM	12:34 PM	61-80	879	160	38	56	87	30	907	139	29	639	263	187	167	181	164	629	253	182	
12:41 PM	02:25 PM	80-61	446	115	46	47	79	40	434	97	41	592	319	261	189	223	223	564	304	249	
02:29 PM	04:37 PM	61-31	349	97	33	29	62	31	345	72	40	575	367	320	202	256	272	535	351	305	
04:41 PM	06:01 PM	31-10	101	20	7	6	10	4	103	15	12	263	153	128	80	102	103	244	146	120	
06:05 PM	06:49 PM	10-0	1	1	1	0	0	1	2	0	0	55	29	23	17	19	19	52	28	22	
s.c.=		Simulación en computadora																			
Los números representan los fotómetros descritos en la tabla: Tabla con ubicación de los fotómetros para las mediciones de iluminación en el salón principal y los puntos de cálculo en la simulación en computadora.																					

Continua... Tabla 11. con los promedio de la iluminancia horizontal global medida y calculada y las diferencias porcentuales a cada periodo el día 14 de abril de 2008

Ho		at	Diferencia Salón principal y simulación en computadora								
			Dif ven.A.1.s.y	Dif ven.A.2.s.y	Dif ven.A.3.s.y	Dif centro 1.s.y	Dif centro 2.s.y	Dif centro 3.s.y	Dif ven.B.1.s.y	Dif ven.B.2.s.y	Dif ven.B.3.s.y
			A1.s.c	A2.s.c	A3.s.c	C1.s.c	C2.s.c	C3.s.c	B1.s.c	B2.s.c	B3.s.c
desde	hasta	°	%	%	%	%	%	%	%	%	
08:21 AM	07:09 AM	0-10	78	83	81	94	77	87	82	96	83
07:13 AM	08:33 AM	10-31	83	89	96	94	87	95	86	92	84
08:37 AM	10:41 AM	31-61	100	55	81	69	47	82	100	53	84
10:45 AM	12:34 PM	61-80	40	40	81	67	52	82	43	45	84
12:41 PM	02:25 PM	80-61	25	64	82	75	65	82	24	68	84
02:29 PM	04:37 PM	61-31	41	74	90	86	76	89	37	80	87
04:41 PM	06:01 PM	31-10	64	88	96	93	91	95	62	91	85
06:05 PM	06:49 PM	10-0	99	99	99	100	100	98	98	100	100
Promedio del día astronómico			66%	69%	87%	82%	70%	88%	65%	73%	85%

GRÁFICA: ILUMINANCIA HORIZONTAL GLOBAL, COMPARACIÓN DE VALORES MEDIDOS EN ESCALA REAL Y SIMULACIÓN EN COMPUTADORA, PUNTOS DE MEDICIÓN: FILA 1, LA MÁS CERCANA DE LA VENTANA, HILERA PERPENDICULAR A LA VENTANA A Y B, 14/04/08

Esta gráfica muestra la iluminancia horizontal global medida dentro del espacio real, salón principal, en dos puntos; en la fila 1, la más cercana a la ventana, en la hilera perpendicular a la ventana A y B; a comparación de la iluminancia horizontal global calculada en la simulación en computadora; igualmente en dos puntos dentro de la fila 1, la más cercana a la ventana, en la hilera perpendicular a la ventana A y B el día 14 de abril de 2008. La iluminancia horizontal global es medida y calculada en ambos casos es a una altura de 75 centímetros del piso, simulando un plano de trabajo y los valores son presentados en lux.

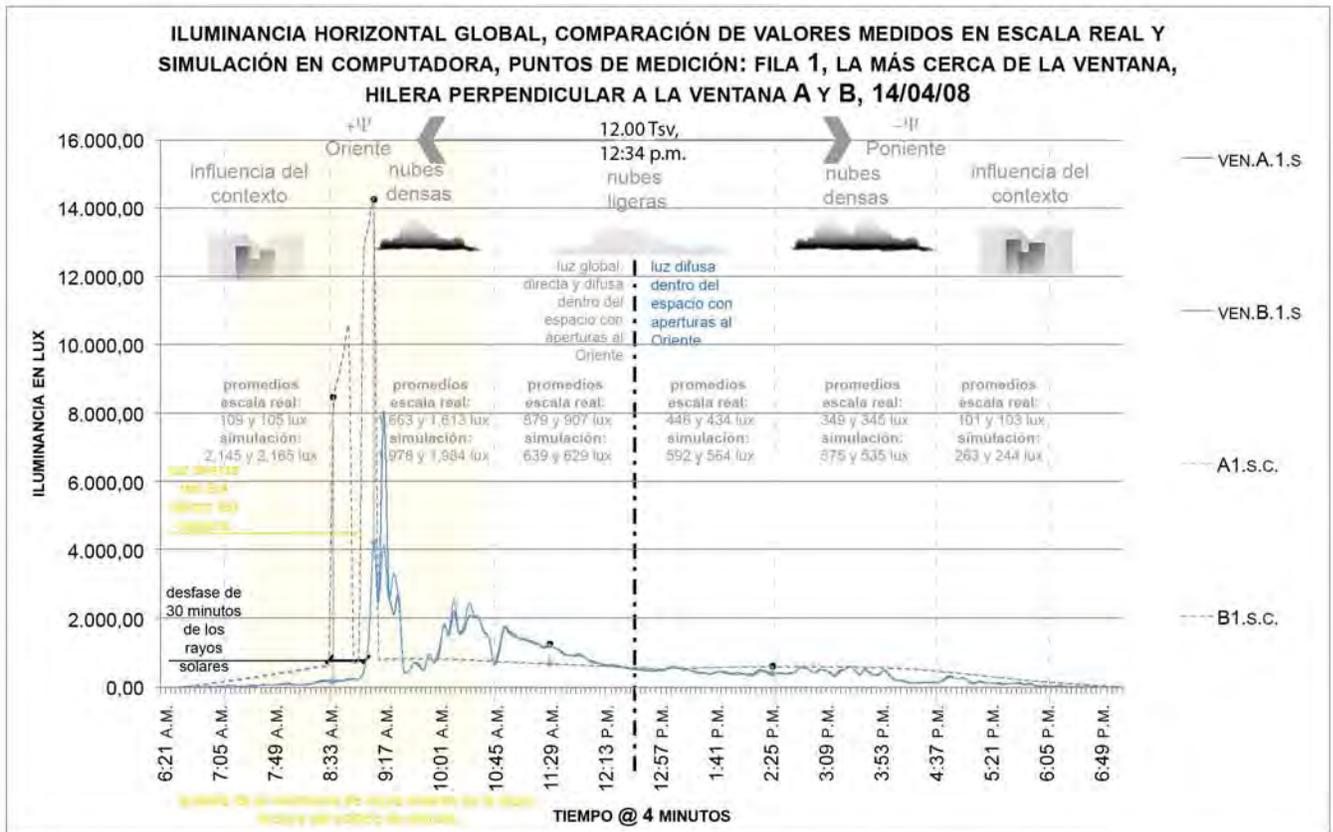
Estos puntos de medición tienen más visión del cielo que el resto de los puntos de medición y en ellos inciden los rayos del Sol. (Ver imagen: Ubicación de fotómetros dentro del salón principal y los rayos solares incidentes en éste, más la línea de donde no se ve el cielo, corte y planta)

Por el análisis de la incidencia de los rayos solares en la arquitectura del edificio de estudio tenemos que la luz directa del Sol incide en el espacio de estudio (específicamente en los dos primeros puntos de medición dentro de la fila 1, en la hilera perpendicular a la ventana A y B) desde las 7.00 horas del Tiempo Solar Verdadero, lo que equivale a las 7:37 a.m. en Hora Oficial o Local y hasta las 10.00 horas en Tsv, lo que equivale a las 10:37 a.m. en Hora Local el día 14 de abril de 2008.

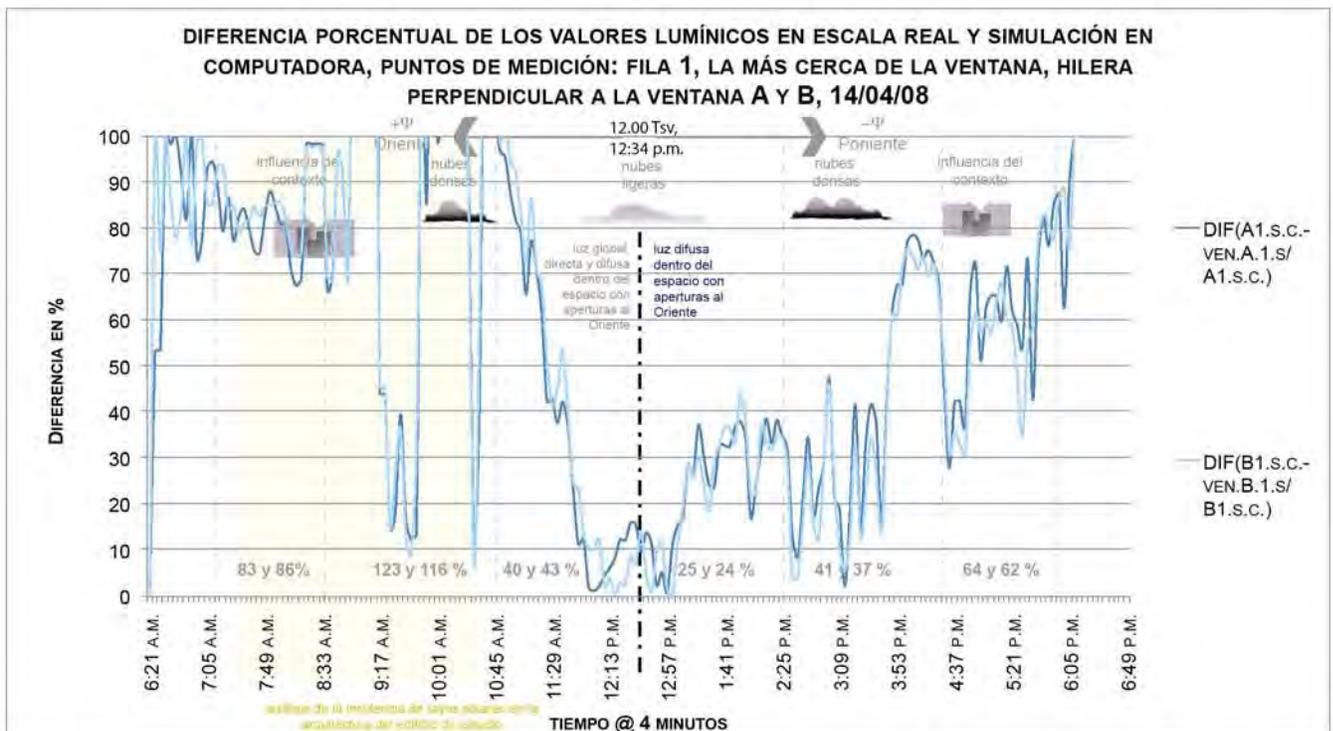
En esta comparación bajo condiciones de un cielo parcialmente nublado, aún con el ajuste de una hora para los valores lumínicos de la simulación, existe un ligero retraso respecto a la incidencia rayos solares, ya que según los valores de la simulación en computadora es a partir de las 8:21 a.m., que hay incidencia de rayos solares en el espacio interior, mostrando valores de 8,373 lux (A1.s.c.) y 8,392 lux (B1.s.c.), mientras que la medición tiene valores de 149 lux (ven.A.1.s.) y 187 lux (ven.B.1.s.). Sin embargo los valores de las mediciones muestran que la incidencia de luz solar comienza a las 8:53 a.m., aproximadamente, mostrando valores de 4,241 lux (ven.A.1.s.) y 4,215 lux (ven.B.1.s.). Existe un desfase de 30 minutos, aproximadamente, de la lectura de rayos solares en el interior arquitectónico de la simulación. Debido al desfase la diferencia de la iluminancia horizontal global medida en el salón principal y la calculada por el programa de cómputo de 8,000 a 10,000 lux, aproximadamente, es significativa para evaluar cuantitativamente la iluminancia dentro de un espacio interior. Aún así el promedio de las iluminancias es similar. Dentro del salón principal la iluminancia promedio es de 1,663 y 1,613 lux y el promedio de la iluminancia calculada es de 1,978 y de 1,984 lux.

Posteriormente, con luz global dentro del espacio interior por la mañana, la iluminancia de las mediciones muestra valores más altos a comparación de la iluminancia de la simulación, esto se presenta, aproximadamente, desde las 10:45 a.m. hasta las 12:34 p.m. Por ejemplo, a las 11:33 a.m. la iluminancia dentro del salón principal es de 898 a 935 lux, a comparación de la iluminancia calculada por la simulación, ésta es de 654 a 645 lux. La diferencia de la iluminancia horizontal global medida en el salón principal y la calculada por el programa de cómputo de 244 y 290 lux es significativa para evaluar cuantitativamente la iluminancia dentro de un espacio interior. Los promedios de las iluminancias en este periodo (de 10:45 a.m. a 12:34 p.m.) son similares. Dentro del salón principal la iluminancia promedio es de 879 y 907 lux y el promedio de la iluminancia calculada es de 639 y de 629 lux.

Desde aproximadamente las 12:41 p.m. hasta 4:37 p.m., con luz difusa dentro del espacio interior, la iluminancia calculada por la simulación presenta valores más altos que la iluminancia de las mediciones. Por ejemplo a las 2:33 p.m. la iluminancia medida es de 550 a 566 lux, a comparación de la iluminancia calculada, de 629 a 588 lux. La diferencia de la iluminancia medida y la calculada de 79 y 22 lux no resulta significativa para la evaluación cuantitativa la iluminancia dentro de un espacio interior. En sí los promedios de las iluminancias medidas y calculadas son similares 446 y 434 lux a comparación de 592 y 564 lux (de 12:41 p.m. a 2:25 p.m.); y 349 y 345 lux a comparación de 575 y 535 lux (de 2:29 p.m. a 4:37 p.m.).



Gráfica: Iluminancia horizontal global, comparación de valores medidos en escala real y simulación en computadora, puntos de medición: fila 1, la más cercana a la ventana, hilera perpendicular a la ventana A y B, 14/04/08



Gráfica: Diferencia porcentual de los valores lumínicos en escala real y simulación en computadora, puntos de medición: fila 1, la más cercana a la ventana, hilera perpendicular a la ventana A y B, 14/04/08

Tabla 10.1 resumen con la iluminancia horizontal global medida en el salón principal y calculada por la simulación en computadora, 14/04/08

Tsv	Ho	at	ven.A.1.s.	ven.B.1.s	A1.s.c	B1.s.c	DIF ven.A.1.s. y A1.s.c	DIF ven.B.1.s y B1.s.c
hrs	hrs:min	°	lx	lx	lx	lx	lx	lx
7.75	08:21 AM	28	149	187	8,373	8,392	8,224	8,205
8.28	08:53 AM	35	4,241	4,215	14,213	14,229	9,972	10,014
10.95	11:33 AM	72	898	935	654	645	244	290
13.95	02:33 PM	60	550	566	629	588	79	22
s.c.=	Simulación en computadora							

Tabla 11.1 resumen con los promedios de la iluminancia horizontal global medida y calculada a cada periodo el día 14 de abril de 2008

Ho		at	ven.A.1.s.	ven.B.1.s	A1.s.c	B1.s.c
desde	hasta	°	lx	lx	lx	lx
07:13 AM	08:33 AM	10-31	109	105	2,145	2,165
08:37 AM	10:41 AM	31-61	1,663	1,613	1,978	1,984
10:45 AM	12:34 PM	61-80	879	907	639	629
12:41 PM	02:25 PM	80-61	446	434	592	564
02:29 PM	04:37 PM	61-31	349	345	575	535
04:41 PM	06:01 PM	31-10	101	103	263	244
s.c.=	Simulación en computadora					

GRÁFICA: DIFERENCIA PORCENTUAL DE LOS VALORES LUMÍNICOS EN ESCALA REAL Y SIMULACIÓN EN COMPUTADORA, PUNTOS DE MEDICIÓN: FILA 1, LA MÁS CERCANA A LA VENTANA, HILERA PERPENDICULAR A LA VENTANA A Y B, 14/04/08

Esta gráfica representa la diferencia en porcentaje de los valores de iluminancia de los puntos de medición y los puntos de cálculo en la fila 1, la más cercana a la ventana, en la hilera perpendicular a la ventana A y B el día 14 de abril de 2008. Durante el día astronómico la diferencia porcentual promedio del punto en la ventana A es del 66% y del punto en la ventana B es del 65%.

En el periodo con influencia del contexto (de 7:13 a.m. a 8:33 a.m. y de 4:41 p.m. a 6:01 p.m.) la diferencia porcentual de la iluminancia horizontal global medida en el salón principal y la calculada por la simulación es de 83 y 86 %, por la mañana, y de 62 y 64 % por la tarde.

Fuera del periodo de influencia del contexto (después de las 8:33 a.m. y antes de las 4:41 p.m.) en el periodo con luz global disponible en la fachada, nubes densas e incidencia de rayos solares en los puntos de medición, por la mañana (de 8:37 a.m. a 10:41 a.m.), se presenta la diferencia porcentual en promedio más alta con 100% , esto se debe al desfase de la lectura que hace la simulación de la incidencia de rayos solares en el interior arquitectónico. Esta diferencia porcentual es más alta, como ya se mencionó, a comparación del periodo con luz global y nubes ligeras (de 10:45 a.m. a 12:34 p.m.) en donde ya no hay incidencia de rayos solares en los puntos de medición, esta diferencia porcentual promedio es del 40% y el 43%.

Por la tarde (de 12:41 p.m. a 2:25 p.m.), con nubes ligeras, donde la fachada del edificio de estudio recibe principalmente luz difusa del cielo y luz reflejada del exterior, la diferencia porcentual promedio es del 25 y 24%, la menor con respecto de las demás y mayor que la diferencia porcentual con luz difusa y nubes densas (de 2:29

p.m, a 4:37 p.m) del 41 y 37%.

Tabla 11.2 resumen con los promedios de las diferencias porcentuales a cada periodo el día 14 de abril de 2008

Ho		at	DIF	
desde	hasta	°	ven.A.1.s. y A1.s.c	ven.B.1.s y B1.s.c
			%	%
07:13 AM	08:33 AM	10-31	83	86
08:37 AM	10:41 AM	31-61	100	100
10:45 AM	12:34 PM	61-80	40	43
12:41 PM	02:25 PM	80-61	25	24
02:29 PM	04:37 PM	61-31	41	37
04:41 PM	06:01 PM	31-10	64	62
Promedio del día astronómico			66%	65%

GRÁFICA: ILUMINANCIA HORIZONTAL GLOBAL, COMPARACIÓN DE VALORES MEDIDOS EN ESCALA REAL (SALÓN PRINCIPAL) Y SIMULACIÓN EN COMPUTADORA, PUNTOS DE MEDICIÓN: FILA 2, HILERA PERPENDICULAR A LA VENTANA A Y B, 14/04/08

Esta gráfica muestra la iluminancia horizontal global de dos puntos dentro del salón principal; en la segunda fila y en las hileras perpendiculares a la ventana A y a la ventana B; y la iluminancia horizontal global, calculada por el programa de cómputo, en dos puntos con la misma ubicación el día 14 de abril de 2008.

Estos puntos de medición tienen visión del cielo, aunque menor que los puntos de medición en la fila 1, y en ellos inciden los rayos del Sol, en un momento por la mañana, aproximadamente de las 8.00 en Tiempo Solar Verdadero, que equivale a las 8:34 a.m., hasta unos momentos antes de las 9.00 Tvs, que equivale a las 9:34 a.m. (Ver imagen: Ubicación de fotómetros dentro del salón principal y los rayos solares incidentes en éste, más la línea de donde no se ve el cielo, corte y planta)

La iluminancia calculada muestra valores en iluminancia generalmente mayores que los de la iluminancia medida dentro del salón principal, a excepción de unos momentos en donde la iluminancia calculada no toma en cuenta la incidencia de los rayos solares en el interior arquitectónico. Es importante mencionar que en la segunda mitad del día astronómico, con luz difusa disponible en fachada y luz reflejada del exterior, los valores lumínicos calculados, en el interior arquitectónico, son mayores que en la primera mitad del día astronómico, con luz global disponible en fachada.

Bajo la influencia del contexto (de 7:13 a.m. a 8:33 a.m. y de 4:41 p.m. a 6:01 p.m.) la iluminancia calculada muestra valores más altos (en promedio 156 y 158 lux, por la mañana y por la tarde de 153 y 143 lux) que la iluminancia medida dentro del salón (en promedio 16 lux, por la mañana y por la tarde de 20 y 15 lux). Por ejemplo, a las 8:09 a.m. la iluminancia medida tiene valores de 15 y 43 lux, mientras la iluminancia calculada muestra valores de 193 y 197 lux. La diferencia en iluminancia de 178 y 154 lux, es significativa para la predicción cuantitativa de la luz natural dentro de los interiores arquitectónicos.

Cuando existe incidencia de rayos solares en el interior del salón, en el periodo de luz global y nubes densas (de 8:37 a.m. a 10:41 a.m.), la iluminancia medida muestra, en momentos, valores más altos, aunque en promedio los valores de la iluminancia calculada son ligeramente más altos (283 y 277 lux) a comparación de los valores promedio de la iluminancia medida (269 y 240 lux). Por ejemplo, dentro de este periodo a las 9:09 a.m. la iluminancia medida muestra valores de 633 y 551 lux mientras que la iluminancia calculada valores de 283 y 282 lux. La diferencia en iluminancia de 269 y 350 lux, es significativa para la predicción cuantitativa de la luz natural dentro de los interiores arquitectónicos. La iluminancia calculada no registra la incidencia de los rayos solares en

el interior arquitectónico.

Con luz global disponible en fachada, nubes ligeras y sin la incidencia de rayos solares en los puntos de medición (de 10:45 a.m. a 12:34 p.m.), la iluminancia medida promedio es menor, ésta es de 160 y 139 lux, mientras que la iluminancia promedio calculada es mayor, ésta es de 263 y 253 lux. Dentro de este periodo, por ejemplo a las 11:33 a.m., la iluminancia dentro del salón principal tiene un valor de 170 lux y 102 lux, mientras que la iluminancia calculada tiene un valor de 267 lux y de 257 lux. La diferencia de 97 y 155 lux es significativa para el cálculo cuantitativo de luz natural dentro de los interiores arquitectónicos.

Por la tarde (de 12:41 p.m. a 2:25 p.m.), con luz difusa disponible en fachada, nubes ligeras y luz reflejada del exterior, la iluminancia medida promedio es menor, ésta es de 115 y 97 lux, mientras que la iluminancia promedio calculada es mayor esta es de 319 y 304 lux. Dentro de este periodo, por ejemplo a las 2:33 p.m., la iluminancia dentro del salón principal tiene un valor de 190 y 119 lux, mientras que la iluminancia calculada tiene un valor de 385 y de 368 lux. La diferencia de 195 y 249 lux es mayor que cuando la fachada recibe luz global. Esto sugiere que la luz reflejada del exterior, en el modelo realizado en el programa de cómputo, aporta grandes cantidades de iluminancia en el interior arquitectónico.

La diferencia entre la iluminancia calculada y la medida crece por la tarde (de 2:29 p.m. a 4:37 p.m.), con luz difusa disponible en fachada, nubes densas y luz reflejada del exterior, la iluminancia medida promedio es menor, ésta es de 97 y 72 lux, mientras que la iluminancia promedio calculada es mayor, ésta es de 367 y 351 lux.

Tabla 10.2 resumen con la iluminancia horizontal global medida en el salón principal y calculada por la simulación en computadora, 14/04/08

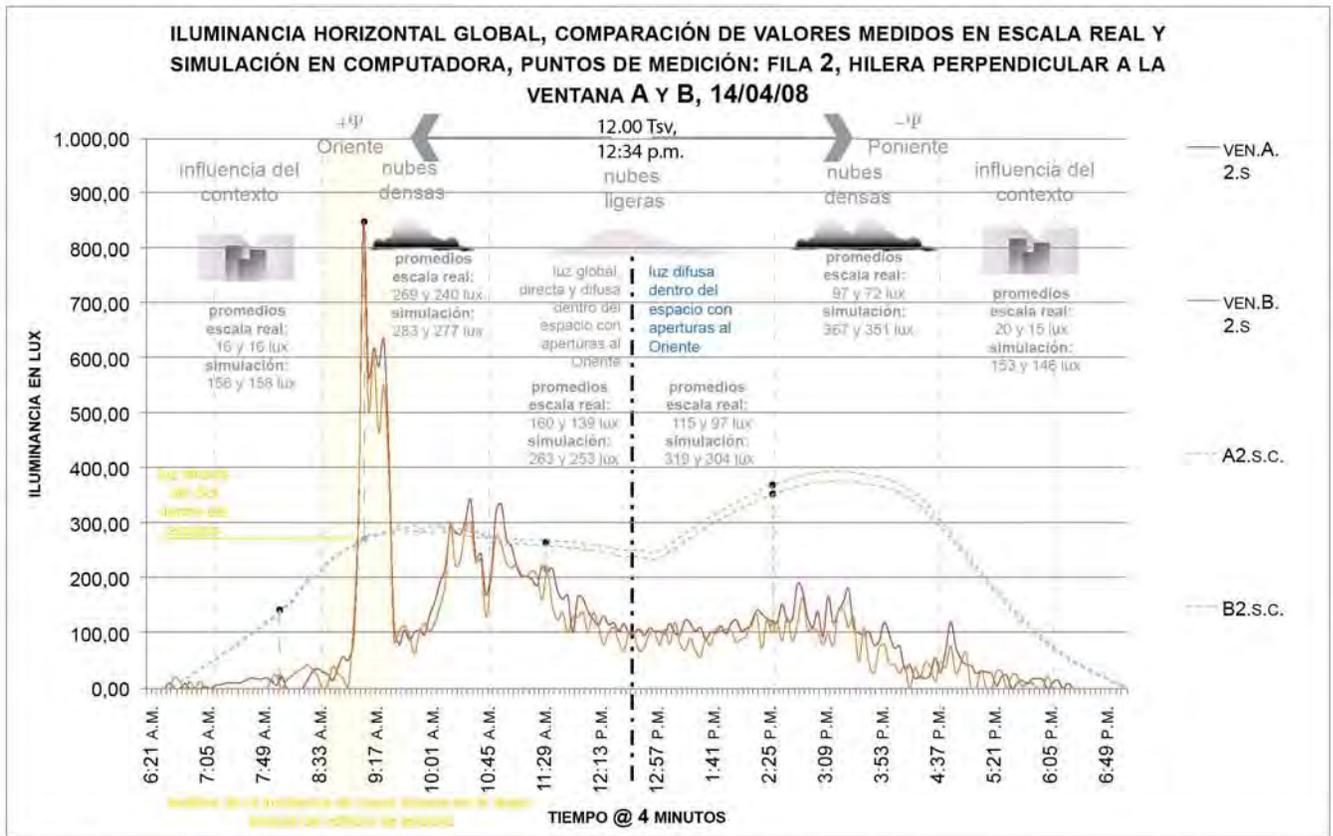
Tsv	Ho	at	ven.A.2.s.	ven.B.2.s	A2.s.c	B2.s.c	DIF ven.A.2.s y A2.s.c	DIF ven.B.2.s y B2.s.c
hrs	hrs:min	°	lx	lx	lx	lx	lx	lx
7.55	08:09 AM	25	15	43	193	197	178	154
8.55	09:09 AM	39	633	551	283	282	350	269
10.95	11:33 AM	72	170	102	267	257	97	155
13.95	02:33 PM	60	190	119	385	368	195	249

Tabla 11.3 resumen con los promedios de la iluminancia horizontal global medida y calculada a cada periodo el día 14 de abril de 2008

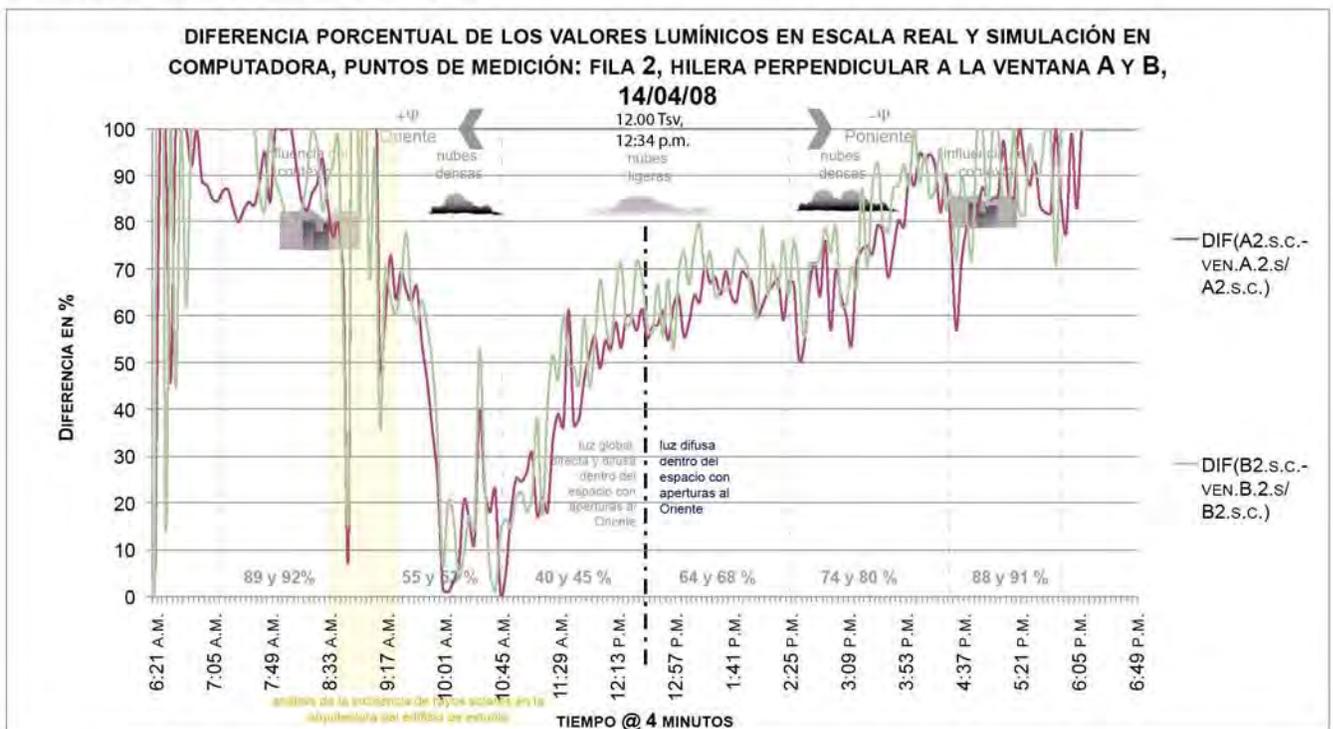
Ho		at	ven.A.2.s.	ven.B.2.s	A2.s.c	B2.s.c
desde	hasta	°	lx	lx	lx	lx
07:13 AM	08:33 AM	10-31	16	16	156	158
08:37 AM	10:41 AM	31-61	269	240	283	277
10:45 AM	12:34 PM	61-80	160	139	263	253
12:41 PM	02:25 PM	80-61	115	97	319	304
02:29 PM	04:37 PM	61-31	97	72	367	351
04:41 PM	06:01 PM	31-10	20	15	153	146

GRÁFICA: DIFERENCIA PORCENTUAL DE LOS VALORES LUMÍNICOS EN ESCALA REAL Y SIMULACIÓN EN COMPUTADORA, PUNTOS DE MEDICIÓN: FILA 2, HILERA PERPENDICULAR A LA VENTANA A Y B, 14/04/08

Esta gráfica muestra la diferencia porcentual de la iluminancia medida dentro del salón principal y la calculada por el programa de cómputo; en la segunda fila, a 3.00 metros de la ventana, y en las hileras



Gráfica: Iluminancia horizontal global, comparación de valores medidos en escala real y simulación en computadora, puntos de medición: fila 2, hilera perpendicular a la ventana A y B, 14/04/08



Gráfica: Diferencia porcentual de los valores lumínicos en escala real y simulación en computadora, puntos de medición: fila 2, hilera perpendicular a la ventana A y B, 14/04/08

perpendiculares a la ventana A y a la ventana B; la diferencia porcentual de todo el día astronómico, del día 14 de abril de 2008, del punto en la hilera de la ventana A es de 69% y del punto en la hilera de la ventana B es de 73%. Estos porcentajes de la diferencia porcentual son mayores que los porcentaje de la diferencia porcentual de los puntos; en la primera fila, la más cercana a la ventana, en las hileras perpendiculares a la ventana A (66%) y a la ventana B (65%).

Bajo la influencia del contexto (de 7:13 a.m. a 8:33 a.m. y de 4:41 p.m. a 6:01 p.m.) las diferencias porcentuales son las más altas, con respecto a los demás periodos, por la mañana de 89 y 92% y por la tarde de 88 y 91%.

Por la mañana (de 8:37 a.m. a 10:41 a.m.), con luz global disponible en la fachada, nubes densas e incidencia de rayos solares en los puntos de medición, la diferencia porcentual es de 55 y 53%. De 10:45 a.m. a 12:34 p.m. con luz global, nubes ligeras y sin la incidencia de rayos solares, la diferencia porcentual es menor, ésta es de 40 y 45%.

Por la tarde, de 12:41 p.m. a 2:25 p.m., con luz difusa disponible en la fachada, nubes ligeras y luz reflejada del exterior, la diferencia porcentual es de 64 y 68% menor a la diferencia porcentual, con luz difusa y nubes densas (de 2:29 p.m. a 4:37 p.m.), del 74 y 80%.

Tabla 11.4 resumen con los promedios de las diferencias porcentuales a cada periodo el día 14 de abril de 2008

Ho		at	DIF	
desde	hasta		ven.A.2.s. y A2.s.c	ven.B.2.s y B2.s.c
		°	%	%
07:13 AM	08:33 AM	10-31	89	92
08:37 AM	10:41 AM	31-61	55	53
10:45 AM	12:34 PM	61-80	40	45
12:41 PM	02:25 PM	80-61	64	68
02:29 PM	04:37 PM	61-31	74	80
04:41 PM	06:01 PM	31-10	88	91
Promedio del día astronómico			69%	73%

GRÁFICA: ILUMINANCIA HORIZONTAL GLOBAL, COMPARACIÓN DE VALORES MEDIDOS EN ESCALA REAL (SALÓN PRINCIPAL) Y SIMULACIÓN EN COMPUTADORA, PUNTOS DE MEDICIÓN: FILA 3, LA MÁS LEJANA A LA VENTANA, HILERA PERPENDICULAR A LA VENTANA A Y B, 14/04/08

Esta gráfica muestra la iluminancia horizontal global de dos puntos dentro del salón principal; en la tercera fila, la más lejana de la ventana, y las hileras perpendiculares a la ventana A y a la ventana B; y la iluminancia horizontal global calculada por el programa de cómputo en dos puntos con la misma ubicación el día 14 de abril de 2008.

Estos puntos de medición tienen visión del cielo, aunque menor que los puntos de medición en la fila 1 y 2, y en ellos inciden los rayos del Sol, en un momento por la mañana, aproximadamente las 8.00 en Tiempo Solar Verdadero, que equivale a las 8:34 a.m. (Ver imagen: Ubicación de fotómetros dentro del salón principal y los rayos solares incidentes en éste, más la línea de donde no se ve el cielo, corte y planta)

La iluminancia calculada muestra valores en iluminancia mayores que los de la iluminancia medida dentro del salón principal. La iluminancia medida dentro del salón principal muestra valores lumínicos más constantes

durante todo el día astronómico, principalmente de las 8:33 a.m. a las 4:37 p.m., fuera de la influencia del contexto del Centro Histórico de la Ciudad de México.

Bajo la influencia del contexto (de 7:13 a.m. a 8:33 a.m. y de 4:41 p.m. a 6:01 p.m.) la iluminancia calculada muestra valores más altos (en promedio 86 y 96 lux, por la mañana y por la tarde de 128 y 120 lux) que la iluminancia medida dentro del salón (en promedio 4 y 10 lux, por la mañana y por la tarde de 7 y 12 lux).

Cuando existe incidencia de rayos solares en el interior del salón, en el periodo de luz global y nubes densas (de 8:37 a.m. a 10:41 a.m.) la iluminancia promedio medida es de 35 y 30 lux, a comparación de los valores promedio de la iluminancia calculada de 182 y 183 lux.

Con luz global disponible en fachada, nubes ligeras y sin la incidencia de rayos solares en los puntos de medición (de 10:45 a.m. a 12:34 p.m.), la iluminancia medida promedio es de 38 y 29 lux, mientras que la iluminancia promedio calculada es de 187 y 182 lux. Dentro de este periodo, por ejemplo a las 11:33 a.m., la iluminancia dentro del salón principal tiene un valor de 43 y 28 lux, mientras que la iluminancia calculada tiene un valor de 190 y 184 lux. La diferencia de 147 y 156 lux es significativa para el cálculo cuantitativo de luz natural dentro de los interiores arquitectónicos.

Por la tarde, de 12:41 p.m. a 2:25 p.m., con luz difusa disponible en fachada, nubes ligeras y luz reflejada del exterior, la iluminancia medida promedio es de 46 y 41 lux, mientras que la iluminancia promedio calculada es de 261 y 249 lux. Dentro de este periodo, por ejemplo a las 2:33 p.m., la iluminancia dentro del salón principal tiene un valor de 81 y 70 lux, mientras que la iluminancia calculada tiene un valor de 330 y de 315 lux. La diferencia de 249 y 245 lux es mayor que cuando la fachada recibe luz global. Esto sugiere que la luz reflejada del exterior, en el modelo realizado en el programa de cómputo, aporta grandes cantidades de iluminancia en el interior arquitectónico.

La diferencia entre la iluminancia calculada y la medida crece por la tarde, con luz difusa disponible en fachada, nubes densas y luz reflejada del exterior (de 2:29 p.m. a 4:37 p.m.). La iluminancia medida promedio es menor, ésta es de 33 y 40 lux, que la iluminancia promedio calculada, ésta es de 320 y 305 lux.

Tabla 10.3 resumen con la iluminancia horizontal global medida en el salón principal y calculada por la simulación en computadora, 14/04/08

Tsv	Ho	at	ven.A.3.s.	ven.B.3.s	A3.s.c	B3.s.c	DIF ven.A.3.s. y A3.s.c	DIF ven.B.3.s y B3.s.c
hrs	hrs:min	°	lx	lx	lx	lx	lx	lx
10.95	11:33 AM	72	43	28	190	184	147	156
13.95	02:33 PM	60	81	70	330	315	249	245

Tabla 11.5 resumen con los promedios de la iluminancia horizontal global medida y calculada a cada periodo el día 14 de abril de 2008

Ho		at	ven.A.3.s.	ven.B.3.s	A3.s.c	B3.s.c
desde	hasta	°	lx	lx	lx	lx
07:13 AM	08:33 AM	10-31	4	10	86	93
08:37 AM	10:41 AM	31-61	35	30	182	183
10:45 AM	12:34 PM	61-80	38	29	187	182
12:41 PM	02:25 PM	80-61	46	41	261	249
02:29 PM	04:37 PM	61-31	33	40	320	305
04:41 PM	06:01 PM	31-10	7	12	128	120

GRÁFICA: DIFERENCIA PORCENTUAL DE LOS VALORES LUMÍNICOS EN ESCALA REAL Y SIMULACIÓN EN COMPUTADORA, PUNTOS DE MEDICIÓN: FILA 3, LA MÁS LEJANA A LA VENTANA, HILERA PERPENDICULAR A LA VENTANA A Y B, 14/04/08

Esta gráfica muestra la diferencia porcentual de la iluminancia medida dentro del salón principal y la calculada por el programa de cómputo; en la tercera fila, a 4.50 metros de la ventana, y en las hileras perpendiculares a la ventana A y a la ventana B; la diferencia porcentual de todo el día astronómico, del día 14 de abril de 2008, del punto en la hilera de la ventana A es de 87% y del punto en la hilera de la ventana B es de 85%. Estos porcentajes de la diferencia porcentual son mayores que los porcentaje de la diferencia porcentual de los puntos; en la primera y segunda fila, en las hileras perpendiculares a la ventana A (66% y 69%) y a la ventana B (65% y 73%).

Bajo la influencia del contexto (de 7:13 a.m. a 8:33 a.m. y de 4:41 p.m. a 6:01 p.m.) las diferencias porcentuales son las más altas, con respecto a los demás periodos, por la mañana de 96 y 84% y por la tarde de 96 y 85%.

Por la mañana, de 8:37 a.m. a 10:41 a.m., con luz global disponible en la fachada, nubes densas e incidencia de rayos solares en los puntos de medición, la diferencia porcentual es de 81 y 84%. De 10:45 a.m. a 12:34 p.m. con luz global, nubes ligeras y sin la incidencia de rayos solares, la diferencia porcentual es igual a la anterior, ésta es de 81 y 84%. La incidencia de los rayos solares no se ve reflejada en los valores lumínicos de la iluminancia medida ni en la calculada.

Por la tarde, de 12:41 p.m. a 2:25 p.m., con luz difusa disponible en la fachada, nubes ligeras y luz reflejada del exterior, la diferencia porcentual es de 82 y 84% menor a la diferencia porcentual, con luz difusa y nubes densas (de 2:29 p.m. a 4:37 p.m.), ésta es del 90 y 87%.

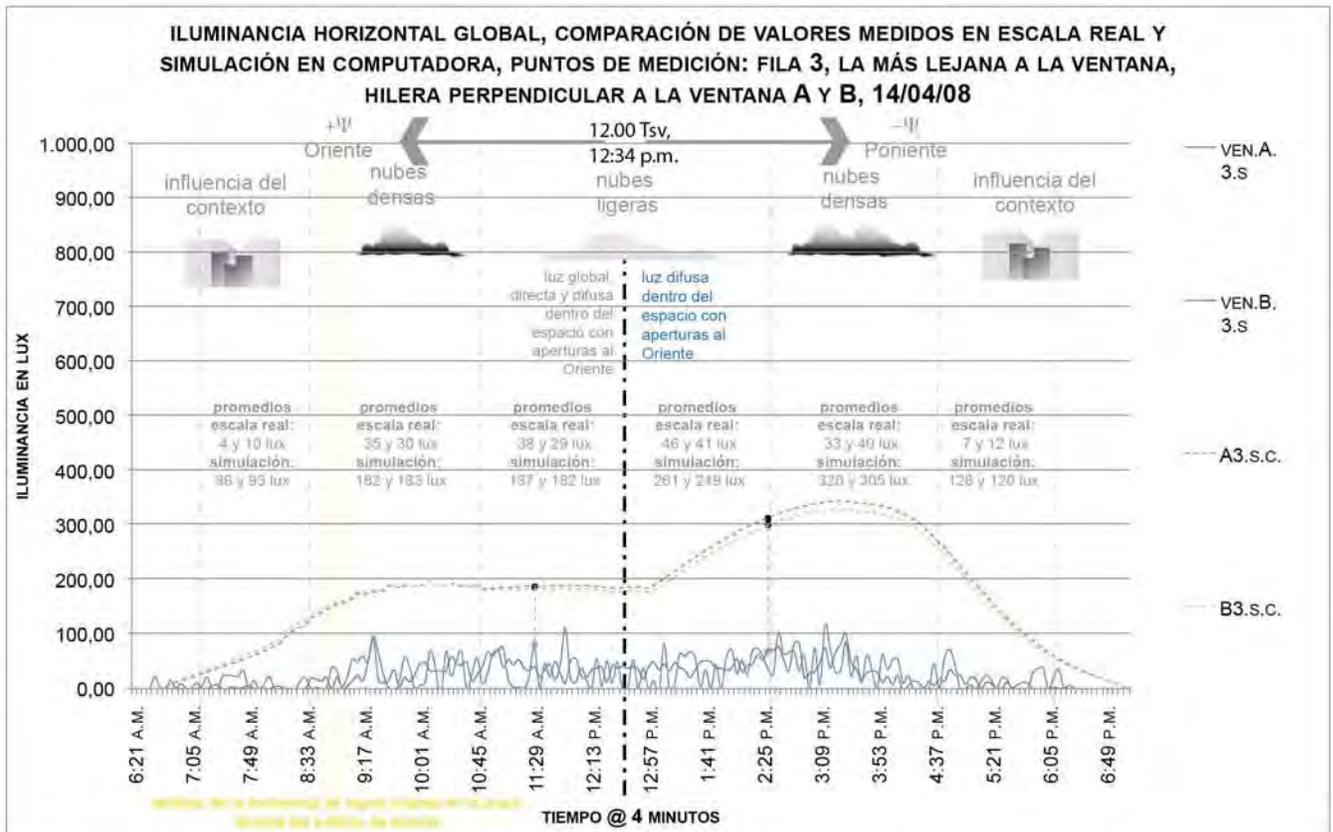
El promedio de las diferencias porcentuales, fuera del periodo con influencia del contexto, son muy similares, éstas son relativamente altas, con respecto a los promedios de las diferencias porcentuales de los demás puntos de medición, que si ven el cielo y tienen incidencia de rayos solares en algún momento del día astronómico.

Tabla 11.6 resumen con los promedios de las diferencias porcentuales a cada periodo el día 14 de abril de 2008

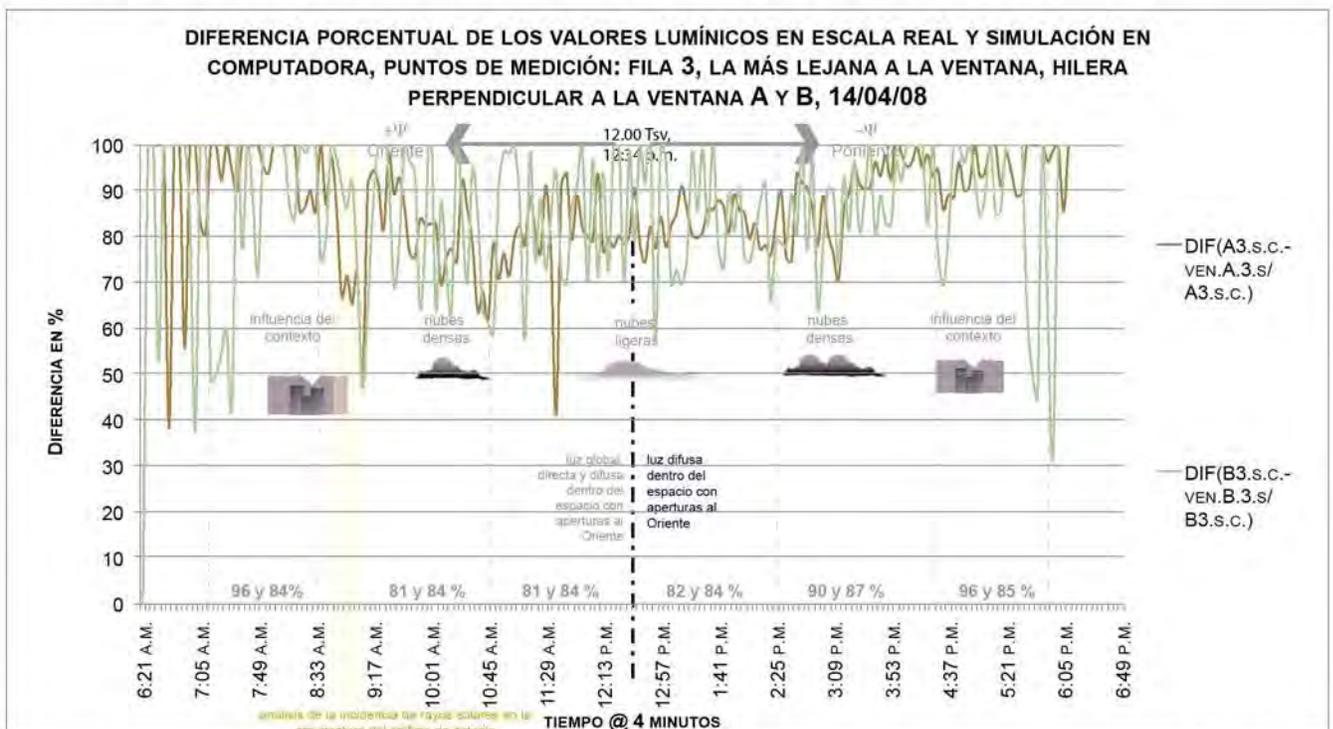
Ho		at	DIF	DIF
desde	hasta		ven.A.3.s. y A3.s.c	ven.B.3.s y B3.s.c
		°	%	%
07:13 AM	08:33 AM	10-31	96	84
08:37 AM	10:41 AM	31-61	81	84
10:45 AM	12:34 PM	61-80	81	84
12:41 PM	02:25 PM	80-61	82	84
02:29 PM	04:37 PM	61-31	90	87
04:41 PM	06:01 PM	31-10	96	85
Promedio del día astronómico			87%	85%

GRÁFICA: ILUMINANCIA HORIZONTAL GLOBAL, COMPARACIÓN DE VALORES MEDIDOS EN ESCALA REAL (SALÓN PRINCIPAL) Y SIMULACIÓN EN COMPUTADORA, PUNTOS DE MEDICIÓN: FILA 1, 2 Y 3, HILERA PERPENDICULAR AL CENTRO DE LA PARED ENTRE LAS VENTANAS, 14/04/08

Esta gráfica muestra la iluminancia horizontal global medida y calculada en tres puntos en fila 1, 2 y 3, en la hilera al centro de la pared entre las dos ventanas, dentro del salón principal el día 14 de abril de 2008. El



Gráfica: Iluminancia horizontal global, comparación de valores medidos en escala real y simulación en computadora, puntos de medición: fila 3, la más lejana a la ventana, hilera perpendicular a la ventana A y B, 14/04/08



Gráfica: Diferencia porcentual de los valores lumínicos en escala real y simulación en computadora, puntos de medición: fila 3, la más lejana a la ventana, hilera perpendicular a la ventana A y B, 14/04/08

primer punto se encuentran a 1.50 metros, el segundo a 3.00 metros y el tercero a 4.50 metros de distancia del centro del muro.

Estos puntos de medición y cálculo no tienen visión del cielo y no reciben rayos solares en ningún momento del día de estudio. Estos reciben principalmente luz reflejada de las superficies del espacio interior. (Ver imagen: Ubicación de fotómetros dentro del salón principal y los rayos solares incidentes en éste, supuestos por los trazos de la geometría solar)

La iluminancia calculada por el programa de cómputo muestra valores de iluminancia más altos que la iluminancia medida dentro del salón principal.

Los valores de la iluminancia, dentro del salón principal, más altos, los presenta el punto de medición a 3.00 metros, a comparación del punto a 1.50 metros y a 4.50 metros. Esto se debe a que este punto, en la segunda fila, recibe más luz indirecta que el punto a 1.50, por su cercanía a la pared, y al punto a 4.50 metros, por su lejanía de la ventana y con esto de la incidencia de luz natural.

En los valores de la iluminancia calculada los valores más altos, en la primera parte del día astronómico, también los presenta el punto a 3.00 metros de distancia de la pared. Sin embargo, en la segunda parte del día astronómico, el punto a 4.50 metros de distancia de la pared presenta valores ligeramente más altos. Esto sugiere que en el cálculo el valor de la reflectancia de los materiales de las superficies verticales están reflejando más luz a los puntos de cálculo que la luz que en realidad reflejan las superficies verticales en los puntos de medición dentro del espacio a escala real.

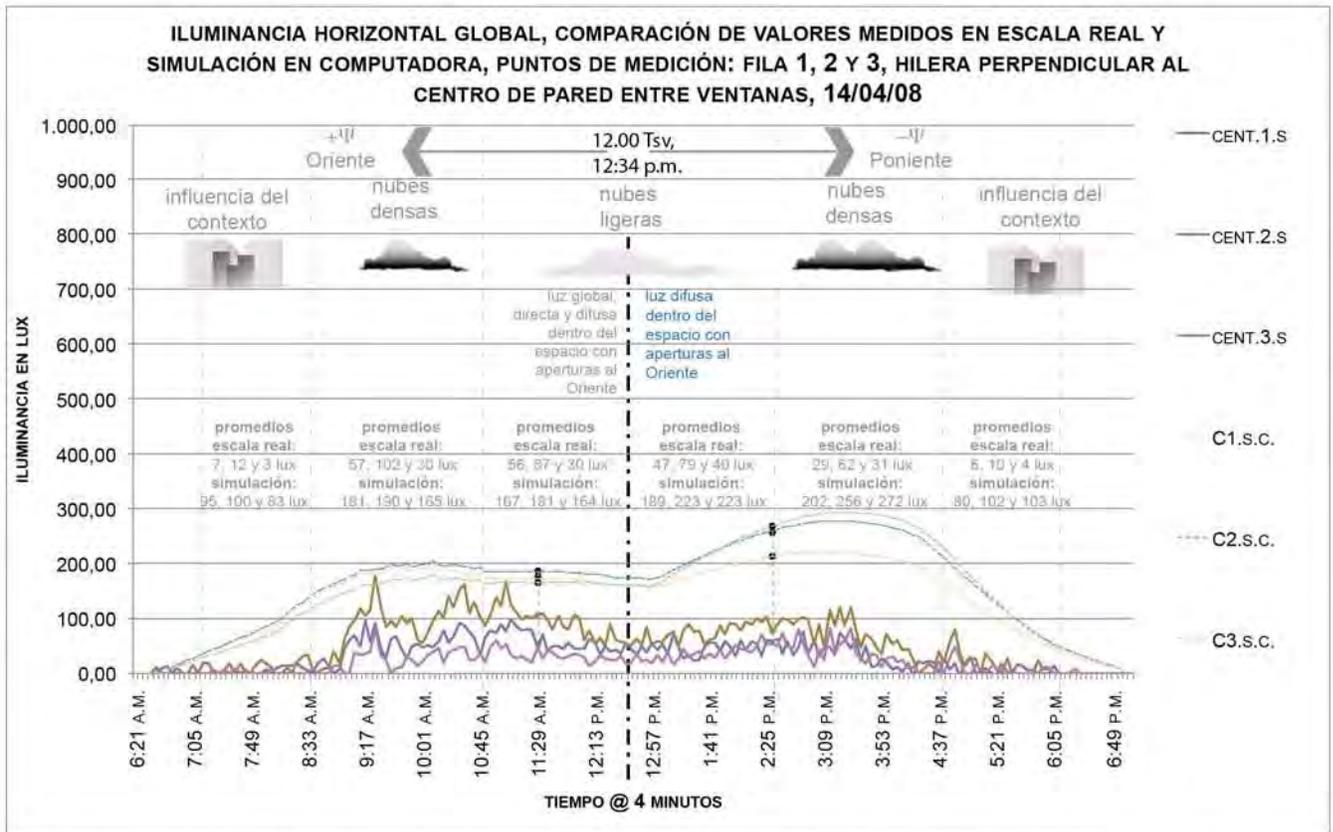
Bajo la influencia del contexto (de 7:13 a.m. a 8:33 a.m. y de 4:41 p.m. a 6:01 p.m.) la iluminancia calculada muestra valores más altos (en promedio 95,100 y 83 lux, por la mañana y por la tarde de 80, 102 y 103 lux) que la iluminancia medida dentro del salón (en promedio 7,12 y 3 lux, por la mañana y por la tarde de 6, 10 y 4 lux).

En el periodo de luz global y nubes densas, de 8:37 a.m. a 10:41 a.m., la iluminancia promedio medida es de 57, 102 y 30 lux, a comparación de los valores promedio de la iluminancia calculada de 181, 190 y 164 lux.

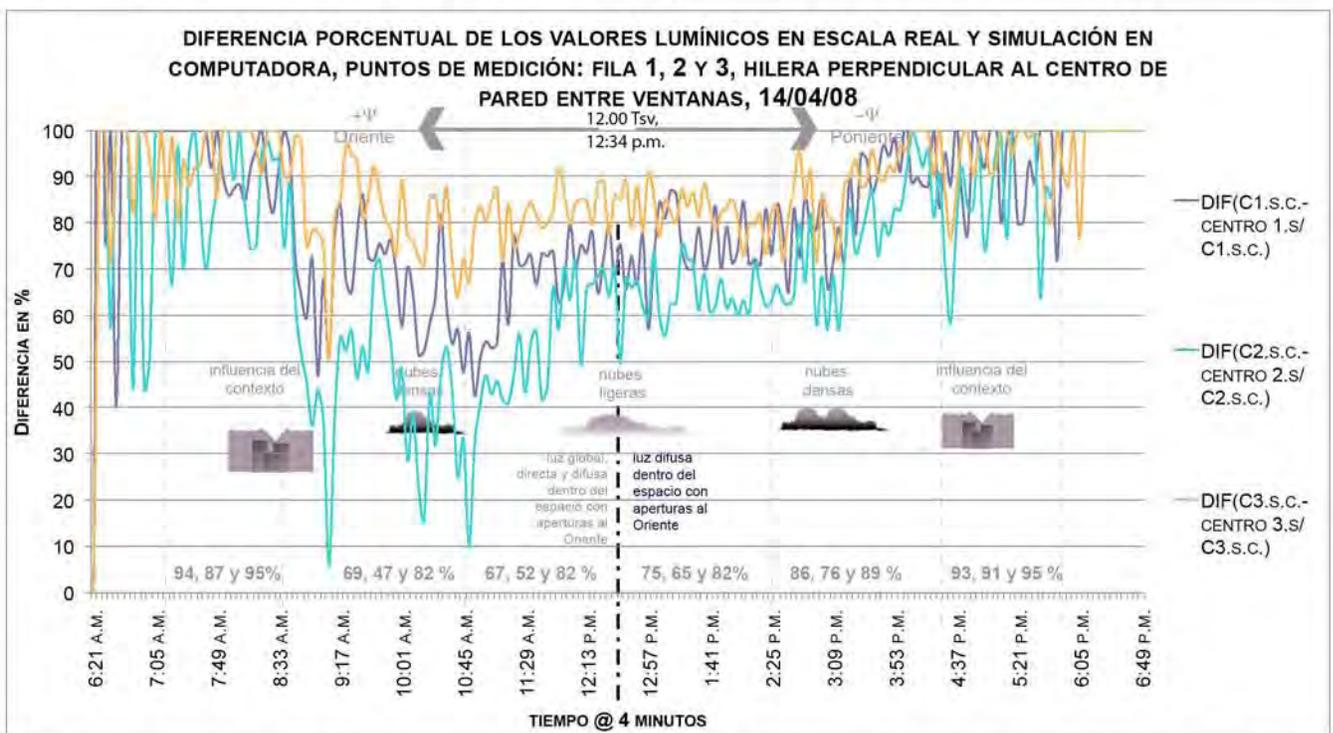
Con luz global disponible en fachada y con nubes ligeras, de 10:45 a.m. a 12:34 p.m., la iluminancia medida promedio es de 56, 87 y 30 lux, mientras que la iluminancia promedio calculada es de 167, 181 y 164 lux. Dentro de este periodo, por ejemplo a las 11:33 a.m., la iluminancia dentro del salón principal tiene un valor de 46, 85 y 26 lux, mientras que la iluminancia calculada tiene un valor de 171, 184 y 166 lux. La diferencia de 125, 99 y 140 lux es significativa para el cálculo cuantitativo de luz natural dentro de los interiores arquitectónicos.

Por la tarde, de 12:41 p.m. a 2:25 p.m., con luz difusa disponible en fachada, nubes ligeras y luz reflejada del exterior, la iluminancia medida promedio es de 47, 79 y 40 lux, mientras que la iluminancia promedio calculada es de 189, 223 y 223 lux. Dentro de este periodo, por ejemplo a las 2:33 p.m., la iluminancia dentro del salón principal tiene un valor de 47, 99 y 79 lux, mientras que la iluminancia calculada tiene un valor de 218, 270 y 282 lux. La diferencia de 171 y 203 lux es mayor que cuando la fachada recibe luz global. Esto sugiere que la luz reflejada del exterior, en el modelo realizado en el programa de cómputo, aporta grandes cantidades de iluminancia en el interior arquitectónico. También que entre menos luz directa del cielo reciba un punto de cálculo la diferencia en iluminancia será mayor, ya que bajo luz difusa por la tarde la diferencia de 203 lux es la más alta.

También por la tarde, de 2:29 p.m. a 4:37 p.m., con luz difusa disponible en fachada, nubes densas y luz reflejada del exterior, la iluminancia medida promedio es de 29, 62 y 31 lux, mientras que la iluminancia promedio calculada es de 202, 256 y 272 lux.



Gráfica: Iluminancia horizontal global, comparación de valores medidos en escala real y simulación en computadora, puntos de medición: fila 1,2 y 3, hilera perpendicular al centro de pared entre ventanas, 14/04/08



Gráfica: Diferencia porcentual de los valores lumínicos en escala real y simulación en computadora, puntos de medición: fila 1,2 y 3, hilera perpendicular al centro de pared entre ventanas, 14/04/08

Tabla 10.4 resumen con la iluminancia horizontal global medida en el salón principal y calculada por la simulación en computadora, 14/04/08

Tsv	Ho	at	centro 1.s	centro 2.s	centro 3.s	C1.s.c	C2.s.c	C3.s.c	DIF centro 1.s y C1.s.c	DIF centro 2.s y C2.s.c	DIF centro 3.s y C3.s.c
hrs	hrs:min	°	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx
10.95	11:33 AM	72	46	85	26	171	184	166	125	99	140
13.95	02:33 PM	60	47	99	79	218	270	282	171	171	203

Tabla 11.7 resumen con los promedios de la iluminancia horizontal global medida y calculada a cada periodo el día 14 de abril de 2008

Ho		at	centro 1.s	centro 2.s	centro 3.s	C1.s.c	C2.s.c	C3.s.c
desde	hasta	°	lx	lx	lx	lx	lx	lx
07:13 AM	08:33 AM	10-31	7	12	3	95	100	83
08:37 AM	10:41 AM	31-61	57	102	30	181	190	165
10:45 AM	12:34 PM	61-80	56	87	30	167	181	164
12:41 PM	02:25 PM	80-61	47	79	40	189	223	223
02:29 PM	04:37 PM	61-31	29	62	31	202	256	272
04:41 PM	06:01 PM	31-10	6	10	4	80	102	103

GRÁFICA: DIFERENCIA PORCENTUAL DE LOS VALORES LUMÍNICOS EN ESCALA REAL Y SIMULACIÓN EN COMPUTADORA, PUNTOS DE MEDICIÓN: FILA 1, 2 Y 3, HILERA PERPENDICULAR AL CENTRO DE LA PARED ENTRE LAS VENTANAS, 14/04/08

Esta gráfica muestra la diferencia porcentual de la iluminancia medida dentro del salón principal y la calculada por el programa de cómputo; en la fila 1, 2 y 3, en la hilera perpendicular al centro de la pared entre las dos ventanas; la diferencia porcentual de todo el día astronómico, del día 14 de abril de 2008, en el punto de la fila 1 es de 82%, en el punto de la fila 2 es de 70% y el punto en la fila 3 es de 88%. Estos porcentajes de la diferencia porcentual son, con excepción del punto en la fila 2, mayores que los porcentaje de la diferencia porcentual de los puntos; en la fila 1, 2 y 3, en las hileras perpendiculares a la ventana A (66%, 69% y 87%) y a la ventana B (65%, 73% y 85%). Esto quiere decir que entre menos expuesto este el punto de medición y cálculo a la luz natural mayor será la diferencia entre la iluminancia calculada, por el programa de cálculo, y la medida.

Bajo la influencia del contexto (de 7:13 a.m. a 8:33 a.m. y de 4:41 p.m. a 6:01 p.m.) las diferencias porcentuales son las más altas, con respecto a los demás periodos, por la mañana de 94, 87 y 95% y por la tarde de 93, 91 y 95%.

Por la mañana, de 8:37 a.m. a 10:41 a.m., con luz global disponible en la fachada y nubes densas la diferencia porcentual es de 69, 47 y 82%. De 10:45 a.m. a 12:34 p.m. con luz global y nubes ligeras la diferencia porcentual es de 67, 52 y 82%.

Por la tarde, de 12:41 p.m. a 2:25 p.m., con luz difusa disponible en la fachada, nubes ligeras y luz reflejada del exterior, la diferencia porcentual es de 75, 65 y 82% menor a la diferencia porcentual, con luz difusa y nubes densas (de 2:29 p.m. a 4:37 p.m.) del 86, 76 y 89%.

Tabla 11.8 resumen con los promedios de las diferencias porcentuales a cada periodo el día 14 de abril de 2008

Ho		at	DIF	DIF	DIF
desde	hasta		centro 1.s y C1.s.c	centro 2.s y C2.s.c	centro 3.s y C3.s.c
		°	%	%	%
07:13 AM	08:33 AM	10-31	94	87	95
08:37 AM	10:41 AM	31-61	69	47	82
10:45 AM	12:34 PM	61-80	67	52	82
12:41 PM	02:25 PM	80-61	75	65	82
02:29 PM	04:37 PM	61-31	86	76	89
04:41 PM	06:01 PM	31-10	93	91	95
Promedio del día astronómico			82%	70%	88%

TABLA 12. CON LOS RESULTADOS COMPARATIVOS DE LAS MEDICIONES EN ESCALA REAL Y LA SIMULACIÓN EN COMPUTADORA EN EL CAÑÓN URBANO Y LA ILUMINANCIA HORIZONTAL GLOBAL EN AZOTEA EL DÍA 14 DE ABRIL DE 2008

Esta tabla muestra la iluminancia horizontal y vertical global, dentro del Cañón Urbano (a la altura del balcón y en cada puerta de la fachada del edificio de estudio), así como la iluminancia horizontal global en la azotea (contemplando que en este punto la iluminancia habrá una lectura del cielo libre de obstrucciones), medidas in situ y calculadas por el programa de cómputo, el día 14 de abril de 2008. Esta comparación se lleva a cabo con el fin de conocer con que exactitud el programa de cómputo pronostica la luz natural en el Cañón Urbano y el cielo del Centro Histórico de la Ciudad de México. Así esta tabla también muestra las diferencias entre la iluminancia medida la calculada a cada hora del día astronómico. Los valores en iluminancia están relacionados al tiempo y a la posición del Sol.

TABLA 13. CON LOS PROMEDIOS DE LA ILUMINANCIA HORIZONTAL Y VERTICAL GLOBAL DENTRO DEL CAÑÓN URBANO Y LA ILUMINANCIA HORIZONTAL GLOBAL EN AZOTEA, MEDIDAS EN ESCALA REAL Y CALCULADAS EN LA SIMULACIÓN EN COMPUTADORA, Y LAS DIFERENCIAS PORCENTUALES A CADA PERIODO EL DÍA 14 DE ABRIL DE 2008

Esta tabla muestra los promedios de la iluminancia horizontal y vertical global, dentro del Cañón Urbano, así como la iluminancia horizontal global en la azotea, medidas in situ y calculadas por el programa de cómputo, el día 14 de abril de 2008, así como las diferencias porcentuales de la comparación. Estos promedios corresponden a los periodos de la influencia de nubes densas o de nubes ligeras y a la influencia del contexto con respecto a la posición del Sol y al tiempo. Esta tabla también muestra la diferencia porcentual de todo el día astronómico por cada comparación.

La posición del Sol es importante ya que la fachada del edificio de estudio, al Oriente, tendrá incidencia de los rayos solares por la mañana hasta que la altura solar alcance el cenit. Después de este momento habrá, por la tarde, incidencia de luz difusa sobre la fachada al Oriente del edificio de estudio.

Los valores de los primeros y los últimos 10° grados de altitud solar no son tomados en cuenta en este estudio.

Tabla 12. con los resultados comparativos de las mediciones en escala real y la simulación en computadora en el cañón urbano y la iluminancia horizontal global en azotea el día 14 de abril de 2008

Tsv	Ho	at	Escala Real				Simulación en computadora				Diferencias			
			hor.global	hor.global balcón	ver.f.A	ver.f.B	hor. global s.c	balcón hor. global s.c.	Vertical A balcón s.c.	Vertical B balcón s.c.	hor. global,s.c./ hro.global	balcón.s.c./ hor.glo balcón	Vertical A balcón/ ver.f.A.	Vertical B balcón/ ver.f.B.
hrs	hrs:min	°	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx
5.95	06:33 AM	2.31	0	144	54	73	2003	1669	1035	1021	2,003	1,525	981	948
6.95	07:33 AM	16.36	3335	1768	912	930	14837	11182	6762	6682	11,502	9,414	5,850	5,752
7.95	08:33 AM	30.50	12179	6434	3266	3342	36590	40769	36070	35913	24,411	34,335	32,804	32,571
8.95	09:33 AM	44.61	30407	18406	9084	9319	60885	65509	47932	47623	30,478	47,103	38,848	38,304
9.95	10:33 AM	58.53	45506	30564	16552	16565	81856	82633	47096	46684	36,350	52,068	30,544	30,119
10.95	11:33 AM	71.62	97978	76671	27779	28902	95851	89323	37112	36658	2,128	12,652	9,332	7,756
11.95	12:33 PM	79.74	89883	42625	9366	9580	100229	85021	18072	17410	10,346	42,397	8,705	7,831
12.95	01:33 PM	72.87	102148	15396	8281	8554	96666	26683	16952	16274	5,482	11,287	8,671	7,720
13.95	02:33 PM	59.97	86576	16028	9246	9465	83369	23054	16825	15997	3,207	7,026	7,579	6,531
14.95	03:33 PM	46.09	25569	10595	5571	5716	62990	18852	15024	14181	37,421	8,257	9,453	8,465
15.95	04:33 PM	31.99	31466	6550	4264	4395	38691	13403	10233	9711	7,224	6,853	5,968	5,317
16.95	05:33 PM	17.85	4995	2450	1152	1126	16346	6949	4517	4350	11,351	4,499	3,365	3,224
17.95	06:33 PM	3.79	180	62	38	14	3092	1561	990	950	2,912	1,499	952	935
s.c.=	Simulación en computadora													

Tabla 13. con los promedios de la iluminancia horizontal y vertical global dentro del cañón urbano y la iluminancia horizontal global en azotea, medidas en escala real y calculadas en la simulación en computadora, y las diferencias porcentuales a cada periodo, 14/04/08

Ho		at	Escala Real				Simulación en computadora				Diferencias			
			hor.global	hor.global balcón	ver.f.A	ver.f.B	hor. global s.c	balcón hor. global s.c.	Vertical A balcón s.c.	Vertical B balcón s.c.	hor. global,s.c./ hro.global	balcón.s.c./ hor.glo. balcón	Vertical A balcón/ ver.f.A	Vertical B balcón/ ver.f.B
desde	hasta	°	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	lx	%	%	%	%
06:21 AM	07:09 AM	0-10	600	369	182	189	4,139	3,474	2,155	2,128	83	83	85	85
07:13 AM	08:33 AM	10-31	5,410	2,811	1,427	1,476	21,931	21,644	10,879	10,850	77	87	86	86
08:37 AM	10:41 AM	31-61	42,010	29,282	17,663	18,590	62,489	66,132	46,024	45,686	36	57	62	60
10:45 AM	12:34 PM	61-80	98,420	70,607	23,548	24,239	95,470	87,359	32,929	32,221	6	19	33	29
12:41 PM	02:25 PM	80-61	89,361	16,340	8,021	8,216	95,240	28,529	16,816	16,183	8	42	52	49
02:29 PM	04:37 PM	61-31	35,951	10,026	5,447	5,585	62,185	18,627	14,467	13,695	47	48	64	61
04:41 PM	06:01 PM	31-10	5,896	2,669	1,373	1,398	20,971	8,272	5,672	5,421	74	70	77	76
06:05 PM	06:49 PM	10-0	463	201	102	98	4,194	2,057	1,304	1,251	91	92	94	93
Promedios del día astronómico											45	56	64	62
s.c.=	Simulación en computadora													

GRÁFICA: ILUMINANCIA HORIZONTAL GLOBAL, COMPARACIÓN DE VALORES MEDIDOS IN SITU Y SIMULACIÓN EN COMPUTADORA, PUNTOS DE MEDICIÓN: BALCÓN, 14/04/08

Esta gráfica muestra la iluminancia horizontal global en el balcón (a la altura del barandal del primer piso sobre la fachada del edificio de estudio) dentro del Cañón Urbano el día 14 de abril de 2008.

Según el análisis de la incidencia de rayos solares en la arquitectura la fachada de estudio recibe rayos solares por la mañana desde las 7.00 horas en Tiempos Solar Verdadero, lo que equivale a las 7:34 a.m. en Hora Local, hasta las 12.00 horas en Tsv, lo que equivale a las 12:34 p.m., momento del cenit el día 14 de abril de 2008 (Ver imagen: Ubicación de fotómetros dentro del salón principal y los rayos solares incidentes en éste, más la línea de donde no se ve el cielo, corte y planta) Sin embargo, no es hasta las 8:53 a.m., aproximadamente, que los valores de la iluminancia medida in situ muestran que la fachada de estudio recibe rayos solares el día 14 de abril de 2008. Este desfase se debe, en parte, por la influencia del contexto y en parte por las condiciones del cielo parcialmente nublado del día de estudio.

La iluminancia calculada muestra valores más continuos y más altos que la iluminancia medida. La variación en los valores de iluminancia medida se debe a que el día de estudio fue un día parcialmente nublado, dejando aparente y oculto al Sol. La iluminancia calculada no presenta estas variaciones en iluminancia.

La caída tajante de los valores de iluminancia de ambas curvas se debe a la orientación de la fachada de estudio al Oriente. Es a las 12:45 p.m., según esta gráfica, cuando la fachada ya no recibe rayos solares, unos minutos después del cenit del día de estudio.

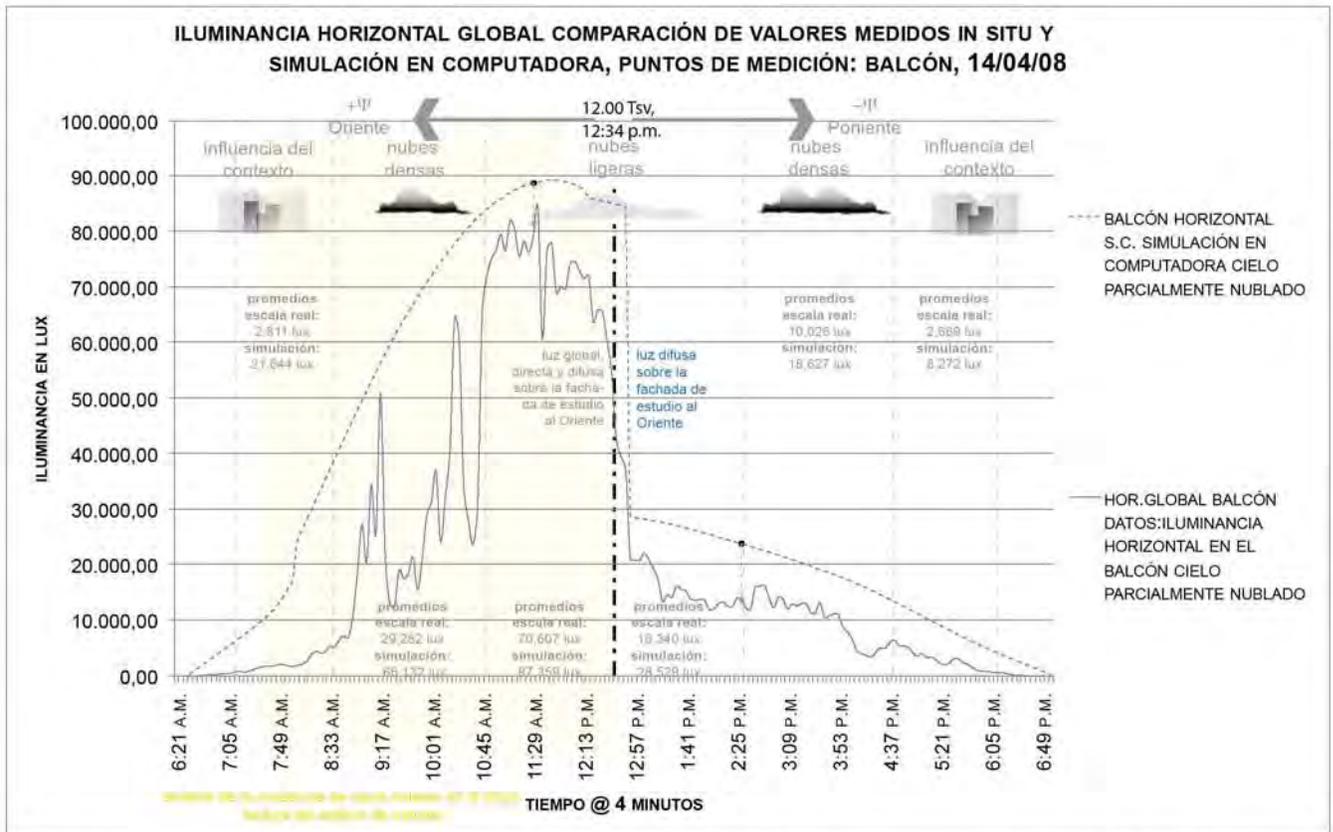
Bajo la influencia del contexto (de 7:13 a.m. a 8:33 a.m. y de 4:41 p.m. a 6:01 p.m.) la iluminancia calculada muestra valores más altos (en promedio 21,644 lux, por la mañana y por la tarde 8,272 lux) a comparación de la iluminancia medida in situ (en promedio 2,811 lux, por la mañana y por la tarde 2,669 lux).

En el periodo con luz global, nubes densas e incidencia de rayos solares en la fachada de estudio, de 8:37 a.m. a 10:41 a.m., la iluminancia promedio medida es de 29,282 lux, a comparación de los valores promedio de la iluminancia calculada de 66,132 lux.

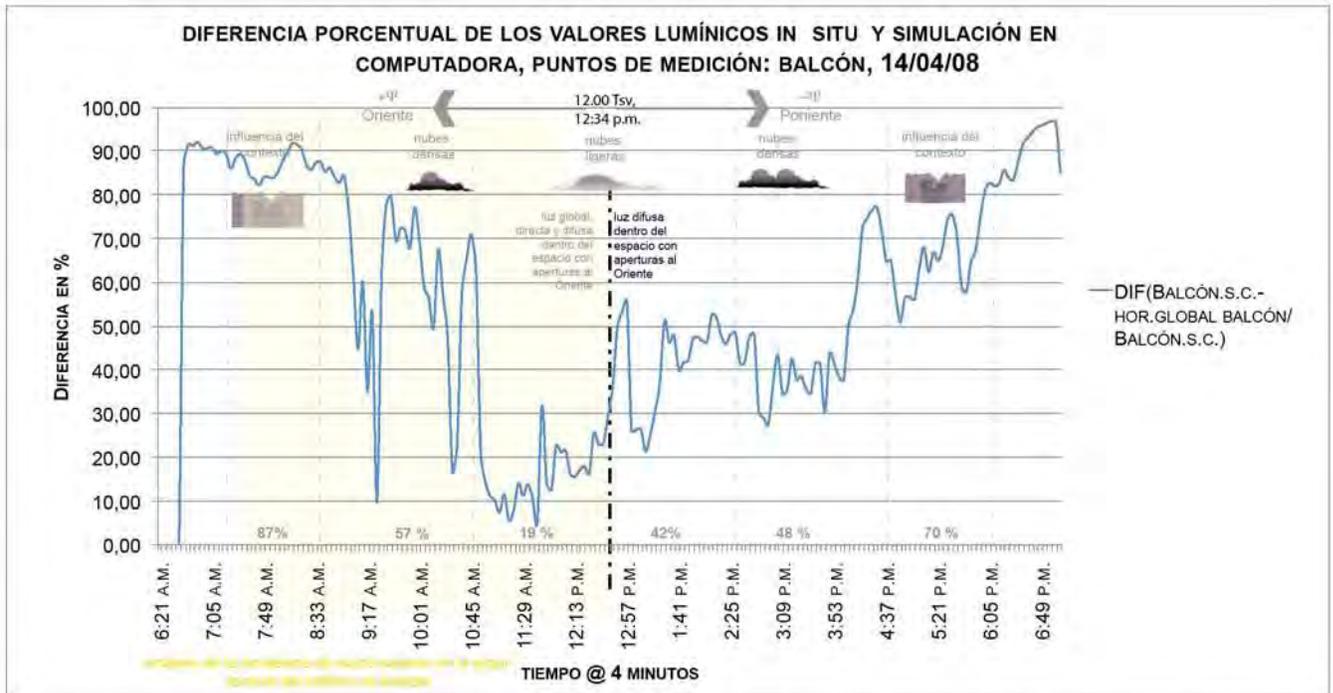
Con luz global disponible en fachada, nubes ligeras y con la incidencia de rayos solares en la fachada de estudio, de 10:45 a.m. a 12:34 p.m., la iluminancia medida promedio es de 70,607 lux, mientras que la iluminancia promedio calculada es de 87,359 lux. Dentro de este periodo, por ejemplo a las 11:33 a.m., la iluminancia medida tiene un valor de 76,671 lux, mientras que la iluminancia calculada tiene un valor de 89,323 lux. La diferencia de 12,652 lux es significativa para el cálculo cuantitativo de luz natural, esta diferencia se debe en parte a las condiciones del cielo del Centro Histórico de la Ciudad de México el día 14 de abril de 2008, condiciones que no se ven reflejadas en la iluminancia del cielo calculada por el programa de cómputo. Por otro lado, los materiales dentro del Cañón Urbano también influyen en la iluminancia disponible en la fachada, así es posible que los materiales del Cañón Urbano especificados en el programa de cómputo no representen la realidad y por lo tanto la iluminancia calculada muestre valores más altos.

Por la tarde, de 12:41 p.m. a 2:25 p.m., con luz difusa disponible en fachada, nubes ligeras y luz reflejada del exterior, la iluminancia medida promedio es de 16,340 lux, mientras que la iluminancia promedio calculada es de 28,529 lux. Dentro de este periodo, por ejemplo a las 2:33 p.m., la iluminancia medida tiene un valor de 16,028 lux, mientras que la iluminancia calculada tiene un valor de 23,054 lux. La diferencia de 7,026 lux, se debe a que el programa de cómputo no representa con exactitud el cielo del Centro Histórico de la Ciudad de México, bajo luz difusa y reflejada, y a que los materiales del modelo de la simulación en computadora no representan la realidad.

También por la tarde con luz difusa disponible en fachada, nubes densas y luz reflejada del exterior, de 2:29 p.m. a 4:37 p.m., la iluminancia medida promedio es de 10,026 lux, mientras que la iluminancia promedio calculada es de 18,627 lux.



Gráfica: Iluminancia horizontal global, comparación de valores medidos in situ y simulación en computadora, puntos de medición: balcón, 14/04/08



Gráfica: Diferencia porcentual de los valores lumínicos in situ y simulación en computadora, puntos de medición: balcón, 14/04/08

Tabla 12.1 resumen con los resultados comparativos de las mediciones en escala real y la simulación en computadora en el cañón urbano el día 14 de abril de 2008

Tsv	Ho	at	hor.global balcón	balcón hor. global s.c.	DIF balcón s.c./hor. gló, balcón
hrs	hrs:min	°	lx	lx	lx
10.95	11:33 AM	72	76,671	89,323	12,652
13.95	02:33 PM	60	16,028	23,054	7,026

Tabla 13.1 resumen con los promedios de la iluminancia horizontal global dentro del cañón urbano, medida en escala real y calculada en la simulación en computadora, 14/04/08

Ho		at	hor.global balcón	balcón hor. global s.c.
desde	hasta	°	lx	lx
07:13 AM	08:33 AM	10-31	2,811	21,644
08:37 AM	10:41 AM	31-61	29,282	66,132
10:45 AM	12:34 PM	61-80	70,607	87,359
12:41 PM	02:25 PM	80-61	16,340	28,529
02:29 PM	04:37 PM	61-31	10,026	18,627
04:41 PM	06:01 PM	31-10	2,669	8,272

GRÁFICA: DIFERENCIA PORCENTUAL DE LOS VALORES LUMÍNICOS IN SITU Y SIMULACIÓN EN COMPUTADORA, PUNTOS DE MEDICIÓN: BALCÓN, 14/04/08

Esta gráfica muestra la diferencia porcentual de la iluminancia horizontal global medida y la calculada por el programa de cómputo en el balcón sobre la fachada de estudio dentro del Cañón Urbano del Centro Histórico de la Ciudad de México. La diferencia porcentual de todo el día astronómico, del día 14 de abril de 2008 es del 56%.

Bajo la influencia del contexto (de 7:13 a.m. a 8:33 a.m. y de 4:41 p.m. a 6:01 p.m.) la diferencia porcentual es la más alta, con respecto a los demás periodos, por la mañana de 87% y por la tarde de 70%.

Por la mañana, de 8:37 a.m. a 10:41 a.m., con una altura solar menor de 61° grados, con luz global, nubes densas e incidencia de rayos solares sobre la fachada de estudio, la diferencia porcentual es de 57%. De 10:45 a.m. a 12:34 p.m. con una altura solar mayor de 61° grados, con luz global, nubes ligeras e incidencia de rayos solares sobre la fachada de estudio, la diferencia porcentual es de 19% menor que con una altura solar menor de 61° grados y con nubes densas.

Por la tarde, de 12:41 p.m. a 2:25 p.m., con una altura solar mayor de 61° grados, con luz difusa disponible en la fachada, nubes ligeras y luz reflejada del exterior, la diferencia porcentual es de 42% menor a la diferencia porcentual, con una altura solar menor de 61° grados, con luz difusa y nubes densas (de 2:29 p.m. a 4:37 p.m.) del 48%.

Tabla 13.2 resumen con los promedios de las diferencias porcentuales dentro del Cañón Urbano a cada periodo el día 14 de abril de 2008

Ho		at	DIF
desde	hasta	°	balcón.s.c./hor.glo.balcón
			%
07:13 AM	08:33 AM	10-31	87
08:37 AM	10:41 AM	31-61	57
10:45 AM	12:34 PM	61-80	19
12:41 PM	02:25 PM	80-61	42
02:29 PM	04:37 PM	61-31	48
04:41 PM	06:01 PM	31-10	70
Promedio del día astronómico			56%

GRÁFICA: ILUMINANCIA VERTICAL GLOBAL, COMPARACIÓN DE VALORES MEDIDOS IN SITU Y SIMULACIÓN EN COMPUTADORA, PUNTOS DE MEDICIÓN: FACHADA PUERTA A Y B, 14/04/08

Esta gráfica muestra la iluminancia vertical global sobre la fachada de estudio, en dos puntos, específicamente en la puerta A y en la puerta B (a una altura de 75 centímetros del piso balcón) dentro un Cañón Urbano del Centro Histórico de la Ciudad de México el día 14 de abril de 2008.

Según el análisis de la incidencia de rayos solares en la arquitectura la fachada de estudio recibe rayos solares por la mañana desde las 7.00 horas en Tiempos Solar Verdadero, lo que equivale a las 7:34 a.m. en Hora Local, hasta las 12.00 horas en Tsv, lo que equivale a las 12:34 p.m., momento del cenit el día 14 de abril de 2008 (Ver imagen: Ubicación de fotómetros dentro del salón principal y los rayos solares incidentes en éste, más la línea de donde no se ve el cielo, corte y planta) Sin embargo, no es hasta las 8:53 a.m., aproximadamente, que los valores de la iluminancia vertical global medida, in situ, muestran que la fachada de estudio recibe rayos solares el día 14 de abril de 2008. Este desfase se debe, en parte, por la influencia del contexto y en parte por las condiciones del cielo parcialmente nublado del día de estudio.

La iluminancia vertical global calculada muestra valores más continuos y más altos que la iluminancia vertical global medida. La variación en los valores de iluminancia vertical global medida se debe a que el día de estudio fue un día parcialmente nublado, dejando aparente y oculto al Sol. La iluminancia vertical global calculada no presenta estas variaciones. Sólo en un momento en donde la curva ascendente de los valores de iluminancia vertical global calculados, por la mañana de las 8:17 a.m. a las 8:33 a.m., caen 20,000 lux, aproximadamente. Esta caída no se ve reflejada en la gráfica de la iluminancia horizontal global calculada en el balcón por lo que se desconoce su origen.

La caída tajante de los valores de iluminancia vertical global se debe a la orientación de la fachada de estudio al Oriente. Es a las 12:45 p.m., según esta gráfica, cuando la fachada ya no recibe rayos solares, unos minutos después del cenit del día de estudio.

La iluminancia vertical global medida en general, presenta valores más bajos que la iluminancia horizontal global medida en el balcón sobre el barandal de la fachada de estudio. (Ver gráfica: Iluminancia horizontal global, comparación de valores en escala real y simulación en computadora, puntos de medición: balcón, 14/04/08)

Bajo la influencia del contexto, de 7:13 a.m. a 8:33 a.m. y de 4:41 p.m. a 6:01 p.m., la iluminancia vertical global calculada muestra valores más altos (en promedio 1,427 y 1,476 lux, por la mañana y por la tarde 1,398 y 1,398 lux) a comparación de la iluminancia medida in situ (en promedio 10,879 y 10,850 lux, por la mañana y por la tarde 5,672 y 5,421 lux).

En el periodo, de 8:37 a.m. a 10:41 a.m., con luz global, nubes densas e incidencia de rayos solares en la fachada de estudio la iluminancia vertical global promedio medida es de 17,663 y 18,590 lux, a comparación de los valores promedio de la iluminancia vertical global calculada de 46,024 y 45,686 lux.

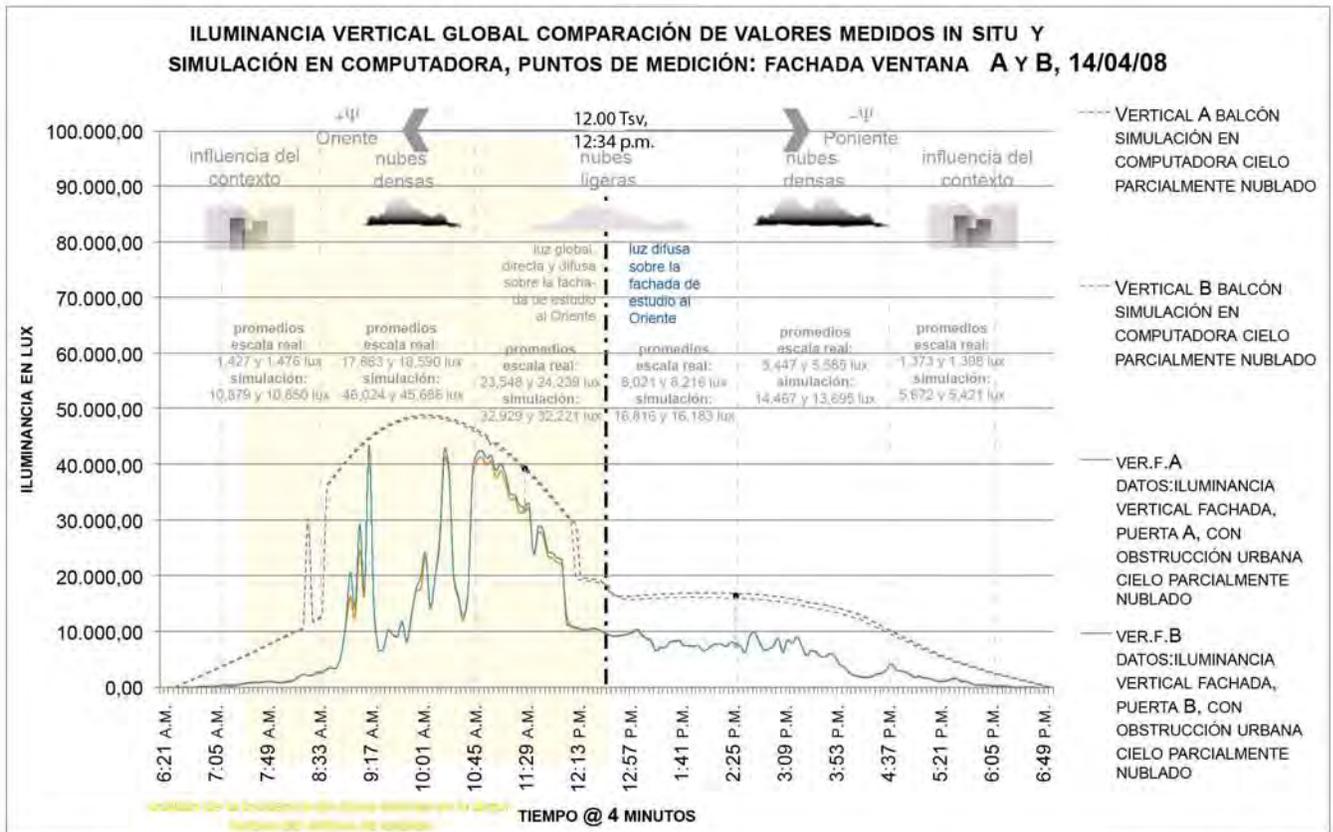
De 10:45 p.m. a 12:34 p.m. con luz global disponible en fachada, nubes ligeras y con la incidencia de rayos solares en la fachada de estudio la iluminancia vertical global medida promedio es de 23,548 y 24,239 lux, mientras que la iluminancia vertical global promedio calculada es de 32,929 y 32,221 lux. Dentro de este periodo, por ejemplo a las 11:33 a.m., la iluminancia vertical global medida tiene un valor de 27,779 y 28,902 lux, mientras que la iluminancia calculada tiene un valor de 37,112 y 36,658 lux. La diferencia de 9,332 y 7,756 lux es significativa para el cálculo cuantitativo de luz natural, esta diferencia se debe en parte a que las condiciones del cielo del Centro Histórico de la Ciudad de México el día 14 de abril de 2008 no se ven reflejadas en la iluminancia del cielo calculada por el programa de cómputo. Por otro lado, los materiales dentro del Cañón Urbano también influyen en los resultados lumínicos de la iluminancia vertical global disponible en la fachada, así es posible que los materiales del Cañón Urbano especificados en el programa de cómputo no representen la realidad y por lo tanto la iluminancia vertical global calculada muestre valores más altos. Es interesante ver que aún entre dos puntos cercanos, a 4.40 metros de distancia, sobre el mismo paramento, la iluminancia vertical global varía significativamente, aproximadamente 10,000 lux (11:33 a.m.), tanto en la medida como en la calculada.

Por la tarde, de 12:41 p.m. a 2:25 p.m., con luz difusa disponible en fachada, nubes ligeras y luz reflejada del exterior, la iluminancia vertical global medida promedio es de 8,021 y 8,216 lux, mientras que la iluminancia vertical global promedio calculada es de 16,816 y 16,183 lux. Dentro de este periodo, por ejemplo a las 2:33 p.m., la iluminancia vertical global medida tiene un valor de 9,265 y 9,465 lux, mientras que la iluminancia vertical global calculada tiene un valor de 16,825 y 15,997 lux. La diferencia de 7,579 y 6,531 lux, es significativa para el cálculo cuantitativo de luz natural y esta diferencia se debe a que el programa de cómputo no representa con exactitud el cielo del Centro Histórico de la Ciudad de México, bajo luz difusa y reflejada, y a que los materiales del modelo de la simulación en computadora no representan la realidad.

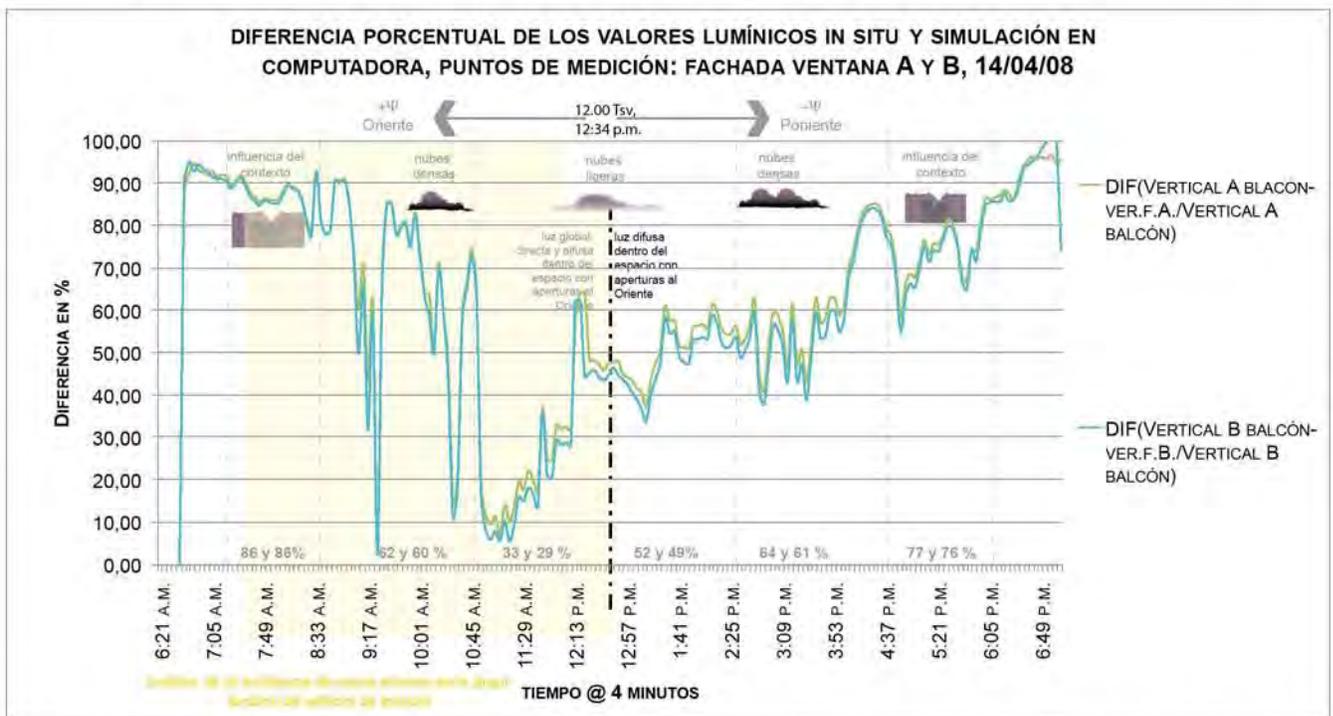
También por la tarde, pero de 2:29 p.m. a 4:37 p.m., con luz difusa disponible en fachada, nubes densas y luz reflejada del exterior, la iluminancia medida promedio es de 5,447 y 5,585 lux, mientras que la iluminancia promedio calculada es de 14,467 y 13,695 lux.

Tabla 12.2 resumen con los resultados comparativos de las mediciones en escala real y la simulación en computadora en el cañón urbano el día 14 de abril de 2008

Tsv	Ho	at	ver.f.A	ver.f.B	Vertical A balcón s.c.	Vertical B balcón s.c.	DIF Vertical A balcón y ver.f.A	DIF Vertical B balcón y ver.f.B
hrs	hrs:min	°	lx	lx	lx	lx	lx	lx
10.95	11:33 AM	72	27,779	28,902	37,112	36,658	9,332	7,756
13.95	02:33 PM	60	9,246	9,465	16,825	15,997	7,579	6,531



Gráfica: Iluminancia vertical global, comparación de valores medidos in situ y simulación en computadora, puntos de medición: fachada ventana A y B, 14/04/08



Gráfica: Diferencia porcentual de los valores lumínicos in situ y simulación en computadora, puntos de medición: fachada ventana A y B, 14/04/08

Tabla 13.3 resumen con los promedios de la iluminancia vertical global dentro del cañón urbano, medida en escala real y calculada en la simulación en computadora, 14/04/08

Ho		at	ver.f.A	ver.f.B	Vertical A balcón s.c.	Vertical B balcón s.c.
desde	hasta	°	lx	lx	lx	lx
07:13 AM	08:33 AM	10-31	1,427	1,476	10,879	10,850
08:37 AM	10:41 AM	31-61	17,663	18,590	46,024	45,686
10:45 AM	12:34 PM	61-80	23,548	24,239	32,929	32,221
12:41 PM	02:25 PM	80-61	8,021	8,216	16,816	16,183
02:29 PM	04:37 PM	61-31	5,447	5,585	14,467	13,695
04:41 PM	06:01 PM	31-10	1,373	1,398	5,672	5,421

GRÁFICA: DIFERENCIA PORCENTUAL DE LOS VALORES LUMÍNICOS IN SITU Y SIMULACIÓN EN COMPUTADORA, PUNTOS DE MEDICIÓN: FACHADA PUERTA A Y B, 14/04/08

Esta gráfica muestra la diferencia porcentual de la iluminancia vertical global sobre la fachada de estudio, en dos puntos, específicamente en la puerta A y en la puerta B (a una altura de 75 centímetros del piso balcón) dentro un Cañón Urbano del Centro Histórico de la Ciudad de México el día 14 de abril de 2008. La diferencia porcentual de todo el día astronómico es del 64%, en la puerta A y del 62% en la puerta B.

Bajo la influencia del contexto, de 7:13 a.m. a 8:33 a.m. y de 4:41 p.m. a 6:01 p.m., la diferencia porcentual es la más alta, con respecto a los demás periodos, por la mañana de 86% y por la tarde de 77 y 76%.

Por la mañana, de 8:37 a.m. a 10:41 a.m., con una altura solar menor de 61° grados, con luz global, nubes densas e incidencia de rayos solares sobre la fachada de estudio, la diferencia porcentual es del 62 y 60%. De 10:45 a.m. a 12:34 p.m., con una altura solar mayor de 61° grados, con luz global, nubes ligeras e incidencia de rayos solares sobre la fachada de estudio, la diferencia porcentual es menor ésta es del 33 y 29%.

Por la tarde, de 12:41 p.m. a 2:25 p.m., con una altura solar mayor de 61° grados, con luz difusa disponible en la fachada, nubes ligeras y luz reflejada del exterior, la diferencia porcentual es de 52 y 49% menor a la diferencia porcentual, de 2:29 p.m. a 4:37 p.m., con una altura solar menor de 61° grados, con luz difusa y nubes densas del 64 y 61%.

Tabla 13.4 resumen con los promedios de las diferencias porcentuales dentro del Cañón Urbano a cada periodo el día 14 de abril de 2008

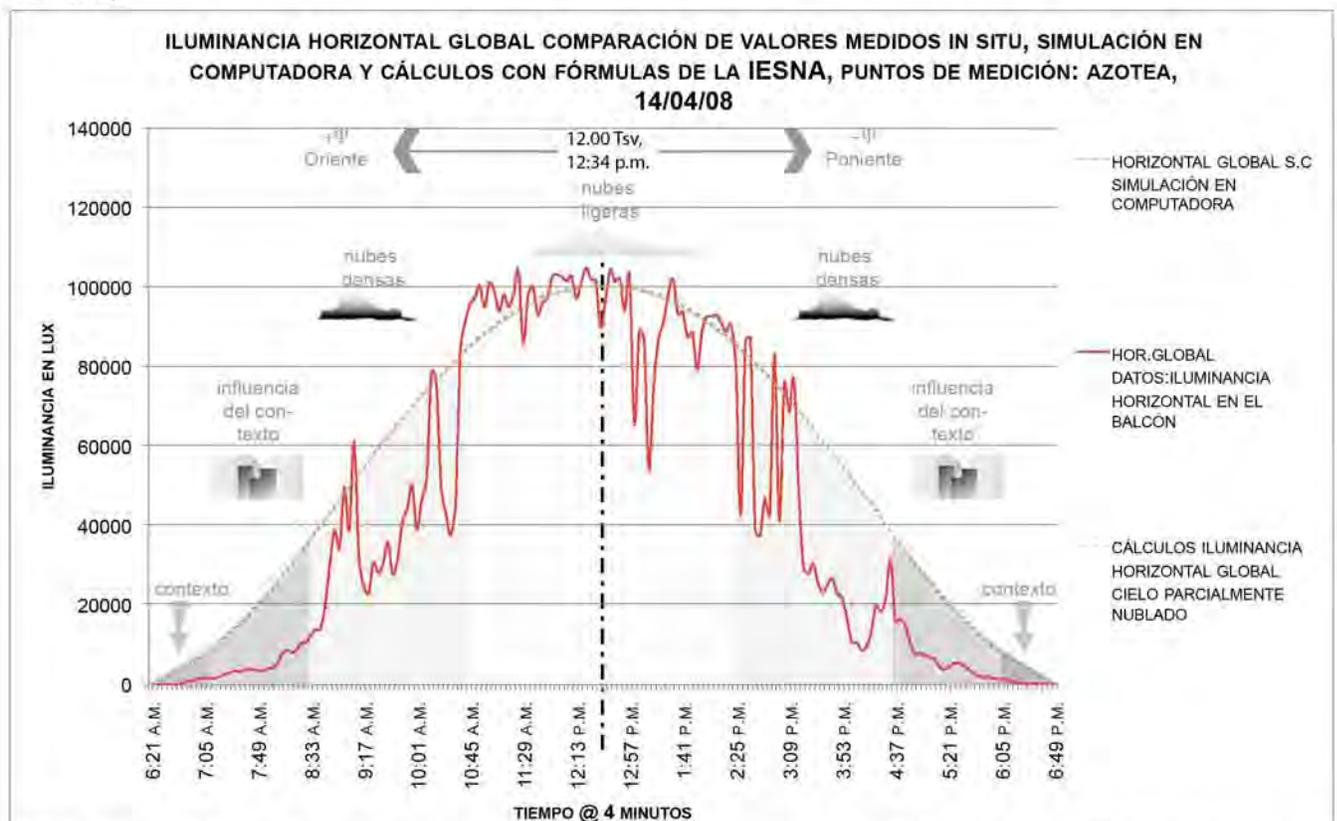
Ho		at	DIF	
desde	hasta	°	Vertical A balcón y ver.f.A. %	Vertical B balcón y ver.f.B. %
07:13 AM	08:33 AM	10-31	86	86
08:37 AM	10:41 AM	31-61	62	60
10:45 AM	12:34 PM	61-80	33	29
12:41 PM	02:25 PM	80-61	52	49
02:29 PM	04:37 PM	61-31	64	61
04:41 PM	06:01 PM	31-10	77	76
Promedio del día astronómico			64%	62%

GRÁFICA: ILUMINANCIA HORIZONTAL GLOBAL, COMPARACIÓN DE VALORES MEDIDOS IN SITU, SIMULACIÓN EN COMPUTADORA Y CÁLCULOS CON FÓRMULAS DE LA IESNA, PUNTOS DE MEDICIÓN: AZOTEA, 14/04/08

Esta gráfica muestra la iluminancia horizontal global, medida in situ, calculada por el programa de cómputo y calculada con las fórmulas de la IESNA, descritas en el capítulo 4 de este trabajo, para un cielo parcialmente nublado en la azotea del edificio de estudio (contemplando que en este punto la iluminancia horizontal global habrá una lectura del cielo libre de obstrucciones) el día 14 de abril de 2008. Este día de abril presentaba un cielo parcialmente nublado, con periodos en donde las nubes eran más ligeras y otros en donde las nubes eran más densas.

La iluminancia horizontal global calculada por el programa de cómputo Agi32 (en la azotea del edificio de estudio, lo que contempla un cielo libre de obstrucciones), para un cielo parcialmente nublado, y la iluminancia horizontal global calculada con las fórmulas de la Disponibilidad de Luz Natural según la IESNA, para un cielo parcialmente nublado, es prácticamente la misma. Lo que nos lleva a afirmar varias cuestiones que los algoritmos con los que calcula el programa de cómputo Agi32 se basan en las fórmulas que proporciona la IESNA para el pronóstico de luz natural. Lo que indica que las simulaciones en computadora, tanto de un interior como de un exterior arquitectónico, sólo dan como resultado cuantitativo lumínico un promedio, que no refleja totalmente la realidad.

El análisis comparativo de la iluminancia horizontal global, de un cielo sin obstrucciones, calculada y medida, así como las diferencias porcentuales entre ellas, ya ha sido realizado en el capítulo 4 de este trabajo. (Ver gráfica: Iluminancia horizontal global, calculada y medida, más la iluminancia fuera de la atmósfera, 14/04/08) (Ver gráfica: Diferencia porcentual entre la iluminancia horizontal global, directa y difusa, calculada y medida, 14/04/08)



Gráfica: Iluminancia horizontal global, comparación de valores medidos in situ, simulación en computadora y cálculos con fórmulas de la IESNA, puntos de medición: azotea, 14/04/08

CONCLUSIONES

En general, la iluminancia calculada por la simulación en computadora presenta valores lumínicos más altos a comparación de la iluminancia medida en el espacio de estudio. Las excepciones ocurren en algunos momentos bajo la incidencia de rayos solares en el interior arquitectónico en donde existe un desfase, de aproximadamente media hora, entre la iluminancia medida y calculada y otros momentos en donde la simulación en computadora no registra esta incidencia de rayos solares en el interior arquitectónico. (Ver gráfica: Iluminancia horizontal global, comparación de valores medidos en escala real y simulación en computadora, puntos de medición: fila 1, la más cercana a la ventana, hilera perpendicular a la ventana A y B, 14/04/08) (Ver gráfica: Iluminancia horizontal global, comparación de valores medidos en escala real y simulación en computadora, puntos de medición: fila 2, hilera perpendicular a la ventana A y B, 14/04/08)

La diferencia porcentual de la iluminancia calculada por el programa de cómputo y la medida en el espacio a escala real varía, fuera de la influencia del contexto; en los puntos de medición con visión del cielo e incidencia de rayos solares en promedio del 25% al 100%; y en los puntos de medición sin visión del cielo y sin incidencia de rayos solares en promedio del 47% al 89%.

Fuera de la influencia del contexto, los valores promedio de iluminancia medida dentro del espacio real varían; en los puntos de medición con visión del cielo e incidencia de rayos solares de 29 lux a 1663 lux; y en los puntos de medición sin visión del cielo y sin incidencia de rayos solares de 29 lux a 57 lux. Mientras que los valores promedio de la iluminancia calculada varían; en los puntos de medición con visión del cielo e incidencia de rayos solares de 182 lux a 1984 lux; y en los puntos de medición sin visión del cielo y sin incidencia de rayos solares de 164 lux a 272 lux. (Ver imagen: Comparación de la iluminancia medida y calculada por el programa de cómputo dentro del salón principal, puntos de medición con visión del cielo e incidencia de rayos solares, 14/04/08) (Ver imagen: Comparación de la iluminancia medida y calculada por el programa de cómputo dentro del salón principal, puntos de medición sin visión del cielo y sin la incidencia de rayos solares, 14/04/08)

Aunque es complicado afirmar en que periodo la iluminancia calculada por el programa de cómputo es más precisa con respecto a la iluminancia dentro del espacio en escala real, salón principal, por los diferentes factores que afectan tanto la Disponibilidad de Luz Natural en la fachada como la iluminancia dentro del espacio arquitectónico en este estudio se observa que la precisión de la iluminancia calculada por el programa de cómputo es mayor en el periodo con luz global disponible en la fachada, con nubes ligeras, con un altura solar mayor de 61° grados y cuando los rayos del Sol no inciden en los puntos de medición a comparación del periodo luz global disponible en la fachada, con nubes densas, con un altura solar menor de 61° grados y cuando los rayos del Sol no inciden en los puntos de medición. En el periodo de luz difusa disponible en fachada, con nubes densas, con un altura solar menor de 61° grados, con incidencia de luz reflejada del contexto la precisión de la iluminancia medida dentro del modelo a escala es menor a comparación del periodo de luz difusa disponible en fachada, con nubes ligeras, con un altura solar mayor de 61° grados, con incidencia de luz reflejada del contexto. (Ver imagen: Comparación de la iluminancia medida dentro del modelo a escala y la iluminancia dentro del espacio a escala real, salón principal, puntos de medición con visión del cielo e incidencia de rayos solares, 14/04/08) (Ver imagen: Comparación de la iluminancia medida dentro del modelo a escala y la iluminancia dentro del espacio a escala real, salón principal, puntos de medición sin visión del cielo y sin incidencia de rayos solares, 14/04/08)

Dentro del espacio de estudio la diferencia porcentual más alta se encuentra en los puntos del espacio que menos iluminancia reciben del exterior, en estos puntos la luz reflejada de las superficies influye más que la luz directa del cielo. Esto quiere decir que entre menos expuesto este el punto de medición y cálculo a la luz natural mayor será la diferencia entre la iluminancia calculada, por el programa de cálculo, y la medida. Estos puntos se ubican a 1.50 metros de distancia del centro del muro del salón principal, así como en la última fila, a

4.50 metros de distancia en la hilera perpendicular a las ventanas y en la hilera perpendicular al centro del muro entre las ventanas. Esto se debe a que, por un lado, el modelo del espacio real en computadora no refleja los valores adecuados de reflectancia del espacio en escala real o, a que el programa de computo no es exacto en su cálculo con referencia a la luz reflejada y difusa, como se menciona anteriormente, pudiendo ser la debilidad del método de radiosidad con respecto a la limitación con superficies mates. La poca precisión con respecto a la luz reflejada de la simulación existe en la diferencia que se presenta en la tarde entre la simulación y las mediciones. Los valores lumínicos de la simulación presentan una curva ascendiente, mientras que los valores de las mediciones presentan una curva descendiente. Los altos valores lumínicos de la simulación, en la tarde, se deben, posiblemente, a que la reflectancia de los materiales de las fachadas encontradas al edificio de estudio no fueron especificados exactamente según las construcciones actuales. La precisión de los valores de reflectancia de las fachadas encontradas al edificio de estudio son importantes, ya que por la tarde (por la orientación del edificio), cuando existe luz difusa disponible en la fachada y no hay incidencia de los rayos solares en el espacio, éste es iluminado en parte por la luz reflejada de las fachadas enfrentadas. La precisión al especificar los valores de reflectancia de los materiales, tanto de los espacios interiores como de los exteriores en la simulación en computadora es de suma importancia, ya que los valores lumínicos simulados pueden variar por este hecho significativamente.

Bajo la influencia del contexto, en las primeras horas de la mañana y en las últimas horas de la tarde, existe una diferencia de valores en iluminancia significativa, en donde la iluminancia de la simulación marca valores más altos en comparación con la iluminancia medida. Esto se debe a que el modelo del programa de computo no cuenta con el la geografía del sitio. En este caso, debido a que la Ciudad de México se encuentra en una cuenca, las montañas que rodean esta urbe, retrasan por la mañana y anticipan por la tarde la incidencia de luz solar.

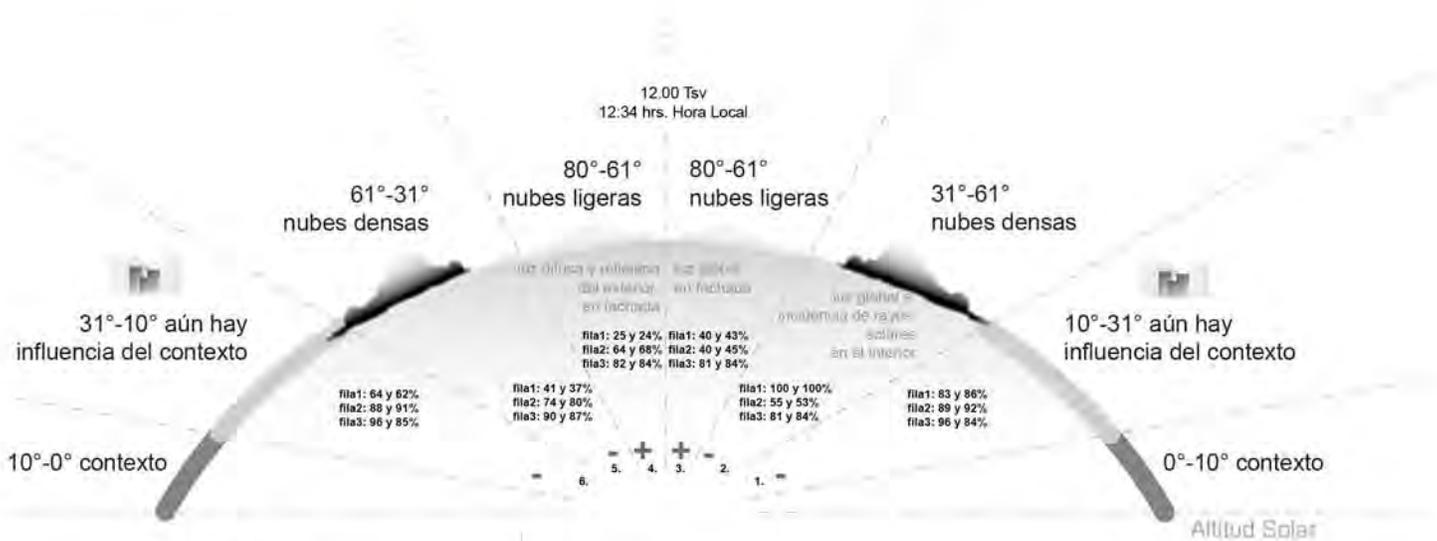
Por la semejanza de los valores de la iluminancia horizontal global calculada por la simulación con los valores de la iluminancia calculada por las fórmulas de la IESNA, se establece que el programa Agi32 utiliza, para el calculo de luz natural, algoritmos establecidos por la IESNA, lo que indica que las simulaciones en computadora, tanto de un interior como de un exterior arquitectónico, sólo proporcionan un resultado lumínico promedio, que no refleja totalmente la realidad.

La simulación en computadora es una herramienta para la predicción de la iluminación natural en los interiores y exteriores arquitectónicos. Para que esta herramienta nos pueda dar datos precisos es importante contar con un proyecto arquitectónico con especificaciones respecto a sus acabados y materiales, ya que como mencionamos anteriormente, algún cambio en los materiales y su reflectancia es crucial para la precisión en la predicción de la luz natural en estos espacios.

Sería interesante llevar a cabo mediciones del espacio a escala real, en donde se omitiera la luz reflejada de los materiales del interior y del exterior. Esto se podría lograr pintando o tapando las paredes, piso y techo de color negro. También se tendrían que tapar de negro las fachadas encontradas al espacio con el propósito de medir la luz natural directa del cielo, con lo que se podrían comparar estos valores con la luz natural directa de la simulación, opción que tiene el programa Agi32.

Esta comparación entre mediciones y simulación, fue realizada con planos arquitectónicos y visitas al sitio, cuestión que no será posible en la predicción de la luz natural en espacios arquitectónicos en proyecto. Aún así, la diferencia de los valores lumínicos por la reflectancia de los materiales entre otros factores, es grande.

La diferencia de valores en iluminancia medidos en la escala real y dentro del modelo a escala son significativos para el pronóstico cuantitativo de la iluminancia. Por lo que esta herramienta de diseño, en este caso, la simulación en computadora, carece de precisión en los valores lumínicos en el pronóstico de la luz natural



- luz global incidencia de rayos solares en el interior
 - + sin la incidencia de rayos solares en el interior
 - + luz difusa y reflejada del exterior, con nubes ligeras
 - luz difusa y reflejada del exterior, con nubes densas
- +/-** mayor o menor precisión de la ilum. calculada a comparación de la ilum. en el espacio a escala real

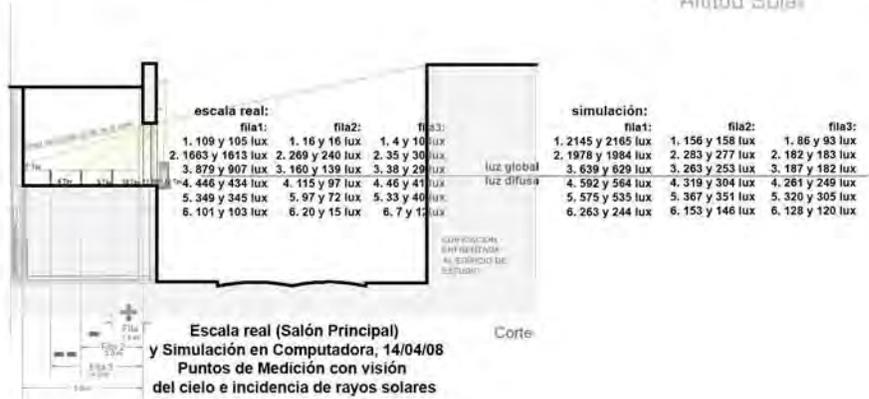
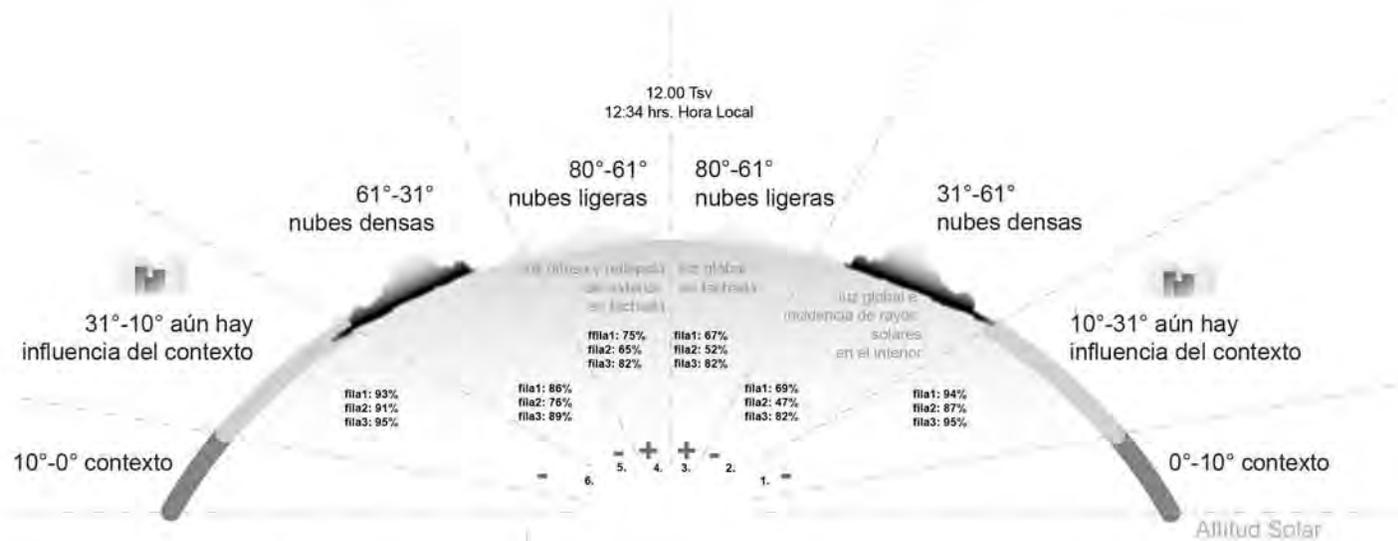


Imagen: Comparación de la iluminancia medida y calculada por el programa de cómputo dentro del salón principal, puntos de medición con visión del cielo e incidencia de rayos solares, 14/04/08



- luz global incidencia de rayos solares en el interior
- + sin la incidencia de rayos solares en el interior
- + luz difusa y reflejada del exterior, con nubes ligeras
- luz difusa y reflejada del exterior, con nubes densas

+/- mayor o menor precisión de la ilum. calculada a comparación de la ilum. en el espacio a escala real

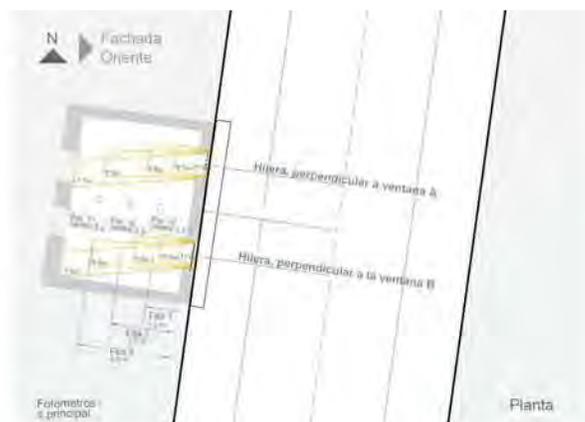
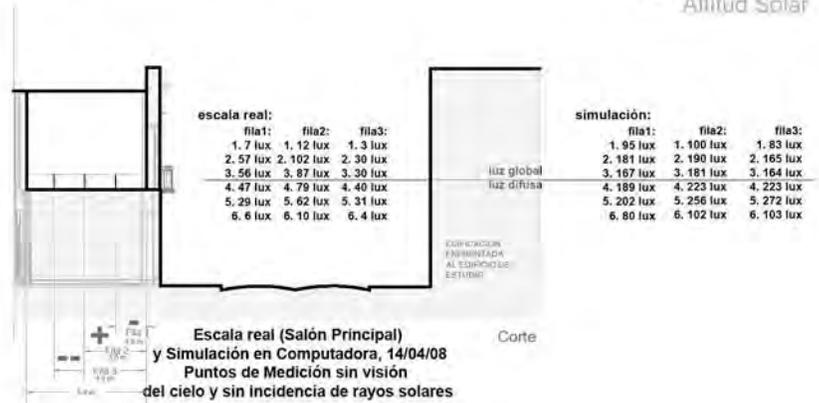
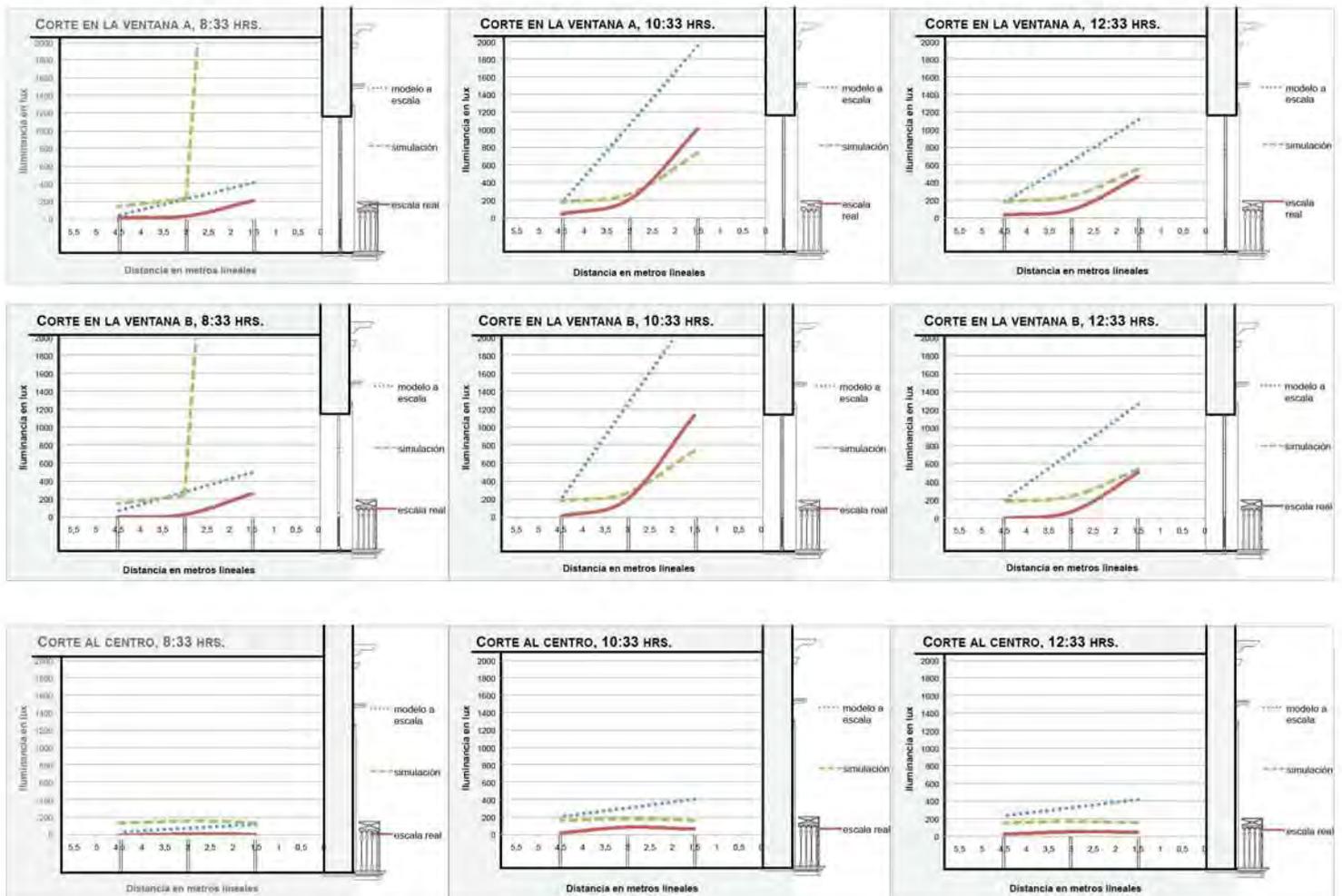


Imagen: Comparación de la iluminancia medida y calculada por el programa de cómputo dentro del salón principal, puntos de medición sin visión del cielo y sin la incidencia de rayos solares, 14/04/08

dentro de los espacios interiores y exteriores. Sin embargo, los valores lumínicos calculados por la simulación en computadora dan un promedio, aunque elevado y el cual no corresponde a los valores de luz natural del instante en el sitio, de la iluminancia dentro del espacio interior arquitectónico. Esto puede ser determinante en la cantidad de luz natural necesaria para efectuar una tarea en específico dentro del espacio. Así como las fórmulas de la Disponibilidad de Luz Natural de la IESNA, la simulación en computadora proporciona resultados lumínicos promedio, en unas circunstancias más precisos que en otras, de los interiores y exteriores arquitectónicos.



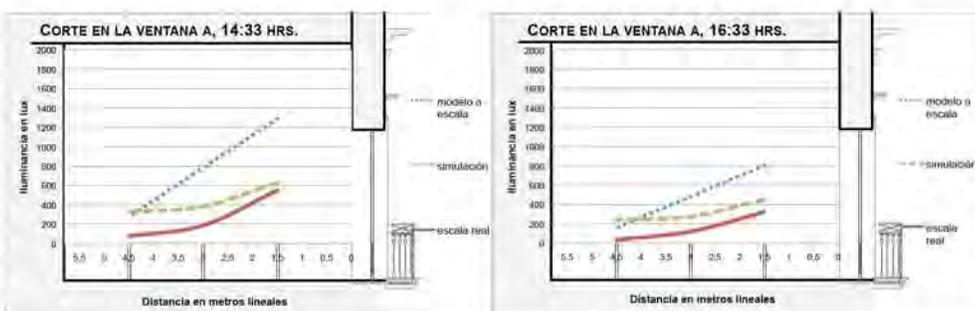
CONCLUSIONES DE LA COMPARACIÓN DE LAS DOS HERRAMIENTAS ESTUDIADAS PARA EL PRONÓSTICO DE LA LUZ NATURAL EN LA ARQUITECTURA

Estas gráficas, en forma de esquema, muestran la iluminancia medida y calculada, por las dos diferentes herramientas, con las cuales es posible pronosticar la luz natural en la arquitectura, a comparación de la iluminancia medida en escala real dentro del espacio de estudio el día 14 de abril de 2008.

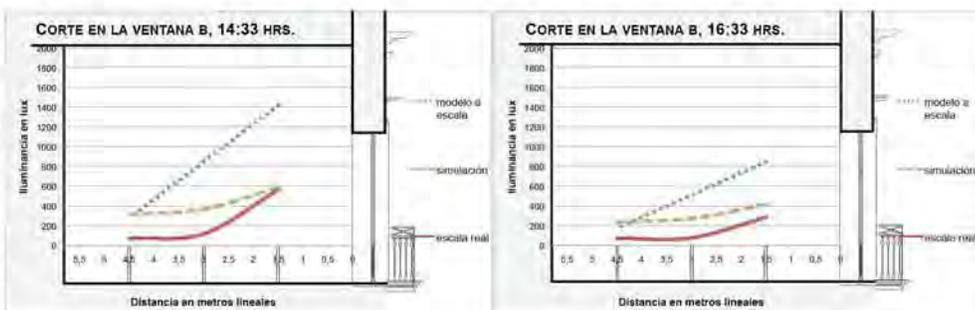
Las gráficas muestran, en un corte que representa la profundidad del salón principal, la iluminancia medida y calculada en los puntos de medición, sobre la hilera perpendicular a la ventana A y B (que son los puntos de medición con visión del cielo e incidencia de rayos solares); y sobre la hilera perpendicular al centro de la pared entre las ventanas (que son los puntos de medición que no tienen visión del cielo y no tienen incidencia de rayos solares).

En general, es la iluminancia calculada, por la simulación en computadora, la que más similitud tiene con la iluminancia medida, en escala real. Los valores lumínicos de la simulación son, en general, más altos que los de la medición en escala real. La diferencia más grande, ocurre en la mañana, a las 8:33 horas, en donde en el punto de medición, en la primera fila a 1.50 metros de distancia de la ventana, la iluminancia calculada hace una lectura de luz solar, con valores mayores a 2000 lux (de 10,490 y 10,509 lux), mientras que la iluminancia medida muestra un valor de 213 y 258 lux. Posteriormente, también por la mañana, a las 10:33 a.m., en los mismos puntos de medición, la iluminancia calculada muestra valores más bajos de 740 y 737 lux, a comparación de la

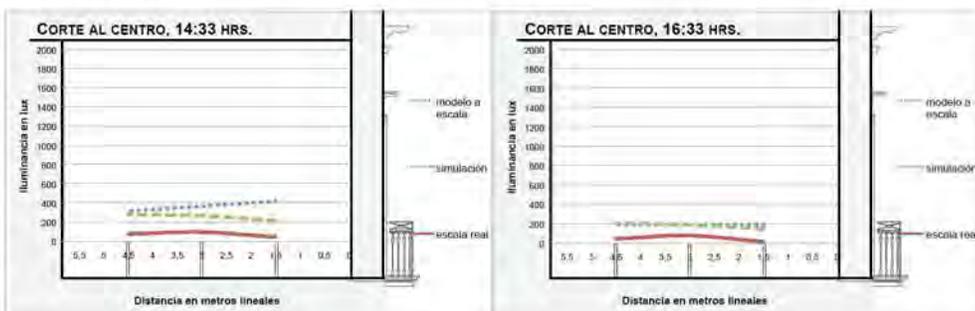
Corte, al centro de la ventana A del salón principal (puntos de medición con visión del cielo e incidencia de rayos solares), con los valores lumínicos de la iluminancia medida en escala real, medida dentro del modelo a escala y calculada por la simulación en computadora a cada dos horas de las 8:33 a.m. a las 6:33 p.m.

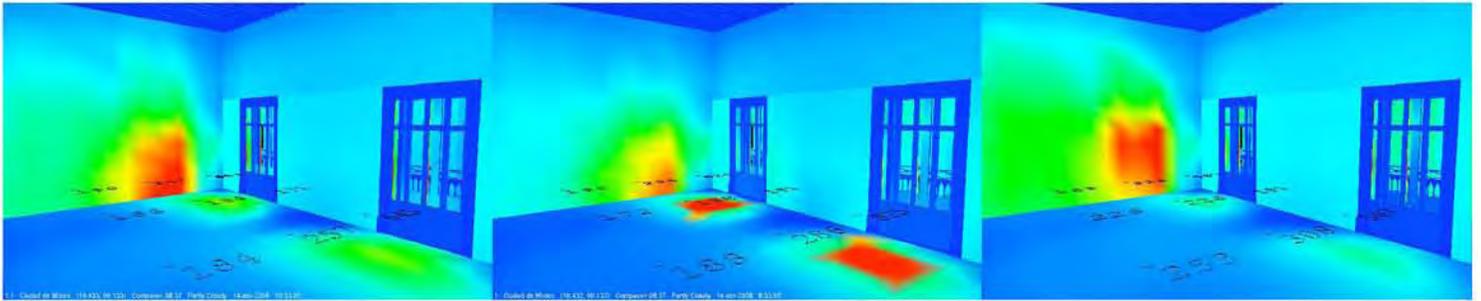


Corte, al centro de la ventana B del salón principal (puntos de medición con visión del cielo e incidencia de rayos solares), con los valores lumínicos de la iluminancia medida en escala real, medida dentro del modelo a escala y calculada por la simulación en computadora a cada dos horas de las 8:33 a.m. a las 6:33 p.m.



Corte, al centro de la pared entre las dos ventanas del salón principal (puntos de medición sin visión del cielo y sin la incidencia de rayos solares), con los valores lumínicos de la iluminancia medida en escala real, medida dentro del modelo a escala y calculada por la simulación en computadora a cada dos horas de las 8:33 a.m. a las 6:33 p.m.





Imágenes: Vista de la cámara que monitoreaba el cielo de las 8:33 a las 16:33, cada dos horas



Imágenes: Vista de la cámara que monitoreaba el salón principal de las 8:33 a las 16:33, cada dos horas



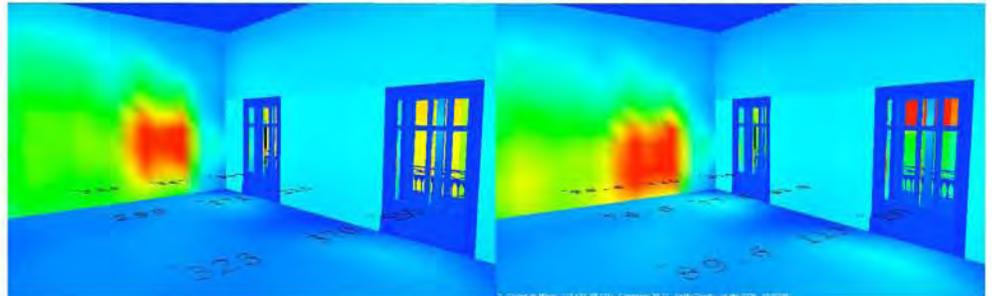
Imágenes: Vista de la cámara que monitoreaba el modelo a escala de las 8:33 a las 16:33, cada dos horas



Imágenes: Simulación en computadora, RGB, iluminancia de las 8:33 a las 16:33, cada dos horas



Imágenes: Simulación en computadora, pseudo colores, iluminancia de las 8:33 a las 16:33, cada dos horas



iluminancia medida con valores de 1,011 y 1,135 lux. Esto representa el desfase en el cálculo de la incidencia de los rayos solares, dentro del espacio arquitectónico, que hace la simulación a comparación de las mediciones en escala real. El desfase lo pueden causar las condiciones del cielo parcialmente nublado del día 14 de abril de 2008 (en donde el Sol sale y se oculta por instantes, por lo cual es imposible que el cálculo simule la realidad al instante), o la imprecisión de los algoritmos del programa de cálculo, los cuales no pronostican con exactitud los valores lumínicos de luz natural dentro del espacio de estudio.

Tabla 10.5 resumen con la iluminancia horizontal global medida en el salón principal y calculada por la simulación en computadora el día 14 de abril de 2008

Tsv	Ho	at	ven.A.1.s.	ven.B.1.s	A1.s.c	B1.s.c
hrs	hrs:min	°	lx	lx	lx	lx
7.95	08:33 AM	30.50	213	258	10,490	10,509
9.95	10:33 AM	58.53	1,011	1,135	740	737

Otra diferencia de la iluminancia calculada por la simulación a comparación de la iluminancia medida en escala real (en los puntos de medición con visión del cielo y fuera del momento en donde, estos, tienen incidencia de rayos solares), se presenta en los puntos de medición más profundos del salón. La diferencia porcentual en los puntos de medición al fondo del espacio es más alta que la de los puntos de medición al frente del salón (Ver tabla: Tabla 11.9 resumen con las diferencias porcentuales de la iluminancia horizontal global medida y calculada, el día 14 de abril de 2008). Por lo que se piensa que la reflectancia de los materiales dentro del modelo en computadora debe de ser más exacta (con instrumentación adecuada para obtener datos medidos in situ) y, que el programa en computadora, no es preciso cuando calcula el componente de la luz reflejada al interior del espacio.

Tabla 11.9 resumen con las diferencias porcentuales de la iluminancia horizontal global medida y calculada, el día 14 de abril de 2008

	Diferencia Salón principal y simulación en computadora					
	ven.A.1.s.	ven.A.2.s.	ven.A.3.s.	ven.B.1.s	ven.B.2.s	ven.B.3.s
	A1.s.c	A2.s.c	A3.s.c	B1.s.c	B2.s.c	B3.s.c
Promedio del día astronómico	66%	69%	87%	65%	73%	85%

Respecto de los valores lumínicos de la iluminancia medida en el modelo a escala, estos son más parecidos a los valores de la iluminancia medida en escala real (que los valores de la iluminancia calculada), a las 8:33 horas, (bajo la incidencia de rayos solares en los puntos de medición con visión del cielo y sin visión del cielo). Posteriormente, a las 10:33 a.m., a las 12:33 a.m., a las 14:33 p.m. y a las 16:33 p.m., los valores de la iluminancia medidos en el modelo a escala (en los puntos de medición con visión del cielo) son significativamente más altos que los valores de la iluminancia medida en escala real. Los valores de la iluminancia medida dentro del modelo a escala (de los puntos de medición más lejanos a la ventana) son similares a los valores de la iluminancia calculada, esto refleja que las dos herramientas para el pronóstico de luz natural son más imprecisas entre menos expuesto esté el punto de medición a la luz natural, es decir bajo luz difusa, reflejada de las superficies del interior arquitectónico. (Ver tabla: Tabla 4.9 resumen con las diferencias porcentuales de la iluminancia horizontal global medida en el salón principal y dentro del modelo a escala, 14/04/08)

En los puntos de medición más cercanos a la ventana (fuera de la incidencia de rayos solares en los puntos de medición) la diferencia de la iluminancia medida dentro del modelo a escala es más alta con referencia a la iluminancia calculada en comparación a la iluminancia medida en escala real.

Tabla 4.9 resumen con y las diferencias porcentuales de la iluminancia horizontal global medida en el salón principal y dentro del modelo a escala, 14/04/08

Diferencia Salón principal y modelo a escala				
	ven.A.1.s.	ven.A.3.s.	ven.B.1.s	ven.B.3.s
	ven.A.1.m	ven.A.2.m	ven.B.1.m	ven.B.2.m
Promedio del día astronómico	47%	61%	52%	70%

En los puntos de medición sin visión del cielo y sin incidencia de los rayos solares, a las 10:33 a.m., a las 12:33 a.m., a las 14:33 p.m. y a las 16:33 p.m., la iluminancia medida en el modelo a escala, en la fila 1, muestra valores más altos que la iluminancia medida en escala real, presentando con la profundidad del espacio una línea descendente, mientras que los valores medidos en escala real presentan una curva que se eleva en el punto central y desciende con la profundidad del espacio. Esto es inusual ya que el punto de medición en la fila 1, en la hilera perpendicular al centro de la pared entre las ventanas, recibe menos luz, por su cercanía con la superficie vertical que menos luz natural recibe dentro del espacio de estudio, que el punto de medición en la fila 3 en la misma hilera. Esto sugiere que el punto de medición dentro del modelo a escala recibió más luz posiblemente por el tamaño del sensor de acrílico ubicado en el modelo a escala 1 a 20.

Respecto al análisis cualitativo de la luz natural de las dos herramientas para el pronóstico de la luz natural en el interior arquitectónico de estudio, éste se puede apreciar mejor en la simulación en computadora, ya que la visión de la cámara de video dentro del modelo a escala (precisamente por su escala 1 a 20) es muy reducida y no es posible contemplar visualmente todo el espacio interior del modelo. Aunque dentro del modelo a escala es posible apreciar el cambio de temperatura de color que sufre la luz natural a lo largo del día, cuestión importante para la psicología, respecto al ciclo diurno, de las personas que habitan estos espacios. El cambio de la temperatura de color a lo largo del día no es posible apreciarlo en la simulación en computadora, sin embargo, es posible generar un sin fin de vistas, en las cuales, si es necesario un mejor análisis cualitativo de la luz natural en el interior arquitectónico, se tendrá que recurrir al método de "trazado de rayos". La simulación en computadora también tiene la opción de generar imágenes en RGB, en las cuales los colores RGB de la imagen representan valores lumínicos calculados.

A través de estas gráficas se podría decir que, en general el día de estudio, la simulación en computadora, como una herramienta de pronóstico de la luz natural en la arquitectura, presenta, en momentos específicos, más precisión en el análisis cuantitativo a comparación del modelo a escala, también como una herramienta de pronóstico de la luz natural en la arquitectura. Sin embargo, en promedio del día astronómico, el análisis cuantitativo en el modelo a escala presenta valores más bajos que los valores de la simulación en computadora, respecto a la diferencia porcentual. Aunque, dentro de los diferentes periodos (de las condiciones de cielo, altura solar, incidencia de rayos solares dentro del espacio e influencia de luz global, directa o difusa) a lo largo del día astronómico, el valor más alto o más bajo de la diferencia porcentual del modelo a escala y la simulación en

computadora varía.

Tabla 14 resumen con los promedios de la diferencia porcentual del modelo a escala y la simulación a cada periodo, 14/04/08

Horario		Intervalo	Diferencia Salón principal y Modelo a Escala						Diferencia Salón principal y Simulación en Computadora								
			varA1%	varA2%	varB1%	varB2%	varB3%	varB4%	varA1%	varA2%	varA3%	varB1%	varB2%	varB3%	varB4%		
			varA1m	varA2m	varB1m	varB2m	varB3m	varB4m	A1%	A2%	A3%	B1%	B2%	B3%	B4%		
desde	hasta	Intervalo	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
06:21 AM	07:09 AM	0-10	41	32	28	45	46	31	78	83	81	94	77	87	82	96	83
07:13 AM	08:33 AM	10-31	45	42	52	59	55	39	83	89	96	94	87	95	86	92	84
08:37 AM	10:41 AM	31-61	44	80	85	85	54	83	100	55	81	69	47	82	100	53	84
10:45 AM	12:34 PM	61-80	55	86	90	91	59	90	40	40	81	67	52	82	43	45	84
12:41 PM	02:25 PM	80-61	58	74	88	85	63	81	25	64	82	75	65	82	24	68	84
02:29 PM	04:37 PM	61-31	54	50	88	82	59	72	41	74	90	86	76	89	37	80	87
04:41 PM	06:01 PM	31-10	42	46	65	61	46	53	64	88	96	93	91	95	62	91	85
06:05 PM	06:49 PM	10-0	0	2	0	0	0	0	99	99	99	100	100	98	98	100	100
Promedio del día astronómico			47	61	78	86	52	70	66	69	87	82	70	88	65	73	85

Aunque la simulación en computadora presente, en general en estas gráficas, más precisión en el análisis cuantitativo que las mediciones fotométricas en modelos a escala, es necesario considerar en futuros cálculos que se puede correr el riesgo de que existan errores, tales como el desfase de la incidencia de rayos solares en el interior arquitectónico o la imprecisión en la reflectancia de los materiales, los cuales pasen por desapercibidos (en el caso en donde no exista comparación con mediciones realizadas in situ a una escala real), generando estrategias de diseño de iluminación erróneas para el espacio de estudio.

Ambas herramientas proporcionan información (iluminancia medida y calculada) para conocer la distribución de la luz natural dentro del espacio arquitectónico, a pesar de las grandes diferencias de los valores lumínicos.

El día de estudio ambas herramientas para el pronóstico de la luz natural en la arquitectura, presentan diferencias significativas en el análisis cuantitativo de la luz natural en los interiores arquitectónicos. Las diferencias en valores lumínicos son determinantes para realizar, bajo una condición adecuada de iluminación, una actividad en específico dentro del espacio.

REQUERIMIENTOS DE ILUMINANCIA CON RELACIÓN A LOS VALORES LUMÍNICOS DENTRO DEL ESPACIO DE ESTUDIO (SALÓN PRINCIPAL) Y LAS NORMAS DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL, RESPECTO A LA INCIDENCIA DE LUZ NATURAL EN LOS ESPACIOS INTERIORES

INTRODUCCIÓN

Por un lado, con la información lumínica adquirida por las mediciones fotométricas dentro del espacio a escala real del salón principal, es posible establecer qué actividades se pueden realizar dentro de este espacio, de acuerdo a los requerimientos de iluminancia para una actividad determinada y por qué periodo de tiempo. Por el otro lado, una vez que el modelo en tercera dimensión para la simulación en computadora es calibrado con respecto a las mediciones in situ dentro del salón principal, es posible simular la iluminancia para un espacio con las mismas dimensiones del espacio real (ancho: 5.8m, largo: 8.0 metros y alto: 4.7 metros) pero considerando que el área de ventanas es, como lo indica el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (Ver Anexo 5), mínimo del 17.5% del área del espacio, ésta será entonces de 8.0 m², a comparación del espacio real que tiene una área de ventana de 3.1 m², lo que representa el 6.7% del área del espacio. Esto tiene el fin de conocer si, bajo las normas del Reglamento, el espacio interior contará con la iluminancia requerida y recomendada por Instituciones y el Reglamento mismo, para diversas actividades.

ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

Como se ha demostrado, a través de mediciones fotométricas en modelos a escala, en trabajos académicos realizados dentro del Posgrado de Arquitectura de la UNAM en el campo de Tecnología y en el Seminario de Interacción con el Medio y Tecnologías Bioclimáticas, la norma del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, referente al porcentaje de las ventanas del 17.5% del área del espacio, es ambigua (Temas Selectos de Tecnología, 06-1), ya que no considera variables tales como: el periodo del año, la orientación, el contexto inmediato, materiales del espacio, materiales de la ventana (tipo de vidrio), geometría del espacio. Tampoco especifica qué actividades será posible realizar al interior de estos espacios iluminados a través de ventanas, cuya área será de 17.5% del área del espacio.

Tabla 1. con la iluminancia horizontal promedio del interior del salón principal, el día 14 de abril de 2008, en relación a la iluminancia horizontal exterior y la iluminancia recomendada para diferentes actividades, a cada periodo del día de estudio.

Características del espacio de estudio, salón principal

Ancho = 8 m
 Profundidad = 5.8 m
 Altura = 4.7 m
 Superficie = 46.4 m²
 Superficie de ventana = 4.2 m²

Nubes	Ho		at	exterior	Reco.	PLN necesario	Iluminancia en el interior											
							Puntos de medición con visión del cielo						Puntos de medición sin visión del cielo					
	desde	hasta	1.5 m		3.0 m		4.5 m		1.5 m		3.0 m		4.5 m					
			lx	%	lx	%	lx	%	lx	%	lx	%	lx	%				

1. Habitacional (Lectura en una silla, seria , Sobre un escritorio, seria) ²

1. Oficinas privadas y públicas (Cuando sea preciso apreciar detalles muy finos) ¹

1. Oficinas (Planta abierta de oficinas con VDT intermitente, Oficina privada) ²

contexto	07-13 AM	08-33 AM	10-31	5,410	500	9.2%	197	2.9%	16	0.3%	7	0.1%	7	0.1%	12	0.2%	3	0.1%
Densas	08-37 AM	10-41 AM	31-61	42,010	500	1.2%	1638	3.9%	255	0.6%	33	0.1%	57	0.1%	162	0.2%	30	0.1%
Ligeras	10-45 AM	12-34 PM	61-80	98,420	500	0.5%	893	0.9%	150	0.2%	34	0.0%	56	0.1%	87	0.1%	30	0.0%
Ligeras	12-41 PM	02-25 PM	80-61	89,361	500	0.6%	440	0.5%	196	0.1%	44	0.0%	47	0.1%	79	0.1%	40	0.0%
Densas	02-29 PM	04-37 PM	61-31	35,951	500	1.4%	347	1.0%	85	0.2%	37	0.1%	29	0.1%	62	0.2%	31	0.1%
contexto	04-41 PM	06-01 PM	31-10	5,896	500	8.5%	162	1.7%	17	0.3%	9	0.1%	4	0.1%	10	0.2%	4	0.1%

2. Habitacional (Lectura en una silla, casual, Sobre un escritorio, casual) ²

2. Oficinas privadas y públicas (Cuando sea preciso apreciar detalles medianos) ¹

2. Oficinas (Planta abierta de oficinas con VDT intensivo) ²

2. Dibujo y artes gráficas (Computadora y trabajo sobre papel) ²

contexto	07-13 AM	08-33 AM	10-31	5,410	300	5.5%	197	2.9%	16	0.3%	7	0.1%	7	0.1%	12	0.2%	3	0.1%
Densas	08-37 AM	10-41 AM	31-61	42,010	300	0.7%	1638	3.9%	255	0.6%	33	0.1%	57	0.1%	162	0.2%	30	0.1%
Ligeras	10-45 AM	12-34 PM	61-80	98,420	300	0.3%	893	0.9%	150	0.2%	34	0.0%	56	0.1%	87	0.1%	30	0.0%
Ligeras	12-41 PM	02-25 PM	80-61	89,361	300	0.3%	440	0.5%	196	0.1%	44	0.0%	47	0.1%	79	0.1%	40	0.0%
Densas	02-29 PM	04-37 PM	61-31	35,951	300	0.8%	347	1.0%	85	0.2%	37	0.1%	29	0.1%	62	0.2%	31	0.1%
contexto	04-41 PM	06-01 PM	31-10	5,896	300	5.1%	162	1.7%	17	0.3%	9	0.1%	4	0.1%	10	0.2%	4	0.1%

3. Oficinas privadas y públicas (Cuando sea preciso apreciar detalles toscos o burdos) ¹

contexto	07-13 AM	08-33 AM	10-31	5,410	200	3.7%	197	2.9%	16	0.3%	7	0.1%	7	0.1%	12	0.2%	3	0.1%
Densas	08-37 AM	10-41 AM	31-61	42,010	200	0.5%	1638	3.9%	255	0.6%	33	0.1%	57	0.1%	162	0.2%	30	0.1%
Ligeras	10-45 AM	12-34 PM	61-80	98,420	200	0.2%	893	0.9%	150	0.2%	34	0.0%	56	0.1%	87	0.1%	30	0.0%
Ligeras	12-41 PM	02-25 PM	80-61	89,361	200	0.2%	440	0.5%	106	0.1%	44	0.0%	47	0.1%	79	0.1%	40	0.0%
Densas	02-29 PM	04-37 PM	61-31	35,951	200	0.6%	347	1.0%	85	0.2%	37	0.1%	29	0.1%	62	0.2%	31	0.1%
contexto	04-41 PM	06-01 PM	31-10	5,896	200	3.4%	192	1.7%	17	0.3%	9	0.1%	4	0.1%	10	0.2%	4	0.1%

4. Dibujo y artes gráficas (Estaciones de computadora) ²

contexto	07-13 AM	08-33 AM	10-31	5,410	100	1.8%	107	2.0%	16	0.3%	7	0.1%	7	0.1%	12	0.2%	3	0.1%
Densas	08-37 AM	10-41 AM	31-61	42,010	100	0.2%	1638	3.9%	255	0.6%	33	0.1%	57	0.1%	162	0.2%	30	0.1%
Ligeras	10-45 AM	12-34 PM	61-80	98,420	100	0.1%	893	0.9%	150	0.2%	34	0.0%	56	0.1%	87	0.1%	30	0.0%
Ligeras	12-41 PM	02-25 PM	80-61	89,361	100	0.1%	440	0.5%	106	0.1%	44	0.0%	47	0.1%	79	0.1%	40	0.0%
Densas	02-29 PM	04-37 PM	61-31	35,951	100	0.3%	347	1.0%	85	0.2%	37	0.1%	29	0.1%	62	0.2%	31	0.1%
contexto	04-41 PM	06-01 PM	31-10	5,896	100	1.7%	102	1.7%	17	0.3%	9	0.1%	4	0.1%	10	0.2%	4	0.1%

5. Habitacional (Conversación, relajación y entretenimiento) ²

contexto	07-13 AM	08-33 AM	10-31	5,410	30	0.6%	107	2.0%	16	0.3%	7	0.1%	7	0.1%	12	0.2%	3	0.1%
Densas	08-37 AM	10-41 AM	31-61	42,010	30	0.1%	1638	3.9%	255	0.6%	33	0.1%	57	0.1%	102	0.2%	30	0.1%
Ligeras	10-45 AM	12-34 PM	61-80	98,420	30	0.1%	893	0.9%	150	0.2%	34	0.0%	56	0.1%	87	0.1%	30	0.1%
Ligeras	12-41 PM	02-25 PM	80-61	89,361	30	0.1%	440	0.5%	106	0.1%	44	0.0%	47	0.1%	79	0.1%	40	0.1%
Densas	02-29 PM	04-37 PM	61-31	35,951	30	0.1%	347	1.0%	85	0.2%	37	0.1%	29	0.1%	62	0.2%	31	0.1%
contexto	04-41 PM	06-01 PM	31-10	5,896	30	0.5%	102	1.7%	17	0.3%	9	0.1%	4	0.1%	10	0.2%	4	0.1%

¹ Normas Técnicas Complementarias para el Proyecto Arquitectónico, Requisitos mínimos de Iluminación Artificial

² IESNA *Lighting Design Guide* (Guía del diseño de Iluminación)

FLN, el Factor de Luz Natural, se emplea bajo un cielo uniformemente nublado. PLN, el Porcentaje de Luz de Día, en el caso de esta tabla se utiliza para reflejar un porcentaje de la iluminancia horizontal en el interior de la iluminancia horizontal del exterior, ya que el día de estudio presentaba un cielo parcialmente nublado.

Reco.= iluminancia recomendada

ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS DE ILUMINANCIA CON RELACIÓN A LOS VALORES LUMÍNICOS DENTRO DEL ESPACIO DE ESTUDIO (SALÓN PRINCIPAL) Y LAS NORMAS DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL, RESPECTO A LA INCIDENCIA DE LUZ NATURAL EN LOS ESPACIOS INTERIORES.

TABLA 1. CON LA ILUMINANCIA HORIZONTAL PROMEDIO DEL INTERIOR DEL SALÓN PRINCIPAL, EL DÍA 14 DE ABRIL DE 2008, EN RELACIÓN A LA ILUMINANCIA HORIZONTAL EXTERIOR Y LA ILUMINANCIA RECOMENDADA PARA DIFERENTES ACTIVIDADES, A CADA PERIODO DEL DÍA DE ESTUDIO

Con las características actuales del salón principal, el día 14 de abril de 2008 y bajo un cielo parcialmente nublado, la actividad que es posible realizar según recomendaciones y normas lumínicas es: conversación, relajación y entretenimiento, dentro de un uso habitacional. Esta actividad requiere de un valor de iluminancia horizontal de 30 lux y los valores de iluminancia medidos dentro del salón principal están por arriba de este valor, 8 horas del día astronómico (8:37 a.m. a las 4:37 p.m.). Para realizar en todos los periodos del día y en todo el espacio esta actividad, el Porcentaje de Luz Natural (PLN), en donde la iluminancia horizontal del interior es dividida entre la iluminancia horizontal del exterior, mínimo necesario para el periodo con influencia del contexto por la mañana es 0.5% y por la tarde es 0.6%, mientras que para los demás periodos es de 0.1%.

Dentro del espacio actual para realizar la actividad como: dibujo y artes gráficas (estaciones de computadora), la cual requiere 100 lux, sólo se podrán utilizar los primeros 3 metros del espacio en los puntos con visión del cielo y con un horario restringido de 6 horas (de 8:37 a.m. a las 2:25 p.m.). Para realizar en todos los periodos del día y en todo el espacio esta actividad, el valor del Porcentaje de Luz Natural (PLN) mínimo necesario para el periodo con influencia del contexto por la mañana es 1.8% y por la tarde es 1.7%; para el periodo con nubes densas por la mañana es 0.2% y por la tarde es 0.3% y para el periodo de nubes ligeras es 0.1%.

Para realizar una actividad como: oficinas privadas y públicas (cuando sea preciso apreciar detalles toscos o burdos), la cual requiere de 200 lux, dentro del salón principal, sólo se podrán utilizar los primeros 1.50 metros del espacio, en los puntos con visión del cielo y con un horario de 8 horas (de 8:37 a.m. a las 4:37 p.m.). Para realizar en todos los periodos del día y en todo el espacio esta actividad, el valor del Porcentaje de Luz Natural (PLN) mínimo necesario para el periodo con influencia del contexto por la mañana es 3.7% y para la tarde es 3.4%; para el periodo con nubes densas por la mañana es 0.5% y por la tarde es 0.6% y para el periodo de nubes ligeras es 0.2%.

Para realizar una actividad como: habitacional (lectura en una silla, casual, sobre un escritorio, casual), oficinas privadas y públicas (cuando sea preciso apreciar detalles medianos), oficinas (planta abierta de oficinas con VDT intensivo) y dibujo y artes gráficas (computadora y trabajo sobre papel), las cuales requieren de 300 lux, dentro del salón principal, sólo se podrán utilizar los primeros 1.50 metros del espacio, en los puntos con visión del cielo y con un horario de 8 horas (de 8:37 a.m. a las 4:37 p.m.). Para realizar en todos los periodos del día y en todo el espacio esta actividad, el valor del Porcentaje de Luz Natural (PLN) mínimo necesario para el periodo con influencia del contexto por la mañana es 5.5% y por la tarde es 5.1%; para el periodo con nubes densas por la mañana es 0.7% y por la tarde es 0.8% y para el periodo de nubes ligeras es 0.3%.

Para realizar una actividad como: habitacional (lectura en una silla, seria, sobre un escritorio, seria), oficinas privadas y públicas (cuando sea preciso apreciar detalles muy finos), oficinas (planta abierta de oficinas con VDT intermitente, oficina privada), las cuales requieren de 500 lux, sólo se podrán utilizar los primeros 1.50 metros del espacio, en los puntos con visión del cielo y con un horario restringido de 4 horas (de 8:37 a.m. a las 12:34 p.m.). Para realizar en todos los periodos del día y en todo el espacio esta actividad, el valor del Porcentaje de Luz Natural (PLN) mínimo necesario para el periodo con influencia del contexto por la mañana es 9.2% y por la tarde 8.1%; para el periodo con nubes densas por la mañana es 1.2% y para el periodo de nubes ligeras es 0.5%.

Tabla 2. con la iluminancia calculada en un espacio con el 6.7% del área de ventanas, como el espacio real y la con la iluminancia calculada en un espacio con el 17.5% del área de ventana, como lo indica el reglamento. Tsv:13.95, Ho: 02:33 PM, at: 59.97, 14/04/08

En esta tabla se muestra la iluminancia horizontal calculada, por el programa de cómputo Agi32, en un espacio con el 6.7% del área de ventana, a partir del área del espacio, como el espacio real y la iluminancia calculada, en el mismo programa, en un espacio con el 17.5% del área de ventana, a partir del área del espacio, como lo determina el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (Ver Anexo 5).

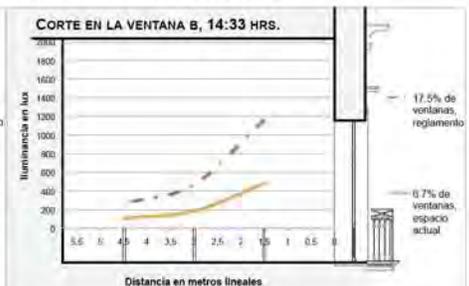
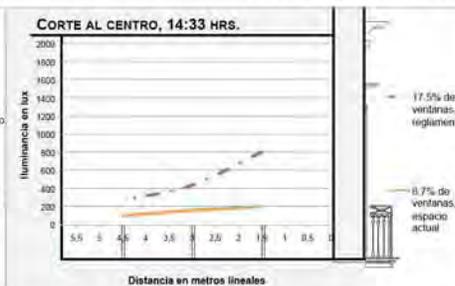
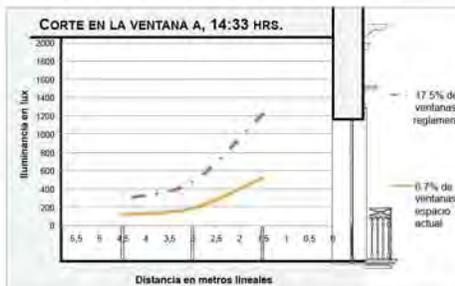
Tabla 2. con la iluminancia calculada en un espacio con el 6.7% del área de ventanas, como el espacio real y la con la iluminancia calculada en un espacio con el 17.5% del área de ventana, como lo indica el reglamento. Tsv:13.95, Ho: 02:33 PM, at: 59.97, 14/04/08.

Puntos de medición	Iluminancia calculada en un espacio con el 6.7% del área de ventanas, como el espacio real			Iluminancia calculada en un espacio con el 17.5% del área de ventanas, como lo indica el Reglamento		
	Ventana A	Ventana B	Centro	Ventana A	Ventana B	Centro
metros	lx	lx	lx	lx	lx	lx
1.5	520	486	202	1224	1167	806
3.0	189	185	160	479	473	434
4.5	114	106	100	281	271	267



imagen: Simulación en computadora, RGB, iluminancia de las 14:33 horas, espacio real con 6.7% de ventanas

imagen: Simulación en computadora, RGB, iluminancia de las 14:33 horas, espacio con 17.5% de ventanas, según el reglamento



Corte, al centro de la ventana A del salón principal (puntos de medición con visión del cielo e incidencia de rayos solares), con la iluminancia calculada en un espacio, con el 6.7% y con el 17.5% del área de ventanas a las 14:33 p.m..

Corte, al centro de la pared entre las dos ventanas del salón principal (puntos de medición con visión del cielo e incidencia de rayos solares), con la iluminancia calculada en un espacio, con el 6.7% y con el 17.5% del área de ventanas a las 14:33 p.m..

Corte, al centro de la ventana B del salón principal (puntos de medición con visión del cielo e incidencia de rayos solares), con la iluminancia calculada en un espacio, con el 6.7% y con el 17.5% del área de ventanas a las 14:33 p.m..

Las gráficas, en esquemas, que representan la iluminancia calculada para un espacio con 6.7% y 17.5% del área de ventana a partir del área del espacio, a las 14:33 horas del día 14 de abril de 2008, muestran que los valores lumínicos de la iluminancia calculada con 17.5% del área de ventana aumentan, en cada punto de cálculo, más del doble a partir de la iluminancia calculada con 6.7% del área de ventana. (Ver imagen: Corte al centro de la ventana A y B y al centro de la pared entre las ventanas, del salón principal; Simulación en computadora, RGB, iluminancia de las 14:33 horas, espacio real con 6.7% de ventanas y Simulación en computadora, RGB, iluminancia de las 14:33 horas, espacio con 17.5% de ventanas, según el Reglamento)

TABLA 3. CON LA ILUMINANCIA CALCULADA EN UN ESPACIO CON EL 6.7% DEL ÁREA DE VENTANAS, COMO EL ESPACIO REAL Y LA CON LA ILUMINANCIA CALCULADA EN UN ESPACIO CON EL 17.5% DEL ÁREA DE VENTANA, COMO LO INDICA EL REGLAMENTO. EN RELACIÓN A LA ILUMINANCIA HORIZONTAL EXTERIOR Y LA ILUMINANCIA RECOMENDADA PARA DIFERENTES ACTIVIDADES, EN UN MOMENTO DEL DÍA 14 DE ABRIL DE 2008 CON TSV:13.95, Ho: 02:33 PM, AT: 59.97

Esta tabla muestra la iluminancia calculada en un espacio con el 6.7% del área de ventana, en relación al área del espacio (como lo presenta el espacio real) y la iluminancia calculada en un espacio con el 17.5% del área de ventana, en relación al área del espacio, porcentaje determinado por las normas del Reglamento de Construcción para el Distrito Federal. Las iluminancias calculadas son comparadas con la iluminancia recomendada o determinada para la realización de ciertas actividades dentro de un espacio, para conocer qué tipo de actividades es posible realizar dentro del espacio real, así como dentro del espacio con la normativa de construcción del Distrito Federal. Cabe aclarar que esta normativa no hace referencia a la actividad a realizar dentro del espacio en relación al porcentaje de apertura de ventanas.

El Porcentaje de Luz Natural (PLN) necesario indica el valor mínimo, en porcentaje, que debe tener cada punto de medición para contar con la iluminancia recomendada o determinada. Si el porcentaje de PLN, de cada punto de medición, esta por debajo del PLN necesario, el punto de medición no contará con la iluminancia recomendada ni determinada.

Aunque los valores de la iluminancia calculada dentro del espacio con una área de ventana de 17.5%, a partir del área del espacio, aumentan en más de la mitad, a partir de los valores de la iluminancia calculada dentro de un espacio que simula el real (a las 14:33 p.m. del día 14 de abril de 2008), existen ciertas actividades que no se pueden llevar a cabo durante todo el día astronómico del día de estudio, ni dentro de todo el espacio.

Por ejemplo, en la tabla se puede apreciar que la actividad que requiere de 30 lux (habitacional: conversación, relajación y entretenimiento) y la actividad que requiere de 100 lux (dibujo y artes gráficas: estaciones de computadora) son las únicas actividades que se pueden realizar, dentro de toda el área de ambos espacios, con aperturas de 6.7% y 17.5%, a las 14:33 p.m.

La diferencia entre la iluminancia calculada dentro de ambos espacios se marca, en la actividad que requiere de 200 lux (oficinas privadas y públicas: cuando sea preciso apreciar detalles toscos o burdos). Es el espacio con aperturas de 17.5% dentro del cual se puede realizar esta actividad en toda el área del espacio. A diferencia del espacio con aperturas de 6.7%, en donde esta actividad se puede realizar en los primeros 1.5 metros de distancia de la pared de la fachada a las 14:33 p.m.

Para realizar una actividad en donde se requiera de 300 lux (habitacional: lectura en una silla, casual, sobre un escritorio, casual, oficinas privadas y públicas: cuando sea preciso apreciar detalles medianos, oficinas: planta abierta de oficinas con VDT intensivo y dibujo y artes gráficas: computadora y trabajo sobre papel), ambos espacios presentan limitantes. En el espacio con 6.7% del área de ventana, se puede realizar esta actividad sólo en los primeros 1.5 metros de distancia de la pared de la fachada, en los puntos con visión del cielo, a las 14:33 p.m.. Dentro del espacio con 17.5% del área de ventana, esta actividad se puede realizar sólo en los primeros 3

Tabla 3. con la iluminancia calculada en un espacio con el 6.7% del área de ventanas, como el espacio real y la con la iluminancia calculada en un espacio con el 17.5% del área de ventana, como lo indica el reglamento. en relación a la iluminancia horizontal exterior y la iluminancia recomendada para diferentes actividades, en un momento del día 14 de abril de 2008 con Tsv:13.95, Ho: 02:33 PM, at: 59.97.

Actividad	Illum. recomendada lx	Illum. exterior lx	espacio m ²	PLN necesario %	ventana m ²	Porcentaje del área de ventanas %	Iluminancia interior, con visión del cielo, promedio						Iluminancia interior, sin visión del cielo					
							1.5	PLN	3.0	PLN	4.5	PLN	1.5	PLN	3.0	PLN	4.5	PLN
							lx	%	lx	%	lx	%	lx	%	lx	%	lx	%
1.	500	86,576	46.4	0.58	3.1	6.7	503	0.6	187	0.2	110	0.1	202	0.2	160	0.2	100	0.1
							1196	1.4	476	0.5	276	0.3	806	0.9	434	0.5	267	0.3
2.	300	86,576	46.4	0.35	3.1	6.7	503	0.6	187	0.2	110	0.1	202	0.2	160	0.2	100	0.1
							1196	1.4	476	0.5	276	0.3	806	0.9	434	0.5	267	0.3
3.	200	86,576	46.4	0.23	3.1	6.7	503	0.6	187	0.2	110	0.1	202	0.2	160	0.2	100	0.1
							1196	1.4	476	0.5	276	0.3	806	0.9	434	0.5	267	0.3
4.	100	86,576	46.4	0.12	3.1	6.7	503	0.6	187	0.2	110	0.1	202	0.2	160	0.2	100	0.1
							1196	1.4	476	0.5	276	0.3	806	0.9	434	0.5	267	0.3
5.	30	86,576	46.4	0.03	3.1	6.7	503	0.6	187	0.2	110	0.1	202	0.2	160	0.2	100	0.1
							1196	1.4	476	0.5	276	0.3	806	0.9	434	0.5	267	0.3
1. al 5.	Representan las actividades enlistadas en la Tabla con la iluminancia horizontal promedio del interior del salón principal, el día 14 de abril de 2008, en relación a la iluminancia horizontal exterior y la iluminancia recomendada para diferentes actividades, a cada periodo del día de estudio.																	

metros de distancia de la pared de la fachada a las 14:33 p.m..

Para realizar una actividad en donde se requiera de 500 lux (habitacional: lectura en una silla, seria, sobre un escritorio, seria, oficinas privadas y públicas: cuando sea preciso apreciar detalles muy finos, oficinas: planta abierta de oficinas con VDT intermitente, oficina privada), ambos espacios presentan aún más limitantes. En el espacio con 6.7% del área de ventana, se puede realizar esta actividad sólo en los primeros 1.5 metros de distancia de la pared de la fachada, en los puntos con visión del cielo, a las 14:33 p.m.. Dentro del espacio con 17.5% del área de ventana, esta actividad se puede realizar también sólo en los primeros 1.5 metros de distancia de la pared de la fachada a las 14:33 p.m..

En este último punto se observa que al tener más área de ventana (del 17.5%), los puntos de medición sin visión del cielo en la primera fila, la más cercana a la pared de las ventanas, tendrán más incidencia de luz natural. Sin embargo, los puntos de medición, con y sin visión del cielo, de la última fila, aunque reciben más iluminancia que el espacio real, ésta no es suficiente para realizar actividades que requieran más de 200 lux.

CONCLUSIONES

En el día de estudio y bajo las condiciones de cielo reales de un día con cielo parcialmente nublado, los resultados de la iluminancia promedio, a cada periodo, muestran que, dentro del espacio a escala del salón principal (al Oriente), la única actividad que se puede llevar a cabo, durante todo el día astronómico y dentro de toda el área del espacio (en un plano de trabajo de 75 centímetros), es la actividad que requiere de 30 lux (habitacional: conversación, relajación y entretenimiento). Las demás actividades, las cuales requieren de 100 a 500 lux, tienen limitantes dentro del espacio, respecto al área o zona del espacio, en donde se pueda llevar a cabo ésta actividad y al periodo del día en el cual se pueda realizar esta actividad.

Es posible que por las condiciones del cielo parcialmente nublado, los promedios de la iluminancia, por cada periodo, sean relativamente bajos, ocasionando que la única actividad que se pueda llevar a cabo, dentro de toda el área del espacio y durante todo el día astronómico, sea la que requiere de una iluminancia baja de 30 lux, como: conversación, relajación y entretenimiento en un uso habitacional.

Los resultados de la simulación en computadora bajo condiciones de cielo parcialmente nublado muestran que un espacio, con las características del espacio de estudio, al Oriente, pero con el 17.5% de ventana, en relación al área del espacio, como lo determina el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, no garantiza que toda el área del espacio, en un plano de trabajo de 75 centímetros, reciba la suficiente cantidad de iluminancia para realizar todo tipo de actividades (las cuales requieren de 30 a 500 lux), durante todo el día astronómico del día de estudio, 14 de abril de 2008. Si bien, al tener una área de ventanas más grande (de 3.1 m² (espacio real) en vez de 8.1 m² (espacio según reglamento), la iluminancia calculada, dentro de este espacio, presenta valores de más del doble de la iluminancia calculada con 6.7%, las actividades, las cuales requieren de 300 a 500 lux, tienen limitantes, respecto a la zona del espacio, en donde se pueda llevar a cabo ésta actividad y al periodo del día, durante el cual la iluminancia interior alcance los valores de iluminancia requeridos.

Como ya ha sido mencionado en trabajos académicos, es necesario que el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal considere las diversas y complejas variables que determinan la iluminación natural en un espacio (Temas Selectos de Tecnología, 06-1), no sólo el área de la ventana en relación al área del espacio, la cual es igual en todas sus direcciones. Las normas de iluminación natural deberían establecer la iluminancia dentro de un espacio interior, durante un tiempo determinado, a lo largo del día según la temporada, el clima, la función, las características geométricas y los materiales del espacio.

CONCLUSIONES GENERALES



Si se retoma la siguiente idea, la cual nos guió a través de este trabajo, *para conocer con qué precisión es posible predecir (por medio de fórmulas matemáticas y herramientas de diseño como modelos a escala y simulaciones en computadora) la cantidad de luz natural disponible en un punto en específico, así como los valores lumínicos y la distribución de la luz natural en un espacio urbano y arquitectónico, es necesario contar con el equipo especializado para poder realizar mediciones fotométricas, con cuyos datos se podrán realizar comparaciones y evaluaciones, ya que estos datos proporcionan información lumínica, la cual refleja la variabilidad de la luz natural, contemplando todos los factores que influyen en ésta, se concluye, que dada la variabilidad de la luz natural, el pronóstico de ésta es un tema sumamente complejo y que efectivamente las mediciones fotométricas realizan una lectura lumínica, la cual contempla todos los factores que influyen en la luz natural en el caso y día de estudio, lo cual no hacen, por un lado las fórmulas matemáticas que pronostican la disponibilidad de luz natural, ni las herramientas de diseño para el pronóstico de la luz natural en la arquitectura estudiadas. Por lo cual, afirmamos que en general tanto las fórmulas como las herramientas de diseño no son precisas respecto al análisis cuantitativo de la luz natural en la arquitectura en el caso y día de estudio. Sin embargo, existen algunos momentos en los cuales la precisión es menor o mayor, respecto al análisis cuantitativo y cualitativo, y es lo que retomaremos en los siguientes párrafos, así como algunas conclusiones particulares de cada análisis. También se mencionan algunas sugerencias para poder ser más precisos en el pronóstico de la luz natural.*

Para el pronóstico de la luz natural en un punto urbano es sumamente importante contar, en primera instancia, con la latitud y longitud del punto geográfico de estudio, así como con la información urbana y arquitectónica precisa como la disposición geométrica del espacio urbano, la orientación de la traza urbana, la orientación de las edificaciones, los materiales y las texturas en estos espacios. Debido a que esta información es determinante en los valores lumínicos del punto de estudio, la imprecisión de ésta, en la reproducción en modelos físicos o virtuales, cambia significativamente los valores lumínicos del pronóstico de la luz natural. En este sentido sería interesante hacer mediciones fotométricas de la luz natural constantemente en diversas condiciones urbanas con el fin de tener un promedio de la iluminancia en las diversas situaciones espaciales y conocer la influencia de los distintos asentamientos urbanos en la luz natural. Este trabajo estudia un punto en la zona urbana consolidada, como es el Centro Histórico de la Ciudad de México, con el fin de evaluar las condiciones lumínicas actuales y poder sugerir acciones para las nuevas zonas urbanas de la ciudad, así como para mejorar las ya existentes.

El corte transversal de la calle Isabel La Católica entre Mesones y República del Salvador a la altura del número 67 (edificio de estudio) presenta un Ángulo de Obstrucción de 39° grados, menor de 45° grados, que por lo que indican algunos criterios universales este ángulo debería de garantizar luz natural suficiente, en los

interiores arquitectónicos del edificio de estudio, ubicados sobre esta fachada (ver capítulo 1). Los valores de las mediciones fotométricas in situ el día de estudio indican, a través del análisis del requerimiento de iluminancia que plantea el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF, Arnal y Betancourt, 05) y la Institución IESNA (IESNA, 00), que la única actividad que es posible realizar dentro de toda el área del espacio interior de estudio, durante todo el día astronómico de estudio, es conversación, relajación y entretenimiento en un uso habitacional, la cual requiere de una iluminancia de 30 lux (ver capítulo 7, Tabla 1)

Es importante mencionar que el espacio interior de estudio servía a la casa habitación del siglo XIX (ubicada en el Centro Histórico de la Ciudad de México, cuya latitud es 19.43° Norte y cuya longitud es 99.13° Oeste (ver capítulo 1, imagen: Factores urbanos y arquitectónicos)) como estancia, en la cual se realizaban actividades que coinciden con los requerimientos de iluminancia, tales como conversación y entretenimiento. Se conoce que en este espacio se ubicaba un piano, lo cual indica que en este espacio la incidencia de luz natural de 30 lux era suficiente para llevar a cabo estas actividades que incluían tocar y escuchar la música del piano. Posiblemente, la solución integral de las ventanas, la proporción y la disposición de éstas en el espacio; los materiales de construcción; así como las proporciones del espacio interior (ancho, alto y alto) permitían la habitabilidad del espacio interior respecto de los aspectos lumínicos así como de los aspectos térmicos. Esto quiere decir que la solución integral de la ventana permitía la incidencia de cierta cantidad de luz natural (suficiente para realizar las actividades del espacio en ese entonces), protegiendo al espacio del sobrecalentamiento térmico. El análisis térmico de la estancia de la casa habitación del siglo XIX está siendo desarrollado en otra tesis, la cual está en proceso.

Es importante que los criterios universales sean más precisos, es necesario saber, no sólo si la luz natural es suficiente, sino también el tipo de actividad que es posible desarrollar en el espacio y también se deberían de contemplar otras variables, aparte del Ángulo de Obstrucción, como las características del espacio urbano; las proporciones y la disposición de las ventanas; así como las características del espacio interior arquitectónico.

Para conocer los elementos y algunos factores climáticos y atmosféricos que influyen en la luz natural disponible en el sitio y en la fecha de estudio, así como en la luz natural en la arquitectura, es necesario tener al alcance la información meteorológica y los flujos de radiación, global, directa y difusa del punto geográfico de estudio, para poder realizar un análisis detallado de estos factores. Es crucial contar con esta información y saber hacer una lectura correcta de estos elementos y factores para conocer las condiciones de cielo, lo que por ende nos dará información del tipo de cielo con que contamos para el pronóstico de la luz natural. Si se realiza una incorrecta lectura o un falso pronóstico del tipo de cielo, el pronóstico cuantitativo de la luz natural será por ende impreciso.

En el caso particular de este trabajo, el análisis de algunos elementos y factores climáticos y atmosféricos nos llevaron a las siguientes conclusiones. Se determinó que el día de estudio contaba con un cielo parcialmente nublado sin precipitaciones, con mayor nubosidad en las primeras y últimas horas del día astronómico (datos corroborados por las imágenes generadas por una cámara de video ubicada para monitorear el cielo del día en el sitio de estudio); con una humedad relativa mínima del 30% a las 15.00 horas y con una temperatura diurna máxima de 22°C a las 16.00 horas, como parte del clima templado de la Cuenca de la Ciudad de México. Así mismo, se estableció que el día 14 de abril de 2008 no fue un día representativo de la época de secas del clima de la Ciudad de México, por la presencia de nubes a lo largo del día, como originalmente suponíamos. En este día, la radiación solar sufre una reducción promedio de la radiación del "tope" de la atmósfera al Centro Histórico de un 68%, superior a la de Texcoco (51%) y a la de Ciudad Universitaria (66%) (ver capítulo 2, Tabla 2). La reducción es ocasionada por algunos factores y elementos climáticos influyentes en el Centro históricos de la Ciudad de México y por la densidad de contaminantes en la atmósfera en este punto de la ciudad. Los porcentajes sugieren

que el grado de turbiedad del Centro Histórico de la Ciudad de México es mayor que el de Texcoco y ligeramente mayor al de Ciudad Universitaria, el día de estudio. (Ver capítulo 2, imagen: Elementos y Factores climáticos y atmosféricos de estudio, para el día 14 de abril de 2008)

La precisión en el pronóstico de la luz natural comienza con saber exactamente la posición del Sol desde el punto de vista del observador, así como la incidencia de los rayos solares en la arquitectura (ver capítulo 3). Al analizar y comparar diferentes fórmulas matemáticas para el pronóstico de la posición del Sol, así como de la incidencia de rayos solares dentro de los espacios urbanos y arquitectónicos, observamos que la diferencia entre los resultados no es significativa, ya que la variación entre éstos es de puntos decimales en la mayoría de los casos y, excepcionalmente, de hasta 1 ó 2 unidades. Respecto al tiempo la diferencia, entre las fórmulas matemáticas analizadas es de 1 a 2 minutos (ver capítulo 3, Tabla 5). Sin embargo, sí es de suma importancia conocer las variables como la latitud y la longitud exactas del lugar del estudio, ya que son con estas dos variables con lo que comienza todo el estudio de la geometría solar. Con respecto a la Proyección Estereográfica, esta tiene que ser trazada con mucha exactitud para que los valores que se obtengan de ésta, como lo son: la Altura Solar, el Ángulo Acimutal, el Ángulo Vertical y Horizontal de Sombra y la Longitud de Sombra Vertical sean precisos. Es importante trabajar con los valores exactos de la geometría solar, ya que son estas variables las que se utilizan para el pronóstico de la luz natural disponible para un punto geográfico y un tiempo en específico. Si bien es importante conocer los valores de la geometría solar, más importante aún es saberlos aplicar en la arquitectura. Todo proyecto arquitectónico debería de estar acompañado por un análisis de la geometría solar del sitio de interés, el cual refleje cómo afecta o influye al proyecto urbano y arquitectónico. (Ver capítulo 3, imagen: Factores geográficos, astronómicos y geométricos, para el día 14 de abril de 2008)

Las fórmulas matemáticas para predecir la luz natural disponible para el Centro Histórico de la Ciudad de México para el día 14 de abril de 2008 bajo condiciones de cielo parcialmente nublado, reflejan un promedio de valores lumínicos, los cuales dan una pauta de la luz natural disponible (ver capítulo 4, gráfica: Iluminancia horizontal global, calculada y medida, más la iluminancia fuera de la atmósfera, 14/04/08). La diferencia porcentual de las mediciones fotométricas in situ de los valores lumínicos de las fórmulas matemáticas, en promedio del día astronómico, es del 68% (iluminancia horizontal directa), del 39% (iluminancia horizontal difusa), del 46% (iluminancia horizontal global) y del 65% (iluminancia vertical directa) (ver capítulo 4, Tabla 6). Estos son los resultados para el día de estudio bajo una condición de cielo parcialmente nublado, para tener más datos sería necesario llevar a cabo este análisis con diferentes tipo de cielo como el cielo despejado y el cielo nublado. Como ya se mencionó anteriormente, las fórmulas matemáticas para el pronóstico de la luz natural disponible no toman en cuenta la mayoría de los factores que influyen en la luz natural del sitio de estudio, en este caso podemos observar que no toman en cuenta algunos factores y elementos climáticos y atmosféricos, como pueden ser las características de las nubes y el perfil geográfico de la Ciudad de México, dando como posible resultado que los valores lumínicos de las mediciones fotométricas in situ, en las primeras y últimas horas del día astronómico, son más bajos respecto a los resultados lumínicos de las fórmulas matemáticas.

La disminución de la luz natural dentro del Cañón Urbano (espacio conformado por la vía pública o espacio abierto y el paramento de los edificios que lo delimitan) a partir de la luz natural disponible del cielo libre de obstrucciones, es un punto importante de estudio, ya que es aquí donde las características de los espacios urbanos juegan un papel importante en la luz natural disponible en las fachadas de las edificaciones, la cual será aprovechada en los interiores arquitectónicos. La disminución lumínica promedio del día astronómico en el Cañón Urbano del Centro Histórico de la Ciudad de México, entre las calles de Mesones y República del Salvador, el día de estudio y bajo condiciones de cielo parcialmente nublado, es del 50% en la iluminancia horizontal global y del 41% al 42% en la iluminancia vertical global (ver capítulo 5, Tabla 5). Las características del Cañón Urbano

modifican la luz natural disponible en la fachada del edificio de estudio, enfrentado al Oriente, pero en este caso en particular, no impiden que la fachada del edificio de estudio, en el primer nivel, obtenga suficiente luz natural para ser aprovechada en el espacio interior arquitectónico, que en este caso es el salón principal en el primer piso de la edificación de estudio. Los valores lumínicos horizontales disponibles van de 3 klux a 71 klux por la mañana y de 16 klux a 3 klux por la tarde, mientras que los valores lumínicos verticales van de 1 klux a 24 klux en la mañana y de 8 a 1 klux en la tarde. (Ver capítulo 5, imagen: Disminución de la iluminancia horizontal y vertical global dentro del Cañón Urbano, 14/04/08)

Como se mencionó anteriormente, para conocer la precisión cuantitativa y cualitativa de las herramientas de diseño para el pronóstico de la luz natural se compararon las mediciones fotométricas in situ, bajo condiciones de cielo reales, con las mediciones fotométricas en el modelo a escala (simultáneas) y con los resultados de la simulación en computadora por el programa Agi32.

El modelo a escala (1 a 20), como una herramienta para el pronóstico de la luz natural en espacio interior de interés el día de estudio y bajo condiciones de cielo parcialmente nublado, presenta diferencias porcentuales en promedio, que van del 47% (en el punto de medición, con visión del cielo, el más cercano al centro de la ventana) al 86% (en el punto de medición, sin visión del cielo, el más lejano del muro de las ventanas y al centro de éste) a lo largo del día astronómico, de los valores lumínicos medidos in situ (ver tabla: Tabla 1 resumen con el promedio del día astronómico de la diferencia porcentual del modelo a escala y la simulación en computadora, 14/04/08). Aún con estas diferencias cuantitativas, las mediciones fotométricas en el modelo a escala muestran la distribución de la luz natural al interior del espacio interior de estudio. Las diferencias se le atribuyen, en parte, al tamaño del sensor de acrílico del fotómetro, con referencia al modelo en escala 1 a 20 y a la reflectancia de los materiales del interior del modelo y del contexto, debido a las imprecisiones que pudo haber tenido la construcción del modelo a escala o la falta de detalle en la réplica del espacio real, en parte por falta de equipo especializado para poder tener datos precisos respecto a la reflectancia de los materiales. En el análisis cualitativo de la luz natural en el interior arquitectónico, nos limita la escala del modelo en 1 a 20 ya que con una escala mayor las imágenes fotográficas de este análisis hubieran sido más claras y tendrían una perspectiva más amplia. Pero aún en estas condiciones es posible apreciar la distribución de la luz en el espacio y la temperatura de color de la luz natural.

Aunque la instalación de equipo especializado dentro de un modelo a escala es laborioso y costoso, las mediciones fotométricas, son una herramienta muy útil en el pronóstico de la luz natural para conocer, sino a precisión los valores lumínicos, al menos la distribución de la luz natural en el espacio interior de estudio.

Es importante que las mediciones fotométricas, al comparar espacios a escala real y modelos a escala, pueda prolongarse por varios días, para así poder abarcar distintos tipos de cielo y poder llevar a cabo un análisis en cielo despejado y totalmente nublado, ya que, no se recomienda realizar este tipo de comparaciones bajo un cielo parcialmente nublado por la variabilidad en intensidades lumínicas. Sin embargo, ésta es una de las limitantes al utilizar esta herramienta en donde ésta última depende de las condiciones climáticas y atmosféricas de los días de estudio.

La simulación en computadora es una herramienta para el pronóstico de la luz natural en los interiores y exteriores arquitectónicos. Los valores lumínicos en los interiores arquitectónicos de la simulación carecen de precisión, el día de estudio y bajo condiciones de cielo parcialmente nublado. La diferencia porcentual es del 65% (en el punto de medición, con visión del cielo, el más cercano al centro de la ventana) al 88% (en el punto de medición, sin visión del cielo, el más lejano del muro de las ventanas y al centro de éste) (ver tabla: Tabla 1 resumen con el promedio del día astronómico de la diferencia porcentual del modelo a escala y la simulación en computadora, 14/04/08). La diferencia en los valores lumínicos del pronóstico puede ser determinante en la

cantidad de luz natural necesaria para efectuar una tarea específica dentro del espacio. Los valores lumínicos en los exteriores arquitectónicos calculados por la simulación carecen también de precisión. La diferencia porcentual es del 45% (en la iluminancia horizontal global en azotea) al 64% (en la iluminancia vertical global en la puerta A) (ver capítulo 6, tabla 13).

Por la similitud que existe entre los valores lumínicos calculados por la simulación en computadora y los valores lumínicos calculados manualmente, con las fórmulas matemáticas, de la disponibilidad de luz natural, establecemos que los algoritmos con los que calcula el programa de cómputo Agi32 se basan en las fórmulas matemáticas que proporciona la IESNA para el pronóstico de luz natural. Lo que indica que las simulaciones en computadora, tanto de un interior como de un exterior arquitectónico, sólo dan como resultado cuantitativo lumínico, un promedio, que no refleja totalmente la realidad, en un día con cielo parcialmente nublado, específicamente el día de estudio, 14 de abril de 2008. (Ver capítulo 6, gráfica: Iluminancia horizontal global, comparación de valores medidos in situ, simulación en computadora y cálculos con fórmulas de la IESNA, puntos de medición azotea, 14/04/08)

Así, la simulación en computadora proporciona resultados lumínicos promedio, en unas circunstancias más precisos que en otras. Por ejemplo, la diferencia porcentual de los valores lumínicos, en la comparación, indican que entre menos expuesto este el punto de medición de la luz natural mayor será la diferencia entre los valores lumínicos calculados, por la simulación en computadora, y los medidos in situ (ver capítulo 6, imagen: Comparación de la iluminancia medida y calculada por el programa de cómputo dentro del salón principal, puntos de medición con visión del cielo e incidencia de rayos solares y puntos de medición sin visión y sin la incidencia de rayos solares). Respecto a la luz solar, la simulación en computadora puede tener desfases con respecto a la realidad física, cuando ésta incide en los espacios arquitectónicos (ver capítulo 6, gráfica: Iluminancia horizontal global, comparación de valores en escala real (salón principal) y en el modelo a escala, puntos de medición: fila 1, la más cercana a la ventana, hilera perpendicular a la ventana A y B, 14/04/08)

Para utilizar la simulación en computadora (con el programa de cómputo Agi32) como herramienta para el pronóstico de la luz natural en los interiores arquitectónicos, es importante proporcionar al programa de cómputo toda la información arquitectónica y urbana posible, entre más fiel sea la información en el modelo virtual con respecto al espacio físico, más precisos serán los valores lumínicos calculados. Es sumamente importante atribuirle al modelo virtual los valores exactos de reflectancia de los materiales del interior y del exterior arquitectónico. A esta falta de precisión, le atribuimos en parte la imprecisión arrojada en los valores lumínicos de la simulación en comparación a las mediciones fotométricas in situ.

La comparación de las dos herramientas de diseño, modelos a escala y simulación en computadora con las mediciones fotométricas in situ, muestra que es complicado afirmar en qué periodo del día astronómico los valores de iluminancia dentro del modelo a escala o de la simulación en computadora son más precisos con respecto a los valores lumínicos de las mediciones fotométricas dentro del espacio en escala real (salón principal), ya que son varios los factores que afectan tanto la luz natural disponible en el sitio de estudio, como la luz incidente en la fachada, así como la iluminancia dentro del espacio arquitectónico y no se encontró un patrón claro en el que se pueda afirmar cuál de las dos herramientas es más precisa por periodos (ver tabla: Tabla 1 resumen con el promedio del día astronómico de la diferencia porcentual del modelo a escala y la simulación en computadora, 14/04/08). Sin embargo, los promedios de las diferencias porcentuales de todo el día astronómico muestran que el pronóstico cuantitativo de luz natural en el interior del espacio el día de estudio, del modelo a escala es más preciso que el pronóstico cuantitativo de la simulación en computadora. Aún así, cuando la comparación se lleva a cabo en momentos específicos (ver capítulo 6, esquemas en corte), en general, los valores lumínicos de la simulación en computadora son los que más similitud tienen con respecto a los valores lumínicos de las

mediciones fotométricas en escala real. Ambas herramientas muestran diferencias porcentuales significativas respecto a los valores lumínicos, lo cual es determinante en el pronóstico de la luz natural en los interiores arquitectónicos. La afirmación que predomina en la comparación de ambas herramientas es que entre menos expuesto este el punto de medición a la luz natural mayor será la diferencia entre la iluminancia pronosticada y la medida dentro del espacio en escala real. Esto se debe, posiblemente, a que el modelo a escala y el modelo virtual no reflejan los valores adecuados de reflectancia del espacio en escala real. Como ya se había mencionado anteriormente la precisión al representar adecuadamente los materiales en el modelo a escala y en el modelo virtual respecto a su color, reflectancia y textura, con referencia a los materiales reales, tanto de los espacios interiores como de los exteriores es de suma importancia, ya que los valores lumínicos pronosticados pueden variar por este hecho significativamente.

Tabla 1 resumen con el promedio del día astronómico de la diferencia porcentual del modelo a escala y la simulación en computadora, 14/04/08

		Diferencia Porcentual Salón principal y modelo a escala								
		ven.A.1.s	ven.A.3.s	centro 1.s	centro 3.s	ven.B.1.s	ven.B.3.s			
		ven.A.1.m	ven.A.2.m	centro 1.m	centro 2.m	ven.B.1.m	ven.B.2.m			
Promedio del día astronómico		47%	61%	78%	86%	52%	70%			
		Diferencia Porcentual Salón principal y simulación en computadora								
		ven.A.1.s	ven.A.2.s	ven.A.3.s	centro 1.s	centro 2.s	centro 3.s	ven.B.1.s	ven.B.2.s	ven.B.3.s
		A1.s.c	A2.s.c	A3.s.c	C1.s.c	C2.s.c	C3.s.c	B1.s.c	B2.s.c	B3.s.c
Promedio del día astronómico		66%	69%	87%	82%	70%	88%	65%	73%	85%

El modelo a escala es el que más precisión presenta en cuanto al análisis cualitativo de la luz en comparación con la simulación en computadora. Esto se debe a que en el modelo a escala existe una mejor distribución de la luz (ver capítulo 6, gráfica: Iluminancia horizontal global, comparación de valores en escala real (salón principal) y en el modelo a escala, puntos de medición: fila 1, la más cercana a la ventana, hilera perpendicular a la ventana A y B, 14/04/08) y a que es posible ver el cambio de temperatura de color que sufre la luz natural a lo largo del día (ver capítulo 6, imágenes: Vista de la cámara que monitoreaba el modelo a escala de las 8:33 a las 16.33, cada dos horas). Aunque la simulación en computadora puede generar un sin fin de imágenes, no es posible distinguir el cambio de la temperatura de color de la luz natural, ésta es igual durante todo el día astronómico. Esto nos lleva a pensar que para el pronóstico cualitativo de la luz natural, los cálculos lumínicos en la simulación en computadora tuvieron que haberse realizado con el método de "trazado de rayos" para obtener resultados cualitativos más precisos.

Como ya se mencionó anteriormente la actividad que es posible realizar al interior del espacio interior de estudio, con las condiciones actuales, según los valores de iluminancia recomendados y determinados por la IESNA (IESNA, 00) y por el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF, Arnal y Betancourt, 05) respectivamente, es la que requiere de una iluminancia de 30 lux, para actividades como conversación, relajación y entretenimiento en un uso habitacional (ver capítulo 7, tabla 1) dentro de toda el área del espacio y durante todo el día astronómico el 14 de abril de 2008. Otras actividades, que requieren de valores lumínicos más altos, tienen limitantes, respecto a la zona del espacio, en donde se pueda llevar a cabo y al periodo del día, durante el cual la iluminancia interior alcance los valores de iluminancia requeridos. Posiblemente las condiciones del cielo parcialmente nublado ocasionen que los valores promedio lumínicos dentro del espacio sean bajos. Por lo

tanto, es necesario realizar mediciones fotométricas in situ dentro del espacio bajo otras condiciones de cielo y en diferentes épocas del año.

Aunque la iluminancia del espacio interior de estudio de la casa habitación del siglo XIX el día de estudio es suficiente para realizar actividades como conversación, relajación y entretenimiento (actividades las cuales fueron pensadas para el espacio de estudio en el momento de su construcción), actualmente para realizar otro tipo de actividades, las cuales requieran de valores lumínicos más altos, es indispensable considerar nuevas estrategias para mejorar la iluminación natural dentro del espacio de estudio.

Una de las estrategias es aumentar la iluminancia dentro del espacio interior de estudio, así este espacio podrá ser utilizado para realizar actividades las cuales requieran de valores lumínicos de hasta 500 lux, como en habitacional (lectura en una silla, seria; sobre un escritorio, seria), en oficinas privadas y públicas (cuando sea preciso apreciar detalles muy finos) y en oficinas (planta abierta de oficinas con VDT intermitente y oficina privada) (ver tabla: Tabla 2 con el aumento de la iluminancia en el interior del espacio de estudio para que el espacio pueda ser utilizado actualmente para los requerimiento de iluminancia de 500 lux el día de estudio)

Tabla 2 con el aumento de la iluminancia en el interior del espacio de estudio para que el espacio pueda ser utilizado actualmente para los requerimiento de iluminancia de 500 lux, el día de estudio.

Ho	at	Recomendada	Iluminancia en el interior del espacio de estudio						
			Puntos de medición con visión del cielo			Puntos de medición sin visión del cielo			
			1.5 m	3.0 m	4.5 m	1.5 m	3.0 m	4.5 m	
1. Habitacional (Lectura en una silla, seria , Sobre un escritorio, seria) ²									
1. Oficinas privadas y públicas (Cuando sea preciso apreciar detalles muy finos) ¹									
1. Oficinas (Planta abierta de oficinas con VDT intermitente, Oficina privada) ²									
desde	hasta	°	lx:	Número de veces por la cual es necesario aumentar la iluminancia para tener 500 lux en toda el área, todo el día astronómico.					
07:13 AM	08:33 AM	10-31	500	5	31	71	71	42	167
08:37 AM	10:41 AM	31-61	500	0	2	15	9	5	17
10:45 AM	12:34 PM	61-80	500	1	3	15	9	6	17
12:41 PM	02:25 PM	80-61	500	1	5	11	11	6	13
02:29 PM	04:37 PM	61-31	500	1	6	14	17	8	16
04:41 PM	06:01 PM	31-10	500	5	29	56	125	50	125

¹ Normas Técnicas Complementarias para el Proyecto Arquitectónico, Requisitos mínimos de Iluminación Artificial

² IESNA *Lighting Design Guide* (Guía del diseño de Iluminación)

Cabe mencionar que la edificación de estudio, al ubicarse dentro del Centro Histórico de la Ciudad de México, es un inmueble catalogado como histórico, por lo que cualquier modificación que se realice en éste tiene que ser autorizada por la institución correspondiente, que en este caso es el INAH (Instituto Nacional de Antropología e Historia). Si esta institución no permite modificar la fachada de la edificación ni utilizar una fuente de luz natural alterna para aumentar la incidencia de luz natural en el espacio interior de estudio, este espacio se tendrá que apoyar en la luz eléctrica para obtener los valores lumínicos requeridos (mayores a 30 lux) en toda

el área del espacio. Por lo que es necesario que esta institución evalúe y valore nuevas investigaciones para el mejoramiento de los espacios arquitectónicos, respecto a la iluminación natural. Sería interesante diseñar una fuente de luz natural alterna para el espacio interior de estudio, la cual sea aprobada por el INAH.

Al modificar el área de ventana del espacio al 17.5% (en vez del 6.7% actual), como lo establecen las normas del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF, Amal y Betancourt, 05), dentro de la simulación en computadora, se determina que esta norma no garantiza que toda el área del espacio, en un plano de trabajo de 75 centímetros, reciba la suficiente cantidad de iluminancia para realizar actividades, que requieran de más de 200 lux, durante todo el día astronómico del día de estudio, 14 de abril de 2008. Por lo tanto es necesario que el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal considere las diversas y complejas variables que determinan la iluminación natural en un espacio (Temas Selectos de Tecnología, 06-1), no sólo el área de la ventana en relación al área del espacio, la cual es igual en todas sus orientaciones. Las normas de iluminación natural deberían establecer la iluminancia dentro de un espacio interior, durante un tiempo determinado, a lo largo del día según la temporada, el clima, la actividad a realizar, las características geométricas y los materiales del espacio.

La finalidad de este trabajo se cumplió al conocer la precisión cuantitativa y cualitativa en el pronóstico de la luz natural en el espacio interior de una edificación del siglo XIX en el Centro Histórico de la Ciudad de México. Así mismo, afirmamos, que es necesario contar con el equipo de medición especializado para realizar mediciones fotométricas, las cuales contemplan todos los factores que influyen en la luz natural de estudio. A través de mediciones fotométricas por un periodo significativo de tiempo, el cual contemple distintos tipos de cielo y en diferentes fechas representativas del clima de la Ciudad de México, será posible validar herramientas de diseño para el pronóstico de la luz natural en la arquitectura de la Ciudad de México.

En el caso de este trabajo no se pudieron validar, de forma completa, las herramientas de diseño para el pronóstico de la luz natural en la arquitectura (modelo a escala, 1 a 20 y simulación en computadora en el programa de cómputo Agi32) ya que no se contaba con un registro lumínico anual ni un equipo de medición adecuado, con el cual fuera posible medir la reflectancia de los materiales. Si se contara con este equipo especializado se evitarían las especulaciones por lo que las herramientas de diseño proporcionarían resultados lumínicos más precisos.

Dadas las circunstancias anteriores es indispensable que la Ciudad de México, cómo capital del País, comience a tener un registro de iluminación natural ininterrumpido por un largo periodo de tiempo. Esto puede ser posible a través de un observatorio el cual cuente con equipo de medición especializado para realizar mediciones constantes de diferentes parámetros fundamentales en el análisis de la luz natural para nuestra ciudad.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

G

Absorción. Es la transformación de la energía radiante a una diferente forma de energía por la intervención de la materia (Ander, 03). Todo el flujo incidente es explicado por los procesos de reflexión, transmisión y absorción (IESNA, 00).

Acimut o azimut. Distancia angular medida hacia el Este, desde el Norte geográfico, hasta el punto definido por la intersección con el horizonte del círculo vertical que pasa por un objeto celeste. También es común referirla al Sur geográfico (AOAN, 10)

Albedo. Razón entre la energía luminosa que difunde por reflexión una superficie y la energía incidente (RAE, 11)

Algoritmos. Conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema (RAE, 11).

Altitud o Altura. Distancia angular entre el horizonte y el cuerpo celeste. Se mide a lo largo del gran círculo que pasa por el objeto astronómico y el cenit del lugar. Es positiva cuando el objeto está sobre el horizonte y negativa cuando está por debajo (AOAN, 10).

Ángulo de incidencia. Es el ángulo entre la normal a la superficie y la dirección de la luz incidente (IESNA, 00).

Ángulo de obstrucción. La distancia entre fachadas genera la relación entre el ancho de calle y la altura de la edificación, esta relación determina el Ángulo de Obstrucción $h_0 = \arctan h/d$, en grados (Higueras, 06).

Ángulo diedro. Cada una de las dos porciones del espacio limitadas por dos semiplanos que parten de una misma recta (Real Academia Española, Diccionario de la Lengua Española, Vigésima Segunda Edición).

Ángulo horario. Distancia angular entre el meridiano del lugar y el círculo horario que pasa por el objeto celeste. Se mide en el plano del ecuador celeste (AOAN, 10).

Ángulo sólido. Este ángulo está definido como un cono interceptando una esfera, donde el área de intercepción es igual al cuadrado del radio. Unidad de medida: estereorradián (Sr).

Anuario astronómico. Guía de posiciones de objetos celestes y acontecimientos astronómicos que publica cada año (AOAN, 10).

Calendario Gregoriano. Calendario introducido por el Papa Gregorio XIII en 1582, con el que modificó el calendario Juliano. Consiste en agregar un día en todos los años que sean divisibles por cuatro; a estos se les llaman años bisiestos. Se exceptúan aquellos años seculares, o de final de siglo, que no sean divisibles por cuatrocientos. Los años 1800, 1900 Y 2100 no son años bisiestos, en cambio 1600 y 2000 sí lo son (AOAN, 10).

Calendario Juliano. Año de 365.25 días exactamente; según la tradición, Julio César lo instituyó en el año 45 a.C. y fue modificado por el papa Gregorio XIII en 1582 d.C. (AOAN, 10).

Calendario. Conjunto de normas establecidas para medir el transcurso del tiempo en años, meses y días (AOAN, 10).

Candela. Es la unidad de la intensidad luminosa y es igual a un lumen por estereorradián, 1 candela= 1 lumen/estereorradián (IESNA, 00).

Cañón Urbano. Espacio confinado por las edificaciones y el espacio público (Jáuregui, 07).

Cenit o Zenit. Punto de la esfera celeste que se encuentra exactamente encima del observador (AOAN, 10).

Cielo despejado. Un cielo que esta cubierto por menos del 30% de nubes (Ander, 03).

Cielo nublado. Un cielo que esta cubierto por más del 70% de nubes (Ander, 03). El sol no es visible (IESNA, 00).

Cielo parcialmente nublado. Cielo que tiene cubierto del 30% al 70% con nubes (IESNA, 00).

Coordenadas celestes eclípticas. Latitud y longitud de un punto de la bóveda celeste relativas al plano de la órbita de la Tierra. Pueden ser geocéntricas o heliocéntricas (AOAN, 10).

Coordenadas geográficas. Latitud y longitud de un punto de la superficie terrestre, relativas al centro de la Tierra (AOAN, 10).

Cuenca. Territorio rodeado de alturas (RAE, 11)

Culminación. Paso de un objeto celeste por el meridiano del observador. Punto en el que alcanza la máxima altura en su movimiento diurno (AOAN, 10).

Declinación. Distancia angular en la esfera celeste que se mide desde el ecuador celeste, a lo largo del círculo horario definido por el objeto celeste. Es positiva al Norte y negativa al Sur (AOAN, 10).

Deslumbramiento. Condición visual en la que existe disconfort o la reducción de la habilidad de ver detalles u objetos causado por el inconveniente distribución del rango de luminancia o de extremo contraste (Arias y Ávila, 04).

Día astronómico. Periodo del día con luz natural.

Día juliano. Día Juliano, sistema de numeración sucesiva de días, establecido arbitrariamente para que todas las fechas históricas tengan un número progresivo (AOAN, 10). La numeración comienza el 1 de enero hasta el 31 de diciembre con el número 365, a excepción del año bisiesto en donde el 31 de diciembre tiene el número 366.

Disponibilidad de Luz Natural. Es el flujo luminoso del sol, más la luz del cielo en un determinado lugar, hora, fecha y estado del cielo (IESNA, 00).

Ecuación del tiempo. Diferencia entre los ángulos horarios del Sol verdadero y el Sol medio o ficticio. Diferencia entre el tiempo solar aparente y el tiempo solar medio (AOAN, 10).

Ecuador celeste. Proyección del ecuador de la Tierra, en la bóveda celeste (AOAN, 10).

Ecuador. Gran círculo en la superficie de un cuerpo, que resulta de la intersección de ésta con el plano que pasa por su centro y es perpendicular al eje de rotación del cuerpo (AOAN, 10).

Energía luminosa. Es la parte de la energía de radiación que el ojo humano ve de acuerdo con su sensibilidad espectral (también llamada Curva de Respuesta Fotópica). A la energía luminosa también se le llama luz (Muhlia, 07).

Escala. Tamaño o proporción en que se desarrolla un plan o idea (RAE, 11).

Esfera celeste. Esfera imaginaria donde parecen estar colocados a la misma distancia todos los objetos celestes. En su centro está la Tierra cuyo plano ecuatorial contiene al ecuador terrestre; sus polos son la intersección de la proyección del eje de rotación de la Tierra con dicha esfera (AOAN, 10).

Estaciones. Intervalos del año definidos por el tiempo en que el Sol permanece entre aquellos puntos orbitales caracterizados por los solsticios y equinoccios. Son llamadas Primavera, Verano, Otoño e Invierno. El clima en la Tierra es diferente en cada una de ellas, debido a la inclinación de su eje de rotación respecto del plano de la eclíptica (AOAN, 10).

Excentricidad de una órbita. Para una órbita elíptica, el cociente de la distancia entre los focos y el diámetro mayor de la órbita. Parámetro que especifica la forma de una sección cónica (AOAN, 10).

Factor de Luz de Día. La medición de iluminancia de la luz natural en un punto situado en un plano determinado, expresado como la razón de la iluminancia en un plano determinado en ese punto de la iluminancia exterior en un plano horizontal de un cielo sin obstrucciones (de supuesta o conocida distribución de lumínica) La luz solar es excluida de los valores de iluminancia del interior y del exterior (IESNA, 00).

Flujo luminoso. El flujo luminoso es la cantidad de energía luminosa que emite o recibe un objeto por unidad de tiempo, se mide en lumen, lm. $F=Q/T$ (Muhlia, 07).

Fotometría. Medición de las cantidades referentes a la radiación evaluada de acuerdo a su función espectral luminosa eficiente (Arias y Ávila, 04).

Fotómetro. Es cualquier instrumento usado para medir la intensidad de la luz (RAE, 11). Los fotómetros están adaptados a la sensibilidad luminosa espectral del ojo.

Geocéntrico. Con referencia o perteneciente al centro de la Tierra (AOAN, 10).

Geodesia. Ciencia que trata de la forma y las medidas de la Tierra (AOAN, 10).

Hora en la República Mexicana (Hora Legal en México). La hora legal se adoptó en la República Mexicana el 1 de enero de 1922, actualmente se tienen cuatro husos horarios de referencia, los meridianos 75°, 90°, 105° Y 120° al W. G. El 13 de agosto de 1998 se modificó en México el horario de Verano, decretándose los cuatro husos horarios para la República Mexicana. Los husos horarios en el mundo, son franjas de 15° centradas en el meridiano horario de referencia, el meridiano de Greenwich, Inglaterra se ha definido como el meridiano 0°. Los meridianos se miden a partir del meridiano de Greenwich al Este o al Oeste y se escriben las siglas E.G. y W. G. precediéndolas el valor numérico de la longitud geográfica. También con el propósito de manejar numéricamente, los valores de las longitudes geográficas serán positivos para las longitudes medidas al Este de Greenwich y negativos para los que se determinan al Oeste. Por ejemplo el meridiano 90° W.G. se escribe numéricamente como -90°. Los meridianos horarios hacia el Este o al Oeste son: 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°, 105°, 120°, 135°, 150°, 165°. Al meridiano 180° se le llama Línea Internacional del Tiempo. El tiempo referido al meridiano de Greenwich o simplemente meridiano 0°, es llamado Tiempo Universal. Los husos horarios en que se divide la Tierra son adaptados por los países según sus propias necesidades, esto se puede observar en el mapa de zonas horarias, donde las franjas de los husos horarios son modificadas por accidentes orográficos o hidrográficos o bien por las fronteras entre países vecinos o por límites entre sus propias divisiones políticas. La hora así definida es llamada también hora legal o civil. En algunos países, según sea la época del año, se suele modificar los horarios legales que les corresponden, por horarios llamados de Verano o Invierno, con el propósito de aprovechar mejor la iluminación de la luz solar (AOAN, 10).

Hora local. Hora del reloj o hora oficial.

Horizonte. Plano perpendicular a la línea que va del observador al cenit del lugar. Gran círculo formado por la intersección de la esfera celeste con el plano perpendicular a la línea que une al observador con el cenit del lugar, llamado horizonte astronómico u horizonte del observador (AOAN, 10).

Iluminación natural. El uso intencional de la luz natural como fuente diurna de la iluminación para espacios interiores (IESNA, 00).

Iluminación. Aplicación de la luz en un espacio o su envolvente de acuerdo a cómo puedan ser vistos (Arias y Ávila, 04).

Iluminancia difusa. Iluminancia producida por la luz procedente del cielo, excluyendo la luz solar.

Iluminancia directa. Iluminancia producida por la luz solar, excluyendo a la luz difusa del cielo.

Iluminancia global. Iluminancia producida por la luz natural en una superficie horizontal en la tierra (IESNA, 00). Contempla la iluminancia directa y la difusa.

Iluminancia. Es la densidad puntual de flujo luminoso incidente en una superficie (IESNA, 00).

Intensidad luminosa. Se define como el flujo luminoso por unidad de ángulo sólido. Se mide en candelas, cd. Una candela genera 4pi lúmenes (12.57 lúmenes). $I=F/W= (Q/T)/W$ (Muhlia, 07).

Irradiación. Se define como la densidad de flujo de energía de radiación que emite o recibe un objeto durante un cierto tiempo, dicho en otras palabras, es la integral de la irradiancia a lo largo de un cierto tiempo (J/m^2) (Muhlia, 06).

Irradiancia o densidad de flujo de energía de radiación. Se define como la razón (o tasa) a la cual la energía de radiación es emitida o recibida por un objeto por unidad de tiempo (1 seg.) y por unidad de área ($1m^2$) (W/m^2) (Muhlia, 06).

La Constante Solar o la irradiancia solar extraatmosférica. Es la cantidad de energía radiante que incide en una superficie perpendicular a los rayos solares por unidad de área ($1m^2$) en una unidad de tiempo (1 seg.) a una distancia media tierra-sol fuera de la atmósfera terrestre (Zeevaert, 84)

Latitud celeste. Distancia angular en la esfera celeste medida al norte o al sur del plano de la eclíptica. Se mide a lo largo del gran círculo que pasa por los polos de la eclíptica y el cuerpo celeste (AOAN, 10).

Latitud terrestre. Distancia angular en la Tierra, medida al norte o al sur del ecuador, a lo largo de algún meridiano (AOAN, 10).

Latitud. Distancia que hay desde un punto de la superficie terrestre al Ecuador, contada en grados de meridiano (Real Academia Española, Diccionario de la Lengua Española, Vigésima Segunda Edición).

Longitud (geográfica). Distancia angular medida en el plano del ecuador, al Este o al Oeste del meridiano de Greenwich (AOAN, 10).

Longitud de onda. Es la distancia entre dos puntos sucesivos de una onda periódica en la dirección de propagación, en donde la oscilación tiene la misma fase. Se mide en micrómetros (mm, $10^{-6}m$), en nanómetros (nm, $10^{-9}m$) y en ångstrom (Å, $10^{-10}m$) (IESNA, 00).

Lumen. Es la unidad del flujo luminoso. Es igual al flujo emitido por una unidad de ángulo sólido (estereorradián) de una fuente puntual uniforme de 1 candela (IESNA, 00).

Luminancia o brillantez fotométrica. Es la intensidad luminosa de cualquier superficie en una dirección dada por unidad de área proyectada de la superficie vista desde esa dirección (IESNA, 00), se mide en candela/ m^2 o

candela/cm²:stilb, sb (Muhlia, 06). Es el resultado del nivel de iluminancia y la reflectancia (Phillips, 04).

Lux. Es la unidad de la iluminancia. Es la iluminancia sobre una superficie de un metro cuadrado en un área en la cual hay un flujo distribuido uniformemente de un lumen (IESNA, 00).

Luz difusa. Parte visible de la radiación difusa del cielo (IESNA, 00).

Luz directa. Parte visible de la radiación directa solar (IESNA, 00).

Luz natural. Es la parte visible de la radiación global (IESNA, 00). Es la luz del cielo y del Sol (Ander, 03)

Luz. Energía radiante la cual es capaz de estimular la retina y producir una sensación visual. Es la porción visible del espectro electromagnético, la cual se extiende de 380 a 770 nm (IESNA, 00).

Meridiano. Círculo máximo en la esfera celeste que pasa por los polos y el cenit del observador (AOAN, 10).

Modelo físico. Es la reproducción de un espacio arquitectónico en una escala o proporción distinta a la real.

Nadir. Punto de la esfera celeste diametralmente opuesto al cenit. Dícese de aquel punto, del otro lado de la Tierra, ubicado por debajo de nosotros. Nebulosa. Nube de materia interestelar (AOAN, 10).

Nanómetro. Una unidad de longitud de onda igual a 10⁻⁹ m (IESNA, 00).

Polo norte celeste. Punto de intersección de la proyección del eje de rotación terrestre con la esfera celeste (AOAN, 10).

Potencia de Radiación o Flujo de Energía de Radiación. Se mide en Watts (W), se define como la razón (o tasa) a la cual la energía de radiación la emite o recibe un objeto por unidad de tiempo (Muhlia, 06).

Proyección estereográfica. Es una gráfica que muestra los ángulos solares, estas gráficas son llamadas diagramas del recorrido solar, en representación bidimensional.

Puesta del Sol. Momento en que el limbo superior del Sol desaparece bajo el horizonte del observador (AOAN, 10).

Radiación difusa del cielo. Es el flujo que se esparce en cada volumen elemental de la atmósfera en la dirección del punto del observador (Muhlia, 06).

Radiación solar directa. Es el flujo que proviene directamente del Sol atenuado por absorción y esparcimiento en las diferentes capas de la atmósfera (Muhlia, 06).

Radiación solar global. Es la suma de los flujos de radiación directa y difusa que inciden en una superficie horizontal sobre la superficie terrestre (W/m²) ver: irradiancia o densidad de flujo de energía de radiación (Muhlia, 06).

Radiación solar. Radiación electromagnética del Sol (IESNA, 00).

Radiación. Energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas (Ander, 03).

Radián. Unidad de ángulo plano del Sistema Internacional equivalente a uno cuyo arco tiene igual longitud que el radio. (Símb. *rad*) (RAE, 11).

Radiosidad. Es un procedimiento para el cálculo de la distribución térmica o lumínica dentro de los modelos virtuales. En la reproducción de imágenes virtuales los algoritmos basados en la radiosidad y el “trazado de rayos” son los procesos más importantes para el cálculo de la incidencia de luz dentro de una escena. Todo se basa en la ley de la conservación de la energía: toda la luz que cae en una superficie y la cual no es absorbida por ésta, será reflejada por la misma. El proceso de radiosidad se basa en la afirmación de que todas las superficies son idealmente difusas y/o que todas las fuentes de luz son reflectores que emiten idealmente luz difusa. Idealmente difusa significa que la luz es emitida y/o reflejada uniformemente en todas las direcciones. Al contrario del “trazado de rayos” el cálculo por medio de radiosidad no depende del punto de vista del observador. (Wikipedia, 11)

Razón de cielo. La Razón de Cielo indica el tipo de cielo. Ésta se obtiene al dividir la radiación difusa entre la radiación global, obteniendo una relación no mayor del valor 1. De esta manera si la Razón de Cielo es menor o igual a 0.3 se le clasifica al cielo como despejado, si es mayor a 0.3 y menor a 0.8 se le clasifica como cielo parcialmente nublado y si el valor es mayor a 0.8 hasta 1 se le caracteriza como cielo nublado (IESNA, 00).

Reflectancia. La reflectancia de una superficie o un medio es la razón del flujo reflejado del flujo incidente (IESNA, 00).

Reflexión difusa. La reflexión difusa es la reflexión de la luz de una superficie en donde el rayo de incidencia se refleja en múltiples ángulos. La luz reflejada de una superficie mate es difusa (Szokolay, 80).

Reflexión especular. Si los rayos paralelos incidentes de luz se mantienen paralelos después de su reflexión, la superficie es un espejo plano y se habla de una reflexión especular. La ley básica de esta reflexión es que el ángulo de la reflexión es igual al ángulo de la incidencia (Szokolay, 80). Tipo-espejo, materiales como aluminio pulido y acero inoxidable tienen una reflexión especular (IESNA, 00).

Reflexión. Proceso mediante el cual el flujo incidente es regresado por una superficie o medio, sin cambio de frecuencia de sus componentes monocromáticos (Arias y Ávila, 04).

Salida del Sol. Momento en que el limbo superior del Sol sale por el horizonte del observador (AOAN, 10).

Sensor. Dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente (RAE, 11).

Sol. Estrella más cercana a la Tierra (AOAN, 10).

Solarimetría. También llamada actinometría, es la ciencia y tecnología de la medición de la energía de radiación

en forma de ondas electromagnéticas con longitudes de onda, que cubren la parte del espectro electromagnético llamado espectro actinométrico de radiación (Muhlia, 06).

Solsticio. Uno de dos puntos en los cuales el Sol parece estar en sus puntos Norte y Sur más extremos. Puntos de la eclíptica que están a la máxima distancia del ecuador celeste. En el hemisferio norte, el solsticio de verano ocurre alrededor del 21 de junio y el de invierno cerca del 22 de diciembre aproximadamente. Estas fechas corresponden al día más largo y corto del año, respectivamente (AOAN, 10).

Superficie lambertiana. Es una superficie que emite o refleja luz en concordancia con la ley de del coseno Labertiano. Una superficie lambertiana tiene la misma luminancia independientemente del ángulo de visión (IESNA, 00). Se basa en la reflectancia ideal difusa o de una superficie idealmente mate, en la cual la luminancia se refleja idénticamente en todas las direcciones (Ward Larson, 98, retomado de Ubbelohde y Humann, 98).

Temperatura de Color. Designación del color de luz de una fuente de luz. Es la temperatura a la que un radiador térmico (Radiador de Plank) emite luz de un color comparable. En los radiadores térmicos equivale aproximadamente a la temperatura efectiva del filamento de la lámpara en grados Kelvin (K). Se utiliza para comparar fuentes de luz de espectro continuo (Sirlin, 06).

Tierra. Planeta rocoso del Sistema Solar. Véanse tablas de parámetros físicos y orbitales de planetas, y satélites de los planetas (AOAN, 10).

Tipo de cielo. El tipo de cielo se refiere a la clasificación de cielos por la CIE (Por sus siglas en francés *Commission Internationale de L'Eclairage* (Comisión Internacional de Alumbrado).

Transmitancia. Es la razón de la luz transmitida por el material de la luz incidente (Ander,03).

Trazado de rayos o Ray tracing. En los gráficos de computadora, el "trazado de rayos" es una técnica para generar una imagen recreando la trayectoria de la luz a través de los píxeles en un plano de imagen y simulando los efectos de sus encuentros con los objetos virtuales de la escena. Esta técnica es capaz de producir un alto nivel de realismo visual. El "trazado de rayos" es capaz de simular una gran variedad de efectos ópticos, tales como reflexión y refracción, dispersión entre otras. (Wikipedia, 11)

Unidad astronómica o U.A. Distancia media entre la Tierra y el Sol; 150 millones de kilómetros, aproximadamente (AOAN, 10).

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

LIBROS, MANUALES, NOTAS

Ander, Gregg D., (2003), *Daylighting Performance and Design*, John Wiley and Sons, Estados Unidos de Norte America.

Arias, Silvia y Ávila, David., (2004), *La Iluminación Natural en la Arquitectura (en climas semitemplados)*, Universidad de Guadalajara Coordinación Editorial, México.

Arnal, Simón y Betancourt Max, (1999), *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*, Trillas, México.

Arnal, Simón y Betancourt Max, (2005), *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*, Trillas, México.

Behling, Sophia y Stefan, (2000), *Solar Power*, Prestel, Alemania.

Boubekri, Mohamed, (2008), *Daylighting, Architecture and Health*, Architectural Press, Oxford, Great Britain.

Congresos Internacionales de Arquitectura Moderna CIAM, (1954), *La charte d'Athènes, La Carta de Atenas*, Traducción del francés por Delfina Gálvez de Williams, Colección Documentos del siglo veinte, Editorial Contémpora, Buenos Aires, Argentina.

Grondzik, Walter, Kwok, Alison, Stein, Benjamin y Reynolds, John, (2010), *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*, Chapter 14. *Daylighting Design*, John Wiley and Sons, Estados Unidos de Norte America.

Higueras, Ester, (2006), *Urbanismo Bioclimático*, GG, Barcelona, España.

IESNA, (2000), *The IESNA Lighting Handbook, Ninth Edition, Chapter 9: Daylight*, Estados Unidos de Norte America.

IESNA, The IESNA Daylighting Committee, (1999), *Recommended Practice of Daylighting*, Estados Unidos de Norte America.

Instituto de Astronomía, (2005-2010), *Anuario del Observatorio Astronómico Nacional*, Universidad Nacional Autónoma de México. México

Jáuregui, Ernesto, (1971), *Mesomicroclima de la Ciudad de México*. México, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

LI-COR, (1991), *LI-COR Terrestrial Radiation Sensors, Type SA, Instruction Manual*, Estados Unidos.

McGuiness, William, Stein, Benjamin y Reynolds, John, (2003), *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*, Chapter 18. *Lighting fundamentals* y Chapter 19. *Light sources: Their characteristics and application*, John Wiley and Sons, Estados Unidos de Norte America.

Muhlia, Agustín, (2006), *Notas del Curso: Solarimetría*, XXX Semana Nacional de Energía Solar, del 2 al 6 de Octubre de 2006, Asociación Nacional de Energía Solar, A.C., Veracruz, México.

Rodríguez Viqueira, Manuel, Figueroa, Anibal, Fuentes, Víctor, Gastorena, Gloria, Huerta, Verónica, García, José Roberto, Rodríguez, Fausto, Guerrero, Luis Fernando, (2001), *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*, UAM, México.

Sirlin, Eli, (primera impresión, 2005; reimpresión, 2006), *La luz en teatro, manual de iluminación*, Buenos Aires: Instituto Nacional del Teatro, Argentina.

Szokolay, S.V., (1980), *Environmental Science Handbook for Architects and Builders*, The Construction Press Ltd, USA

Temas Selectos de Tecnología, (2006-1) Interacción con el Medio/Tecnologías Bioclimáticas. Trabajos Académicos, Semestre 2006-1, Mtro. Leonardo Zeevaert Alcántara, Dr. Agustín Muhlia Velázquez, Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura Campo de conocimiento: Tecnología, UNAM, México

Tovar de Teresa, Guillermo, (1990), *The City of Palaces: chronicle of a lost heritage*, Vuelta, México

Tregenza, Peter, y Loe, David, (primera edición, 1998, transferido a edición digital, 2004) *The Design of Lighting*, Spon Press, Gran Bretaña.

Vitruvio, Marco, (1995; 2000), *De Architectura, Los diez libros de Arquitectura*, versión española de José Luis Oliver Domingo, introducción por Delfín Rodríguez Ruiz, Alianza Forma, Madrid, España.

ARTÍCULOS

Atif, M., Love, J., Littlefair, P., (1997), *Daylighting Monitoring Protocols and Procedures for Buildings*, A report of Task 21/ Annex 29, Daylight in Buildings, October 1997, IEA, International Energy Agency.

Bravo N., Ceballos A., Guadarrama C., Valeriano A., (2008), *Dispositivo para Medir el Componente de Luz Difusa en el Sur de la Ciudad de México*, Universidad Nacional Autónoma de México Memorias de la XXXII Semana Nacional de Energía Solar, ed. Asociación Nacional de Energía Solar ANES, Mérida Yucatán. ERE-11, México.

Chaiyakul, Y., (2004), *Estimating Daylight in Urban Streets in Bangkok*, Architectural Science Review, Vol. 47, pp. 121-130.

Cheung, H.D., Chung T.M., (2005), *Calculation of the Vertical Daylight Factor on Window Facades in a Dense Urban Environment*, Architectural Science Review, Vol. 48, pp. 81-92.

Darula, S., Kittler, R., (2002), *CIE General Sky Standard Defining Luminance Distributions*, eSim 2002, Montréal, Canada, disponible en < www.esim.ca/2002/documents/Proceedings/other2.pdf>

Inanici, M.N., (2001), University of Michigan, *Application of the State-of-the-Art Computer Simulation and Visualization in Architectural Lighting Research*, Building Simulation, Seventh International IBPSA Conference, Rio de Janeiro, Brazil, 2001

Jáuregui, E., Luyando, E., (1999), *Global Radiation Attenuation by Air Pollution and its Effects on the Thermal Climate in Mexico City*, International Journal of Climatology. 19:683-694 (1999).

Littlefair, P., (2001), *Daylight, Sunlight and Solar Gain in the Urban Environment*, Solar Energy, Vol. 70 No.3, pp. 177-175, E Isevier Science Ltd, Great Britain.

Love, J.A., Navvab M., (1991), *Daylighting Estimation Under Real Skies: A Comparison of Full-Scale Photometry, Model Photometry, and Computer Simulation*, Journal of the Illuminating Engineering Society, 0(1): 140-156.

Ubbelohde, M.S., Humann, C., (1998), *Comparative Evaluation of Four Daylighting Software Programs*, University of California, Berkeley, CA, USA. disponible en < www.coolshadow.com/downloads/ACEE%20daylighting.pdf>

Zeevaert, L., (1984), *Curso de Actualización en Arquitectura Solar*, Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de Tamaulipas, Asociación Nacional de Energía Solar, ANES, Tamaulipas, México.

Nota: Las citas y referencias de los libros y artículos en inglés fueron traducidos por la autora de esta tesis

SEMINARIOS

Jáuregui, Ernesto, *Climatología Urbana*, Posgrado de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 2007-1.

Zeevaert Leonardo, *Interacción con el Medio*, Posgrado de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, 2006-2.

Zeevaert Leonardo, *Tecnologías Bioclimáticas*, Posgrado de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, 2007-1.

Papamichael, Konstantinos, *Daylighting Performance Simulation through Scale Modeling*, International Light Fair (LFI), 2009.

INTERNET

<<http://www.agi32.com>>, mayo 2010

<http://www.fide.org.mx/consejos_aee/hogar.html>, mayo 2010

<www.tdr.cesca.es/TESIS_UPC/.../TDX...//10Nvm10de17.pdf>, mayo 2010

<<http://www.rae.es/rae.html>>, Real Academia Española, Diccionario de la Lengua Española, Vigésima Segunda Edición, marzo 2011

<<http://www.sxc.hu/>>, 2010

<[http://de.wikipedia.org/wiki/Radiosity_\(Computergrafik\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Radiosity_(Computergrafik))>, marzo 2011

<[http://en.wikipedia.org/wiki/Ray_tracing_\(graphics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Ray_tracing_(graphics))>, marzo 2011

PROGRAMAS DE CÁLCULO

Muhlia, Agustín, (2006), *Calcula el Tsv.*

Muhlia, Agustín, (2006), *Calcula el Tsv_y la hora local de la culminación_2006.*

Muhlia, Agustín, (2006), *Grafsol_xy_y_polar_modificado_2003.*

Muhlia, Agustín, (2006), *Trayectoria_del_Sol_xyz.*

Zeevaert, Leonardo, (2009), *091025-PAGE99, Cálculos de Geometría Solar.*

Zeevaert, Leonardo, (2006), *Información para trazar la Proyección Estereográfica.*

ANEXO. 1 MICROCLIMAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO; LA RADIACIÓN SOLAR Y LA CONSTANTE SOLAR

MICROCLIMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

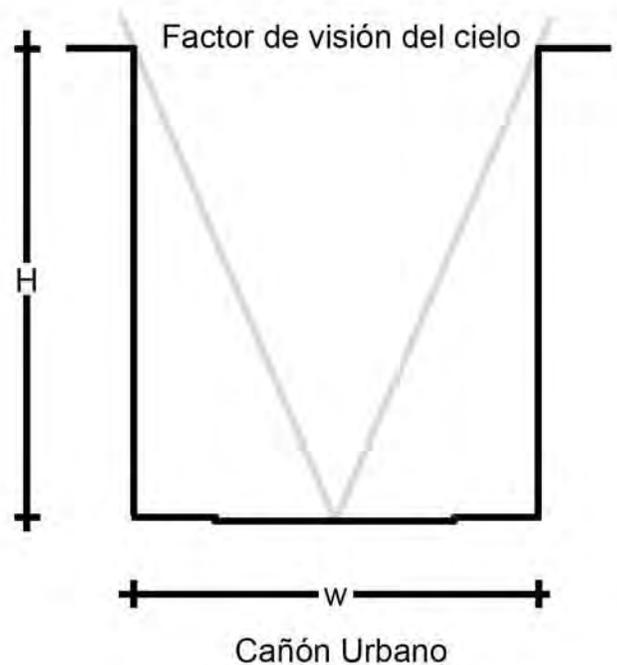
Estudios realizados desde el siglo XIX han detectado el contraste térmico ciudad-campo. A este fenómeno se le conoce como la "Isla de Calor Urbana", el cual se manifiesta cuando las áreas verdes son sustituidas por elementos que componen a la ciudad. Esta sustitución induce un aumento en la temperatura de la urbe con relación a la de la periferia (Jáuregui, 06).

El fenómeno fue documentado a principios del siglo XIX, por el físico inglés Luke Howard, quien analiza el cambio de temperatura ciudad-campo para la ciudad de Londres en el Reino Unido. Para México el primero en analizar este fenómeno fue Manuel Moreno de Anda en 1895, fue quien realizó análisis comparando la temperatura de Palacio Nacional con la temperatura de Tacubaya, que en esos tiempos era una zona rural. La diferencia de temperatura media anual era de 1.5 grados centígrados (Jáuregui, 06).

Las causas del fenómeno son las siguientes: mayor absorción de la radiación de onda corta, a consecuencia



Fotografía con la geometría del Cañón Urbano



Geometría del Cañón Urbano

de la geometría de los "Cañones Urbanos" (término establecido por T.R. Oke en 1982); aumento de la radiación de onda larga desde el cielo por la contaminación atmosférica y la relación de mayor absorción mayor emisión; decrecimiento de la radiación de onda larga, por la geometría de los cañones urbanos y la reducción del factor de visión del cielo FVC; fuentes antropogénicas, como vehículos y edificaciones; aumento del almacenamiento de calor sensible en los materiales de construcción empleados; menor evaporación por los materiales impermeables utilizados en la urbe y menor transporte del calor turbulento de nuevo por la geometría del "Cañón Urbanos" y por la menor intensidad del viento. Estas causas generan un mayor almacenamiento de calor durante el día, por las propiedades térmicas y caloríficas de los materiales de construcción urbanos, y su devolución a la atmósfera durante la noche; la producción de calor antropogénico y una menor pérdida de calor sensible, debido a la reducción de la velocidad del viento. Siendo así la temperatura decrece más lentamente en el contexto urbano que en el campo y la razón de enfriamiento en un ambiente urbano es menor que en un ambiente rural. Este fenómeno genera un microclima urbano y el calentamiento del aire de la ciudad trae diferentes consecuencias como lo son, la elevación de la temperatura y la atenuación de la radiación solar (Jáuregui, 06).

Es un fenómeno que tiene un cambio estacional, éste está presente en tiempo de secas (noviembre-abril), ya que la variable del vapor de agua es determinante para este fenómeno y de largo periodo. En ciudades europeas se ha notado que la "Isla de Calor Urbana" es un fenómeno nocturno, mientras que en las ciudades tropicales este fenómeno se presenta al amanecer y al atardecer. En la tarde tiene influencia el efecto antropogénico entre las 7 y 9 de la noche. Propician el fenómeno las noches despejadas y con aire en calma, características de la estación seca del mesoclima de la Ciudad de México (Jáuregui, 06).

RAZÓN DE ENFRIAMIENTO, ESTACIONES: MINERÍA Y TEXCOCO, PERIODO 7 DE MARZO 2000, 8 DE MARZO 2000 Y 10 DE MARZO 2000

La razón de enfriamiento representa la velocidad con que se enfría el sitio, ya sea el urbano (Minería) o el suburbano (Texcoco). Se entiende que a mayor razón de enfriamiento, mayor velocidad de enfriamiento.

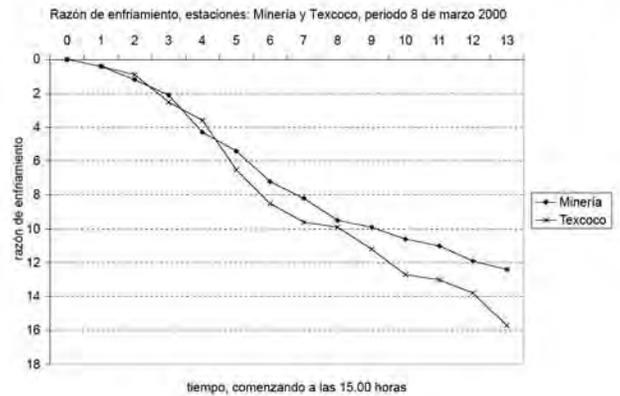
Razón de enfriamiento₁ = T_1 (máxima del día) – T_2 (a la hora siguiente)

Razón de enfriamiento₂ = T_2 – T_3 (a la hora siguiente) + Razón de enfriamiento₁ (la anterior).

La diferencia de rapidez de enfriamiento del mes de marzo del 2000, con datos de las estaciones meteorológicas de Minería y de Texcoco, muestran que existe una diferencia notable en el enfriamiento entre las dos estaciones. La ubicación de las estaciones es de suma importancia para la lectura interpretada de los datos, por lo tanto es indispensable mencionar que la estación de Minería se encuentra en una zona urbana y la estación de Texcoco se ubica en una zona suburbana. Esto da muestra de la presencia del fenómeno de la isla de calor, ya que una de las premisas es que en las zonas urbanas el tiempo de enfriamiento del ambiente es más lento que en zonas suburbanas.

Uno de los factores que influyen en la rapidez de enfriamiento del ambiente en las zonas urbanas son: la geometría del cañón urbano, el albedo de los materiales del cañón, entre otros.

El fenómeno de la isla de calor tiene un impacto negativo en latitudes tropicales por el sobrecalentamiento de las ciudades, como el de la Ciudad de México.



Temperaturas del día 7 de marzo de 2000

hr/día	03/07/00	
	Minería	Texcoco
	C	C
1	14.30	11.30
2	13.80	11.60
3	13.30	11.00
4	13.30	11.20
5	12.90	8.80
6	12.40	8.00
7	11.80	7.10
8	12.60	9.00
9	14.00	11.80
10	15.70	15.30
11	18.00	18.60
12	20.10	20.40
13	21.70	22.00
14	22.70	22.80
15	22.70	22.60
16	22.10	22.30
17	21.90	22.30
18	21.70	21.70
19	19.50	20.10
20	18.60	18.40
21	18.00	17.70
22	17.80	16.70
23	17.40	14.80
24	16.00	13.60

Temperaturas del día 8 de marzo de 2000

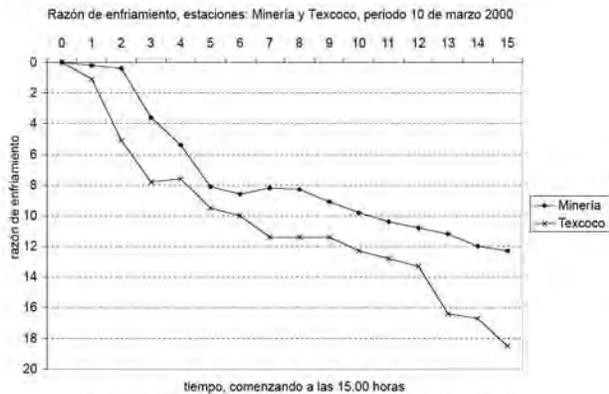
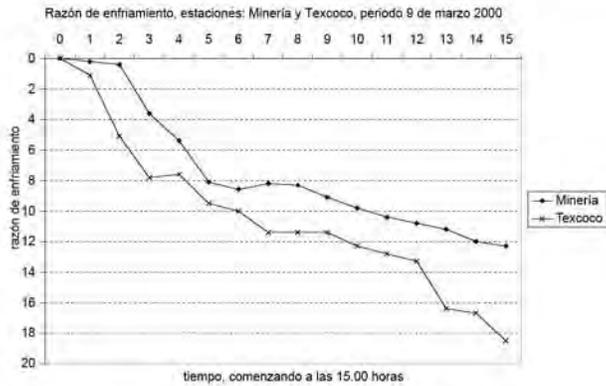
hr/día	03/08/00	
	Minería	Texcoco
	C	C
1	15.20	13.30
2	14.80	11.80
3	14.10	11.50
4	13.70	10.70
5	12.80	8.80
6	12.30	9.10
7	12.00	8.10
8	12.10	7.70
9	14.30	12.20
10	16.50	14.50
11	18.00	16.80
12	19.70	19.50
13	21.40	20.60
14	22.60	22.00
15	23.80	24.20
16	24.40	24.50
17	24.70	24.10
18	24.30	23.60
19	23.50	22.00
20	22.60	20.90
21	20.40	18.00
22	19.30	16.00
23	17.50	14.90
24	16.50	14.60

Razón de enfriamiento del día 7 de marzo de 2000

	03/07/00	
	Minería	Texcoco
0	0	0
1	0.60	0.60
2	0.80	2.20
3	1.00	3.90
4	3.20	4.60
5	4.10	5.60
6	4.70	7.50
7	4.90	8.70
8	5.30	11.00
9	6.70	10.70
10	8.40	11.30
11	8.90	11.10
12	9.40	13.50
13	9.40	14.30
14	9.80	15.20

Razón de enfriamiento del día 8 de marzo de 2000

	03/08/00	
	Minería	Texcoco
0	0	0
1	0.40	0.40
2	1.20	0.90
3	2.10	2.50
4	4.30	3.60
5	5.40	6.50
6	7.20	8.50
7	8.20	9.60
8	9.50	9.90
9	9.90	11.20
10	10.60	12.70
11	11.00	13.00
12	11.90	13.80
13	12.40	15.70
14	12.70	15.40



Temperaturas del día 9 de marzo de 2000

hr/día	03/09/00 Minería C	03/09/00 Texcoco C
1	15.60	13.90
2	15.00	13.00
3	14.60	12.50
4	14.20	12.00
5	13.40	8.90
6	13.10	8.60
7	12.40	6.80
8	13.60	8.50
9	14.90	12.30
10	16.90	15.30
11	19.00	18.90
12	21.50	21.30
13	23.10	22.50
14	24.30	24.30
15	25.40	25.10
16	25.20	25.30
17	25.00	24.20
18	21.80	20.20
19	20.00	17.50
20	17.30	17.70
21	16.80	15.80
22	17.20	15.30
23	17.10	13.90
24	16.30	13.90

Temperaturas del día 10 de marzo de 2000

hr/día	03/10/00 Minería C	03/10/00 Texcoco C
1	15.60	13.90
2	15.00	13.00
3	14.60	12.50
4	14.20	12.00
5	13.40	8.90
6	13.10	8.60
7	12.40	6.80
8	13.60	8.50
9	14.90	12.30
10	16.90	15.30
11	19.00	18.90
12	21.50	21.30
13	23.10	22.50
14	24.30	24.30
15	25.40	25.10
16	25.20	25.30
17	25.00	24.20
18	21.80	20.20
19	20.00	17.50
20	17.30	17.70
21	16.80	15.80
22	17.20	15.30
23	17.10	13.90
24	16.30	13.90

Razón de enfriamiento del día 9 de marzo de 2000

	03/09/00 Minería	03/09/00 Texcoco
0	0	0
1	0.20	1.10
2	0.40	5.10
3	3.60	7.80
4	5.40	7.60
5	8.10	9.50
6	8.60	10.00
7	8.20	11.40
8	8.30	11.40
9	9.10	11.40
10	9.80	12.30
11	10.40	12.80
12	10.80	13.30
13	11.20	16.40
14	12.00	16.70
15	12.30	18.50

Razón de enfriamiento del día 10 de marzo de 2000

	03/10/00 Minería	03/10/00 Texcoco
0	0	0
1	0.20	1.10
2	0.40	5.10
3	3.60	7.80
4	5.40	7.60
5	8.10	9.50
6	8.60	10.00
7	8.20	11.40
8	8.30	11.40
9	9.10	11.40
10	9.80	12.30
11	10.40	12.80
12	10.80	13.30
13	11.20	16.40
14	12.00	16.70
15	12.30	18.50

PROMEDIO DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA LA ESTACIÓN DE CIUDAD UNIVERSITARIA

El promedio de las temperaturas máximas para la estación de C.U., graficada en la imagen, muestra que la temperatura ha ido incrementándose a través de los años. La línea de tendencia muestra que ha aumentado 4°C en 50 años, de 1963 a 2003.



TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO, MENSUAL/ESTACIONAL, PARA MINERÍA Y TEXCOCO

En la siguiente gráfica observamos el comportamiento de los valores de la temperatura mínima promedio, para dos estaciones, con respecto a los meses del año. Las dos estaciones monitoreadas son Minería y Texcoco.

Los resultados de la gráfica hacen evidente el fenómeno de "La Isla de Calor". Observamos que el fenómeno tiene presencia en los meses de secas, ya que se muestra una diferenciación notable del promedio de temperaturas mínimas de Minería con respecto a Texcoco. Existe una diferencia de aproximadamente 4 grados centígrados, para el mes de enero y de 6 grados aprox. para el mes de abril, siendo estos meses del año temporadas de secas en la latitud de la Ciudad de México.

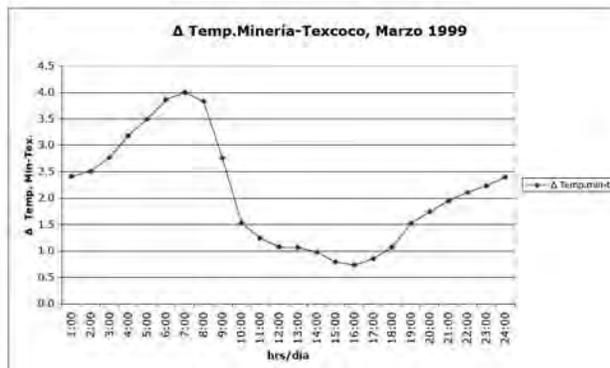
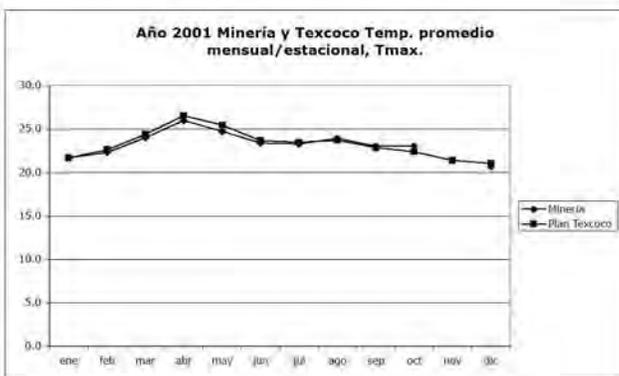
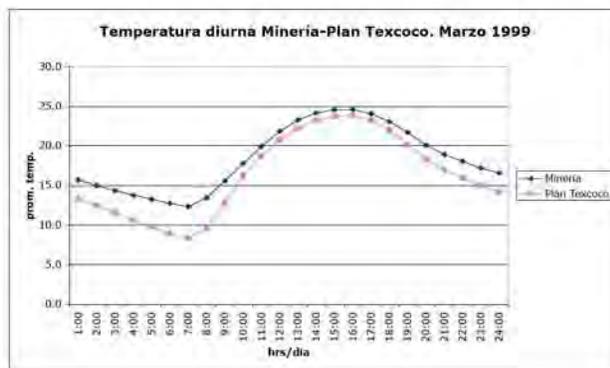
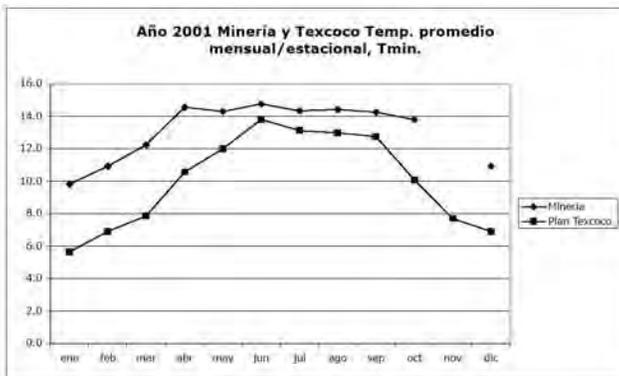
TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO, MENSUAL/ESTACIONAL, PARA MINERÍA Y TEXCOCO

Para el promedio de temperaturas máximas, esta gráfica muestra que no existe mucha diferencia entre una estación y otra. Esto nos indica que el fenómeno de la "Isla de Calor Urbana" tiene lugar a las horas del día donde la temperatura es más baja, antes del amanecer de cada día.

TEMPERATURA PROMEDIO, DIURNA/ESTACIONAL, PARA MINERÍA Y TEXCOCO, MARZO 1999

En esta gráfica se aprecia lo establecido anteriormente. El fenómeno de la "Isla de Calor Urbana" se manifiesta en las primeras horas del día, antes del amanecer o de la incidencia de los rayos solares. Aproximadamente para mayo a las 7.00 a.m. Se toma el mes de marzo ya que este es parte de la temporada de secas del año.

AÑO/MES	PROMEDIO
1963	22.5
1964	23.0
1965	22.9
1966	22.5
1967	22.8
1968	22.5
1969	23.8
1970	23.2
1971	22.8
1972	23.3
1973	23.6
1974	23.1
1975	23.5
1976	22.6
1977	23.2
1978	23.0
1979	23.3
1980	23.4
1981	22.9
1982	24.3
1983	23.9
1984	22.8
1985	23.2
1986	23.5
1987	23.9
1988	24.0
1989	23.8
1990	23.7
1991	24.3
1992	23.2
1993	24.4
1994	24.4
1995	24.3
1996	24.1
1997	24.1
1998	25.2
1999	23.8
2000	24.2
2001	24.0
2002	24.5
2003	24.8



Minería

mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
prom. Tmin	9.8	10.9	12.2	14.6	14.3	14.8	14.3	14.4	14.3	13.8	12.4	10.9
prom. Tmax	21.7	22.3	24.0	26.0	24.7	23.4	23.3	23.9	23.0	23.0	21.8	20.6

Plan Texcoco

mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
prom. Tmin	5.6	6.9	7.9	10.6	12.0	13.8	13.1	13.0	12.8	10.1	7.7	6.9
prom. Tmax	21.7	22.6	24.4	26.6	25.5	23.7	23.5	23.7	22.9	22.4	21.4	21.1

MINERÍA	PLAN TEXCOCO	hr/día	Δ Temp.min-tex		
hr/día	PROMEDIO	hr/día	PROMEDIO		
01:00	15.7	01:00	13.3	01:00	2.4
02:00	15.0	02:00	12.5	02:00	2.5
03:00	14.4	03:00	11.6	03:00	2.8
04:00	13.8	04:00	10.6	04:00	3.2
05:00	13.3	05:00	9.8	05:00	3.5
06:00	12.7	06:00	8.9	06:00	3.9
07:00	12.3	07:00	8.3	07:00	4.0
08:00	13.4	08:00	9.6	08:00	3.8
09:00	15.6	09:00	12.8	09:00	2.8
10:00	17.8	10:00	16.3	10:00	1.5
11:00	19.9	11:00	18.7	11:00	1.2
12:00	21.8	12:00	20.8	12:00	1.1
13:00	23.3	13:00	22.2	13:00	1.1
14:00	24.2	14:00	23.2	14:00	1.0
15:00	24.5	15:00	23.7	15:00	0.8
16:00	24.6	16:00	23.9	16:00	0.7
17:00	24.0	17:00	23.2	17:00	0.9
18:00	23.1	18:00	22.0	18:00	1.1
19:00	21.7	19:00	20.2	19:00	1.5
20:00	20.1	20:00	18.3	20:00	1.7
21:00	18.9	21:00	17.0	21:00	2.0
22:00	18.1	22:00	15.9	22:00	2.1
23:00	17.2	23:00	15.0	23:00	2.2
24:00	16.5	24:00	14.1	24:00	2.4

LA RADIACIÓN SOLAR Y LA CONSTANTE SOLAR

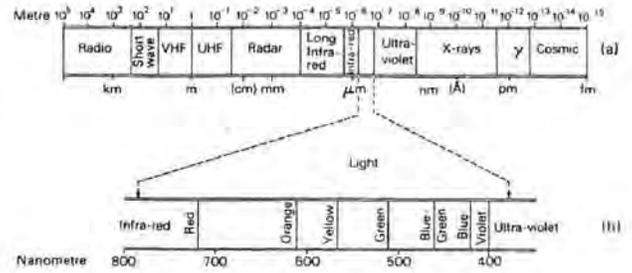
La radiación solar es la energía emitida por el Sol y que se propaga en forma de radiación de ondas electromagnéticas o fotones. Esta energía que llega a la tierra es la más abundante y proviene de una fuente prácticamente única e inagotable. El Sol es una esfera gaseosa que produce una enorme cantidad de energía de radiación y sólo una pequeña parte es interceptada por nuestro planeta (Muhlia, 06).

La solarimetría, es la ciencia y tecnología de la medición de la energía de radiación en forma de ondas electromagnéticas con longitudes de onda, λ , que cubren la parte del espectro electromagnético llamado espectro actinométrico de radiación y que comprende longitudes de onda con valores que van desde $\lambda=0.100 \mu\text{m}$ hasta $\lambda=4.000 \mu\text{m}$, en el espectro están incluidas la radiación ultravioleta C, B, A, la radiación visible y la radiación del infrarrojo cercano. Esta energía de radiación la emite el Sol con una distribución de su densidad de flujo por unidad de longitud de onda (irradiancia espectral), $I_o(\lambda)$. A la distribución de la energía de radiación, según su longitud de onda, se le llama Constante Solar Espectral, y es la energía que llega al "tope" de la atmósfera considerando una distancia al Sol igual a una unidad astronómica (UA) igual a 149.7 millones de kilómetros. La integral de $I_o(\lambda)$ respecto de λ , es la llamada Constante Solar (total) y tiene un valor de 1367 W/m^2 (con una desviación estándar de 1.6 W/m^2), valor adoptado en 1981 por la *Commission for Instruments and Methods of Observation* (CI MO) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (Muhlia, 06).

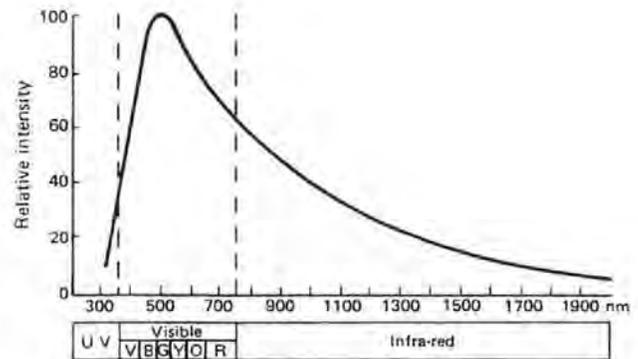
LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL

Anivel de la superficie terrestre deben llegar dos tipos de flujos de onda corta: el flujo que proviene directamente del Sol atenuado por absorción y esparcimiento en las diferentes capas de la atmósfera y el flujo que se esparce en cada volumen elemental de la atmósfera en la dirección del punto de observación. El primero se conoce como radiación solar directa y el segundo como radiación solar difusa (o esparcida). La radiación global se define como la suma de estos dos flujos que inciden en una superficie horizontal sobre la superficie terrestre (Muhlia, 06).

Los instrumentos para medir la radiación solar directa se denominan Pirheliómetros. El parámetro físico (radiométrico) que mide el Pirheliómetro es la densidad de flujo de energía de radiación o irradiancia expresada en unidades de W/m^2 (Muhlia, 06).

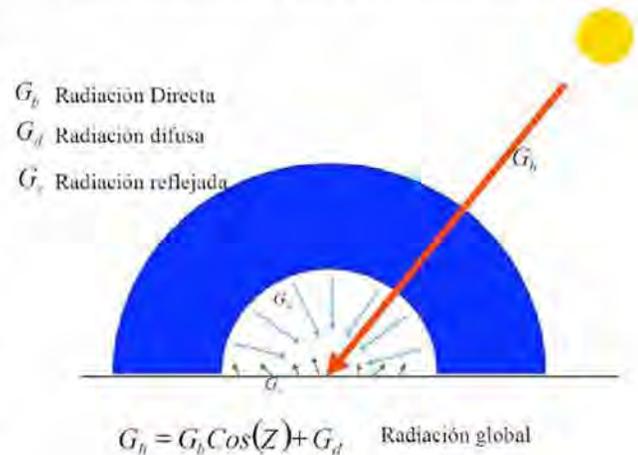


Espectro electromagnético (Szokolay, 80)



Espectro de la radiación solar, (Szokolay, 80)

Las componentes de la radiación solar



Los componentes de la radiación solar (Muhlia, 06)

El Instrumento con el que se mide la radiación global es el llamado Piranómetro, el parámetro físico (radiométrico) que mide es la densidad de flujo de radiación solar global o irradiancia global, expresado en W/m^2 (Muhlia, 06).



Pirheliómetro, marca Kipp and Zonen.



Piranómetro, marca Kipp and Zonen.

ANEXO. 2 TRAZADO DE LA PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA

La Proyección Estereográfica fue trazada en un programa de CAD con los siguientes datos:

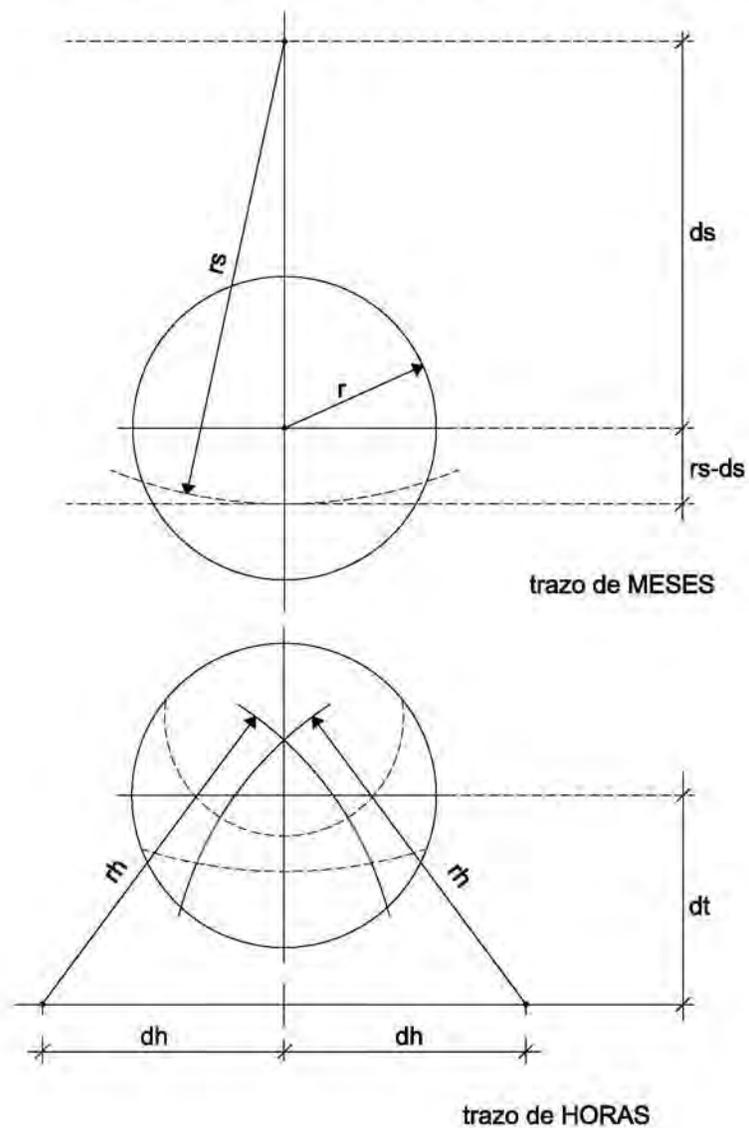


Tabla: de los días seleccionados para el trazo de la proyección estereográfica, para un año bisiesto, como 2008, con la Fórmula 1 de la Declinación y con la latitud del sitio de estudio, Centro Histórico de la Ciudad de México.

día de estudio				equinoccio de primavera y otoño				solsticio de verano e invierno			
Día 14 de abril				Día 21 de marzo				Día 21 de junio			
ϕ =	latitud	19.43	°	ϕ =	latitud	19.43	°	ϕ =	latitud	19.43	°
Mo=	meridiano oficial	90.00	°	Mo=	meridiano oficial	90.00	°	Mo=	meridiano oficial	90.00	°
τ	Diferencia (τ):	9.13	°	τ	Diferencia (τ):	9.18	°	τ	Diferencia (τ):	9.18	°
τ	Diferencia (τ):	36.52	min	τ	Diferencia (τ):	36.73	min	τ	Diferencia (τ):	36.73	min
n=	día juliano	105		n=	día juliano	81		n=	día juliano	173	
B(j)=	constante	0.41		B(j)=	constante	0.00		B(j)=	constante	1.59	
$\delta(j)$ =	declinación	0.161	rad	$\delta(j)$ =	declinación	0.000	rad	$\delta(j)$ =	declinación	0.410	rad
$\delta(j)$ =	declinación en grados	9.206	°	$\delta(j)$ =	declinación en grados	0.000	°	$\delta(j)$ =	declinación en grados	23.498	°
$\varepsilon(j)$ =	ecuación del tiempo	-0.22	min	$\varepsilon(j)$ =	ecuación del tiempo	-7.53	min	$\varepsilon(j)$ =	ecuación del tiempo	-1.71	min
Día 29 de agosto				Día 21 de septiembre				Día 21 de diciembre			
ϕ =	latitud	19.43	°	ϕ =	latitud	19.43	°	ϕ =	latitud	19.43	°
Mo=	meridiano oficial	90.00	°	Mo=	meridiano oficial	90.00	°	Mo=	meridiano oficial	90.00	°
τ	Diferencia (τ):	9.18	°	τ	Diferencia (τ):	9.18	°	τ	Diferencia (τ):	9.18	°
τ	Diferencia (τ):	36.73	min	τ	Diferencia (τ):	36.73	min	τ	Diferencia (τ):	36.73	min
n=	día juliano	242		n=	día juliano	265		n=	día juliano	357	
B(j)=	constante	2.78		B(j)=	constante	3.18		B(j)=	constante	4.76	
$\delta(j)$ =	declinación	0.145	rad	$\delta(j)$ =	declinación	-0.009	rad	$\delta(j)$ =	declinación	-0.410	rad
$\delta(j)$ =	declinación en grados	8.334	°	$\delta(j)$ =	declinación en grados	-0.540	°	$\delta(j)$ =	declinación en grados	8.703	°
$\varepsilon(j)$ =	ecuación del tiempo	-0.04	min								
Día 6 de mayo				Día 4 de febrero				Día 26 de febrero			
ϕ =	latitud	19.43	°	ϕ =	latitud	19.43	°	ϕ =	latitud	19.43	°
n=	día juliano	127		n=	día juliano	35		n=	día juliano	57	
$\delta(j)$ =	declinación	0.288	rad	$\delta(j)$ =	declinación	-0.288	rad	$\delta(j)$ =	declinación	-0.161	rad
$\delta(j)$ =	declinación en grados	16.476	°	$\delta(j)$ =	declinación en grados	-16.476	°	$\delta(j)$ =	declinación en grados	-9.206	°
Día 6 de agosto				Día 6 de noviembre				Día 15 de octubre			
ϕ =	latitud	19.43	°	ϕ =	latitud	19.43	°	ϕ =	latitud	19.43	°
n=	día juliano	219		n=	día juliano	311		n=	día juliano	289	
$\delta(j)$ =	declinación	0.281	rad	$\delta(j)$ =	declinación	-0.294	rad	$\delta(j)$ =	declinación	-0.169	rad
$\delta(j)$ =	declinación en grados	8.703	°	$\delta(j)$ =	declinación en grados	8.703	°	$\delta(j)$ =	declinación en grados	8.703	°

Tabla: con datos para el trazo de la proyección estereográfica.

radio	lat	rad lat	cos lat	sin lat	tan lat					
10	19.43	0.339	0.943	0.333	0.353					
mes	dec	radianes	cos dec	sin dec	r*cos dec	r*cos lat	lat+dec	rs	ds	rs-ds
jun-21	23.50	0.410	0.917	0.399	9.171	9.430	0.731	12.539	12.894	-0.355
may-6/ ago-6	16.48	0.288	0.959	0.284	9.589	9.430	0.616	15.560	15.302	0.258
abr-14/ ago-29	9.21	0.161	0.987	0.160	9.871	9.430	0.493	20.037	19.143	0.895
mar-21/ sep-21	-0.54	-0.009	1.000	-0.009	10.000	9.430	0.323	30.937	29.176	1.761
feb-28/15- oct	-9.21	-0.161	0.987	-0.160	9.871	9.430	0.173	57.169	54.617	2.552
feb-4/ nov-6	-16.5	-0.288	0.959	-0.284	9.589	9.430	0.049	195.564	192.324	3.240
dic-21	-23.5	-0.410	0.917	-0.398	9.172	9.430	-0.066	-139.296	-143.227	3.930
horas	15	radianes	sin	tan	cos sen	cos tan	rh	dh	dt	
1	15	0.262	0.259	0.268	0.244	0.253	40.970	39.574	3.527	
2	30	0.524	0.500	0.577	0.472	0.544	21.208	18.367		
3	45	0.785	0.707	1.000	0.667	0.943	14.996	10.604		
4	60	1.047	0.866	1.732	0.817	1.633	12.244	6.122		
5	75	1.309	0.966	3.732	0.911	3.520	10.978	2.841		
6	90	1.571	1.000	1631.23959196400	0.943	1589.5263039700	10.604	0.000		
							sombra			
	grad	radianes	sin	cos	r ang		tan	rv	dv	grad
	0	0.000	0.000	1.000	10.000		0.000	10.000	0.000	0
	5	0.087	0.087	0.996	9.163		0.087	10.038	0.875	5
	10	0.175	0.174	0.985	8.391		0.176	10.154	1.763	10
	15	0.262	0.259	0.966	7.673		0.268	10.353	2.679	15
	20	0.349	0.342	0.940	7.002		0.364	10.642	3.640	20
	25	0.436	0.423	0.906	6.371		0.466	11.034	4.663	25
	30	0.524	0.500	0.866	5.774		0.577	11.547	5.774	30
	35	0.611	0.574	0.819	5.208		0.700	12.208	7.002	35
	40	0.698	0.643	0.766	4.663		0.839	13.054	8.391	40
	45	0.785	0.707	0.707	4.142		1.000	14.142	10.000	45
	50	0.873	0.766	0.643	3.640		1.192	15.557	11.918	50
	55	0.960	0.819	0.574	3.153		1.428	17.434	14.281	55
	60	1.047	0.866	0.500	2.679		1.732	20.000	17.321	60
	65	1.134	0.906	0.423	2.217		2.145	23.662	21.445	65
	70	1.222	0.940	0.342	1.763		2.747	29.238	27.475	70
	75	1.309	0.966	0.259	1.317		3.732	38.837	37.321	75
	80	1.396	0.985	0.174	0.875		5.671	57.588	56.713	80
	85	1.484	0.996	0.087	0.437		11.430	114.737	114.301	85
	90	1.571	1.000	0.000	0.000					90

ANEXO. 3 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y RECOPIACIÓN DE DATOS

Las mediciones se llevaron a cabo con instrumentos de medición de la marca LI-COR, con la clave: LI-210SA, la cual se refiere a un sensor fotométrico.

Estos sensores fotométricos tienen una corrección del ángulo de incidencia, de tal forma que es posible obtener mediciones precisas desde todos los ángulos del hemisferio. Sin embargo el error, para ángulos debajo de 80° del eje de la normal del sensor, es de $\pm 5\%$. Mientras que para un ángulo de 90° cualquier error es infinito (LI-COR, 91).

El sensor fotométrico fue diseñado para medir iluminancia en términos de lux (1 candela = 10.764 lux). Esta es la radiación como la ve el ojo humano. La respuesta espectral es mostrada en la imagen: Respuesta espectral del LI-210SA (LI-COR, 91).

Aunque las características del ojo humano varían de persona a persona, los estándares de coeficientes de luminosidad para el ojo fueron definidos por CIE.¹ en 1931. La figura de la absoluta sensibilidad fue establecida para el ojo estándar, esta relaciona unidades fotométricas y unidades de fuerza de radiantes. A 5550 angstroms (555 nm) la longitud de onda de la máxima sensibilidad del ojo, un Watt de fuerza de radiante corresponde a 680 lúmenes. (LI-COR, 91).

La longitud de onda de la curva espectral empieza en los 380nm y termina en los 780nm, con una culminación en los 555nm. La sensibilidad del ojo,

¹ Por sus siglas en francés, *Commission Internationale de Eclairage*, Comisión Internacional de Iluminación.



Fotómetro de la LI-COR LI-210SA marca Li-Cor



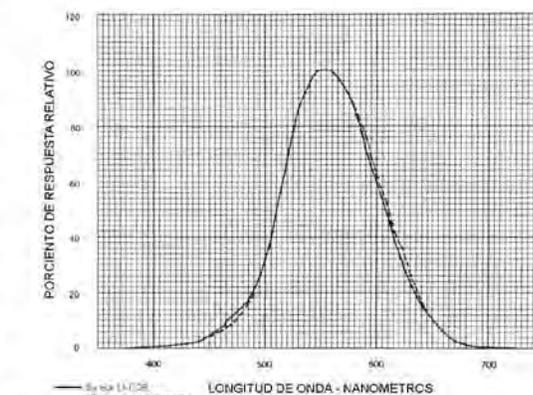
los fotómetros tienen una corrección del ángulo de coseno

ángulo menor a $80^\circ = \pm 5\%$ de error

ángulo de $90^\circ =$ error infinito

Fotómetro de la LI-COR LI-210SA marca Li-Cor, corrección del ángulo del coseno

fuera de los límites de longitud de onda -definidos por la CIE-, es muy baja pero no será cero. Estudios con fuentes infrarrojas intensas han demostrado que el ojo es sensible a la radiación de longitud de onda por lo menos de 10500 angstroms. De acuerdo con Goodeve la sensibilidad ultravioleta del ojo se extiende hasta el rango de 3125 y 3023 angstroms. A bajo de este nivel la absorción de radiación, por las proteínas del lente del ojo, aparentemente limita próximas extensiones de la visión dentro del ultravioleta. La radiación teniendo una longitud de onda de 3023 angstroms es detectada por su efecto fluorescente en la parte frontal del ojo (LI-COR, 91).



Respuesta espectral del LI-210SA (LI-COR, 91)

La respuesta espectral de un típico sensor fotométrico, LI-COR LI-210SA, comparado con la curva del observador de referencia es presentada en la imagen: Respuesta espectral del LI-210SA. En 1976, LI-COR verificó la información de calibración del sensor con el NRC², uno de los principales laboratorios respecto a estándares en el mundo (LI-COR, 91).

Los sensores fotométricos han sido calibrados con una lámpara estándar. La incertidumbre de la calibración es de $\pm 5\%$. Los sensores se calibran usando 683 lumen por watt, como el valor de la eficacia espectral luminosa a una longitud de onda de 555 nm (LI-COR, 91).

Es posible que los sensores sean montados en cualquier ángulo, para su aplicación. Generalmente se posicionan sobre una base que nivela la superficie (LI-COR, 91).

Es necesario mantener limpio el sensor del fotómetro, para mantener la exactitud de su calibrado. La esquina vertical del difusor tiene que mantenerse limpia para mantener la corrección adecuada del coseno (LI-COR, 1991).

La fotometría atiende las mediciones de radiación con referencia al efecto producido por la teóricamente estandarizada CIE del observador. Las mediciones son hechas por comparación visual o por alguna equivalencia de un método fotoeléctrico. Unidades, estándares y sistemas de medición han sido desarrollados para que coincidan con los efectos de observación del ojo (LI-COR, 91).

ESPECIFICACIONES DEL LI-210SA

Calibración absoluta: $\pm 5\%$ trazable al NBS.

Sensibilidad: Típicamente 20 μA por 100 klux.

Linealidad: Máxima desviación de 1% hasta 100 klux.

Estabilidad: $<\pm 2\%$ el cambio en un periodo de un año.

Tiempo de Respuesta: 10 μs .

Dependencia de Temperatura: $\pm 0.15\%$ por $^{\circ}\text{C}$ máximo.

Corrección del Coseno: Corrección del coseno hasta un ángulo de incidencia de 80° .

Acimut: $<\pm 1\%$ error sobre 360° a 45° de elevación.

Inclinación: No hay error inducido por la orientación.

Detector: detector de silicón fotovoltaico con alta estabilidad (azulado mejorado).

Cubierta del Sensor: Cubierta de aluminio anodizado contra agua con un difusor en acrílico y partes físicas del mecanismo de acero inoxidable.

2 Por sus siglas en inglés, *National Research Council of Canada*, Consejo Nacional de Investigación de Canadá.

Tamaño: 2.37 de diámetro x 2.54 cm de altura (0.94" x 1.0").

Peso: 28 g (1 Oz.)

Largo del Cable: 3.0 m (10 ft.)

Accesorios: 2003S accesorio para montaje y nivelación, 2222SB cable de Extensión.

ADQUISIDOR DE DATOS

El aparato que captura las mediciones de los fotómetros, es un adquisidor de datos (*Data Acquisition Switch Unit*) de la marca Hewlett Packard, éste captura la lectura de los fotómetros, a través de canales, los cuales están destinados a cada uno de los fotómetros.

Para el procesamiento de la información se utilizó una computadora junto con un programa que lee y ordena la información de los 38 canales del adquisidor de datos. El programa nos da como resultado la lectura de las mediciones a cada minuto, o según sea programado. El archivo se puede leer en una hoja de cálculo del programa Excel. Con esto podemos procesar los datos y graficar las observaciones de los resultados.



Adquisidor de datos de la marca Hewlett Packard

ANEXO. 4 TABLA CON LA REFLECTANCIA DE LOS MATERIALES APLICADAS AL MODELO DE LA SIMULACIÓN EN COMPUTADORA

Las reflectancias de los materiales, asignadas en Agi32, fueron deducidas por el autor de esta tesis y en algunos casos fueron tomadas de tablas de reflectancia de materiales por diferentes autores.

Tabla con atributos de los elementos para el cálculo de luz natural del Salón Principal							
entity type	object						
entity label	room_1						
component	room						
label							
surfaces	6,7,8,10,16						
number							
removed	no						
type	10-single-sided						
daylight	no						
exterior							
color	RGB	R	217	G	217	B	217
reflect	0.85						
entity type	object						
entity label	room_1						
component	room						
label							
surfaces	1,4,9,11,13,14,15,17						
number							
removed	no						
type	10-single-sided						
daylight	yes						
exterior							
color	RGB	R	217	G	217	B	217
reflect	0.85						
entity type	object						
entity label	room_1						
component	room						
label							
surfaces	2,3,5						
number							
removed	yes						
entity type	object						
entity label	room_1						
component	room						
label							
surfaces	12						
number							
removed	no						
type	10-single-sided						
daylight	no						
exterior							
reflect	0.16						
texture	exotic						
Classification	wood						

		LR	0.25	TB	0.25
entity type	object				
entity label	superficies de azolea_1				
component	superficies de azolea				
label					
surfaces	all				
number					
removed	no				
type	10-single-sided				
daylight	yes				
exterior					
color	RGB	R	217	G	217
reflect	0.65				
entity type	object				
entity label	superficies interiores_1				
component	superficies interiores				
label					
surfaces	all				
number					
removed	no				
type	10-single-sided				
daylight	no				
exterior					
color	RGB	R	217	G	217
reflect	0.65				
entity type	object				
entity label	superficies fachada de estudio_1				
component	superficies fachada de estudio				
label					
surfaces	all				
number					
removed	no				
type	10-single-sided				
daylight	yes				
exterior					
color	RGB	R	217	G	217

reflect	0.85		
entity type	object		
entity label	vigas_1		
component	vigas		
label			
surfaces	all		
number			
removed	no		
type	11-double-sided		
daylight	no		
exterior			
reflect	0.13		
texture	wood82		
Classification	wood		
	stretch		
entity type	object		
entity label	superficies piso		
entity label	puertas_1		
component	superficies piso puertas		
label			
surfaces	all		
number			
removed	no		
type	10-single-sided		
daylight	no		
exterior			
reflect	0.16		
texture	exotic		
Classification	wood		
	fixed size	LR : 0.25	TB : 0.25
entity type	object		
entity label	puertas interior de madea		
entity label	room_1.2.1		
component	puertas interior de madea		
label	room.1.2		
surfaces	all		
number			
removed	no		
type	10-single-sided		
daylight	no		
exterior			
reflect	0.13		
texture	wood82		
Classification	wood		
	stretch	90	grados
entity type	object		
entity label	puertas interior de madera_1.2.1		
component	puertas interior de madera		
label	madera.1.2		
surfaces	all		
number			
removed	no		
type	11-double-sided		
daylight	no		
exterior			
reflect	0.13		
texture	wood82		
Classification	wood		
	stretch	90	grados
entity type	object		
entity label	puertas interior de madea		
entity label	ext.1.2.1		
component	puertas interior de madea		
label	ext.1.2		
surfaces	all, except 52.9		
number			
removed	no		
type	11-double-sided		
daylight	no		
exterior			
reflect	0.13		
texture	wood82		
Classification	wood		
	stretch	90	grados

entity type	object		
entity label	marco puerta h		
entity label	madera_1.14.1		
component	marco puerta h madera		
label	1.14		
surfaces	all		
number			
removed	no		
type	11-double-sided		
daylight	no		
exterior			
reflect	0.13		
texture	wood82		
Classification	wood		
	stretch	90	grados
entity type	object		
entity label	puertas interior de madea		
entity label	ext.1.2		
component	puertas interior de madea		
label	ext.1.2		
surfaces	52.9		
number			
removed	no		
type	11-double-sided		
daylight	yes		
exterior			
reflect	0.13		
texture	wood82		
Classification	wood		
	stretch	90	grados
entity type	object		
entity label	marco de cantera 1.2.1		
component	marco de cantera 1.2		
label			
surfaces	all		
number			
removed	no		
type	11-double-sided		
daylight	yes		
exterior			
reflect	0.28		
texture	rock002		
Classification	rock		
	stretch		
entity type	object		
entity label	vidrio interior 1		
component	vidrio interior		
label			
surfaces	all		
number			
removed	no		
type	20-Daylight Transition Glass (transparent)		
transparency	0.89		Single-Pane Clear
entity type	object		
entity label	puertas PB 1		
component	puertas PB		
label			
surfaces	all		
number			
removed	no		
type	10-single-sided		
daylight	yes		
exterior			
color	RGB	r : 217	g : 217 b : 217

reflect	0.85				
entity type	object				
entity label	puertas PB_1				
component	puertas PB				
label	puertas PB				
surfaces	1,2,7,12				
number	yes				
removed	yes				
entity type	object				
entity label	puertas PB_1				
component	puertas PB				
label	puertas PB				
surfaces	5				
number	no				
removed	no				
type	10-single-sided				
daylight	yes				
exterior	0.85				
reflect	0.85				
texture	panel_t_brown_2_widhts				
Classification	metal				
	fixed size	LR	0.25	TB	0.25
entity type	object				
entity label	puertas PB_1				
component	puertas PB				
label	puertas PB				
surfaces	10				
number	no				
removed	no				
type	10-single-sided				
daylight	yes				
exterior					
reflect					
texture	wood082				
Classification	wood				
	stretch	90	grados	tiling pattern	
entity type	object				
entity label	barandal_1				
component	barandal				
label	barandal				
surfaces	all				
number	no				
removed	no				
type	11-double-sided				
daylight	yes				
exterior	0.18				
reflect	0.18				
texture	metal019				
Classification	metal				
	stretch				
entity type	object				
entity label	cornisas_1				
component	cornisas				
label	cornisas				
surfaces	all				
number	no				
removed	no				
type	11-double-sided				
daylight	yes				
exterior	0.28				
reflect	0.28				
texture	rock002				
Classification	rock				
	stretch				
entity type	object				
entity label	muros casa_1				
component	muros casa				
label	muros casa				
surfaces	all				
number	no				
removed	no				
type	10-single-sided				
daylight	yes				
exterior					
color	RGB	r	119	g	119
				b	119

reflect	0.75				
entity type	object				
entity label	edificios-contexto_1-16_1				
component	edificios-contexto_1-16				
label	edificios-contexto_1-16				
surfaces	all				
number	no				
removed	no				
type	10-single-sided				
daylight	yes				
exterior		r	119	g	119
color	RGB			b	119
reflect	0.75				
entity type	object				
entity label	edificios-contexto_1-16_1				
component	edificios-contexto_1-16				
label	edificios-contexto_1-16				
surfaces	fachadas				
number	yes				
removed	yes				
entity type	object				
entity label	v1d_i-v8d_i_1				
component	v1d_i-v8d_i				
label	v1d_i-v8d_i				
surfaces	all				
number	no				
removed	no				
type	20-Daylight Transition Glass (transparent)				
color	RGB	r	128	g	128
reflect	0.5			b	128
entity type	object				
entity label	e1d_1				
component	e1d				
label	e1d				
surfaces	all				
number	no				
removed	no				
type	10-single-sided				
daylight	yes				
exterior		r	251	g	246
color	RGB			b	216
reflect	0.96				
entity type	object				
entity label	e2d_1				
component	e2d				
label	e2d				
surfaces	all				
number	no				
removed	no				
type	10-single-sided				
daylight	yes				
exterior		r	252	g	205
color	RGB			b	192
reflect	0.84				
entity type	object				
entity label	e3d_1				
component	e3d				
label	e3d				
surfaces	all				
number	no				
removed	no				
type	10-single-sided				
daylight	yes				
exterior		r	217	g	217
color	RGB			b	217
reflect	0.85				
entity type	object				
entity label	e4d_1				
component	e4d				
label	e4d				
surfaces	all				
number	no				
removed	no				
type	10-single-sided				
daylight	yes				
exterior		r	226	g	216
color	RGB			b	197

ANEXO. 5 LEGISLACIÓN RESPECTO A LA LUZ NATURAL

A.5

LEGISLACIÓN

Aunque el empleo de la luz natural en la arquitectura tiene un enorme potencial de ahorro de energía, los esfuerzos tecnológicos se han enfocado en optimizar el uso de energía eléctrica, en vez de abocarse a estudiar la manera de utilizar los recursos naturales tales como la luz natural (Boubekri, 08).

Las normas de luz natural deberían exigir una cierta cantidad de luz natural dentro de las edificaciones por cierta duración de tiempo. A pesar de los programas activos en este tema, tales como el Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental (LEED¹) de la Asamblea de edificios verdes de los Estados Unidos, el Programa Estrella de Energía de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos y otros programas a nivel mundial, los organismos reguladores no han podido establecer normas de luz natural, las cuales sean obligatorias (Boubekri, 04^a, de Boubekri, 08).

Uno de los principales obstáculos para instituir requerimientos de luz natural en las normas de construcción tiene que ver con el tipo de normas de iluminación que se practican actualmente. Estas normas tienden a ser formuladas como normas de consumo de energía o en términos de niveles de luz necesarios para la ejecución visual. Hay un entendimiento implícito de que los niveles recomendados para el rendimiento visual están destinados a ser los niveles promedio mínimo. También están destinados a la iluminación estática en relación sobre todo fuentes de luz artificial. Como tal, no hace referencia explícita a las situaciones de la luz natural, las cuales son de naturaleza dinámicas y cambiantes según el tiempo y las estaciones. Por esto, si las normas de la luz natural deben legislarse, sería necesario dictar una cantidad mínima de iluminación natural (como es el caso de la normativa de los niveles de luz eléctrica), así como la duración de los niveles (Boubekri, 08).

La legislación de luz natural es complicada por muchos problemas, algunos pertenecientes al campo general de la iluminación y otros más específicos de la naturaleza de la luz natural como fuente de iluminación. Evidencia anecdótica sugiere que, debido a las cualidades superiores de la luz natural, se requiere menos luz natural que luz eléctrica para realizar la misma tarea visual. Este fenómeno no se comprende por completo, aunado a este fenómeno tenemos que por la naturaleza misma de la fuente, la estandarización de la luz natural se complica aún más. La luz natural es dinámica, está en constante cambio en términos de intensidad, dirección y propiedades de color, es impredecible y poco fiable. La cantidad de luz natural disponible en el exterior depende de la hora, del lugar y del sitio en específico. Estas cualidades hacen que la exigencia de determinados niveles de luz natural dentro de un espacio interior sea un tema complicado. Aunque ahora es posible predecir los niveles de luz natural de interiores y exteriores a través de predicciones empíricas o simulaciones en computadora, la base

¹ Por sus siglas en inglés *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED)

de datos de la luz natural de estas herramientas se basan en datos históricos recopilados durante un largo periodo de tiempo. Así, los niveles de luz natural calculados, siguen siendo sólo predicciones estadísticas y, por tanto, no puede ser precisos ni está garantizados (Boubekri, 08).

Una breve ojeada de la legislación relativa a la luz natural, muestra que varía de un país a otro. En general, tiende a ser de tres tipos. La primera, y tal vez la más práctica, se refiere a que los edificios tengan acceso a la luz solar. Este tipo de legislación, por lo general se refiere a la Legislación de Zonificación Solar, esta intenta garantizar a los edificios y a sus ocupantes el acceso a la luz solar durante un período de tiempo predeterminado, por lo general mediante el establecimiento de la zonificación local, que estipula la altura de los edificios y sus rematamientos respecto al lineamiento de la propiedad. El segundo tipo de legislación se refiere a la exigencia de sus ventanas y sus tamaños, se encuentra generalmente en las normas de construcción. El tercer tipo se refiere a la cantidad de iluminación en el interior de un espacio (Boubekri, 08).

LEGISLACIÓN DE ZONIFICACIÓN SOLAR

Formalmente los derechos solares, en los Estados Unidos, tienden a ser protegidos a través de la doctrina de las "Luces Antiguas"², que provenía de la Orden del Acta de 1832, una ley británica que impide a un propietario obstaculizar la luz del sol de un propietario colindante, quien habían gozado de la luz solar a través de una ventana durante veinte años ininterrumpidamente. Si un propietario había ganado el derecho a las "Luces Antiguas", el propietario del terreno colindante no podía oscurecerlo mediante la construcción de un nuevo edificio. Si el vecino lo hacía, él o ella podrían ser demandados en virtud de una cláusula de "las molestias". En las últimas cuatro décadas, en muchos países, el acceso a la luz solar se ha convertido en el foco de la discusión política y jurídica, con preocupaciones por los aspectos ambientales en conjunto con la problemática de salud y bienestar de los habitantes (Boubekri, 08).

LEGISLACIÓN BASADA EN EL TAMAÑO Y ORIENTACIÓN DE LAS APERTURAS EN LAS EDIFICACIONES

En general, las normas de construcción establecen que el tamaño de la ventana debe de ser un porcentaje mínimo del área del espacio interior, o excepcionalmente del área de la pared, que contiene a la ventana. En Estados Unidos, en cuyas normas generalmente nos basamos para generar las normas mexicanas, el BOCA³, Administrador del Código Oficial del Edificio especifica lo siguiente:

Cada habitación o espacio interior destinado para uso humano debe tener un área al exterior de acristalamiento de no menor del 8% del área total del espacio interior. Cuando la luz natural para las habitaciones y los espacios sea proporciona a través de un espacio adyacente, la apertura en la pared que separa estos dos espacios no debe ser inferior al 8% del área del espacio interior (BOCA, 1990, retomado de Boubekri, 08).

LEGISLACIÓN SOBRE LA CANTIDAD DE ILUMINACIÓN NATURAL

Los requisitos de iluminancia por lo general son dados en forma de prácticas recomendadas orientadas al nivel mínimo de iluminancia necesaria para desempeñar funciones visuales específicas. BOCA (1990), la organización responsable del código nacional de edificios, acuerda lo siguiente (retomado de Boubekri, 08):

el estándar para la luz natural para todos los cuartos habitables y ocupables se basará en 250 candelas (2691 lux) de iluminancia sobre el plano vertical adyacente a la parte exterior del dispositivo transmisor de luz en la pared del recinto y deberán ser adecuados para proporcionar una iluminancia promedio de 6 candelas (64,58 lux) sobre el área del espacio a una altura de 30 pulgadas (762 mm) por encima del nivel del suelo.

Dichos niveles de iluminación deben ser proveídos en todos los espacios habitables con excepción de los espacios en sótano o en los áticos. Estos niveles pueden ser proporcionados por la luz eléctrica (Boubekri, 08).

El Departamento de Obras Públicas de Canadá, la organización federal responsable de los servicios

2 De la traducción del inglés *Ancient Lights*

3 Por sus siglas en inglés, *Building Official Code Administrator*. (BOCA)

internos del gobierno y la administración, recomiendan un nivel de luz natural promedio de 200 lux a lo largo del perímetro del espacio de oficinas a una profundidad de 3 metros el 80% de las horas de oficina durante un horario regular de 8:00 a.m. a 5:00 p.m. (Archer, 98; Wotton, 98, retomado de Boubekri, 08). Sin embargo, estos son sólo niveles recomendados (Boubekri, 08).

El Factor de Luz Natural (FLN) se define como el porcentaje de la iluminancia horizontal interior en relación con la iluminancia al exterior bajo la condición de cielo nublado, según lo definido por la CIE. La legislación basada en el FLN no se rige por niveles específicos de iluminancia de luz natural en una habitación, debido a que las condiciones exteriores cambian constantemente, sino que se basa en un porcentaje de la luz natural disponible en el exterior y por lo tanto es más práctico que la legislación basada en niveles de iluminancia. Un ejemplo de esta legislación se puede encontrar en pocos países (Boubekri, 08).

Por ejemplo en el Reino Unido, durante la posguerra, el gobierno reglamentó el FLN en un mínimo del 2% en aulas escolares. Esta regulación se eliminó cuando se hizo evidente que no siempre es posible cumplir la meta del 2%, cuando la habitación tiene ventanas de un solo lado. Para lograr el objetivo del 2%, las ventanas hubieran tenido que ser tan grandes que podrían haber causado otros problemas, tales como el sobrecalentamiento en verano, el exceso de luz, u otro tipo de incomodidad visual (Boubekri, 08).

En la actualidad no existe legislación de luz natural en el Reino Unido, existe un conjunto de recomendaciones establecidas por el *Building Research Establishment* (British Standard Institute, 82, retomado de Boubekri, 08), que permite cierta flexibilidad en la forma en la que los planificadores y arquitectos pueden usar estas recomendaciones en la zonificación y planificación de sitios. Una apertura, la cual cuente con el 27% del Componente Vertical del Cielo se recomienda para que a través de la ventana incida un nivel aceptable de luz natural. El 27% del Componente Vertical del Cielo de una ventana se logra a través de una calle de 12 metros de ancho, en cuyo lado opuesto se encuentra una típica casa de dos pisos. En el centro de una ciudad, el 27% del Componente Vertical del Cielo no siempre se puede lograr. Esta norma, por lo tanto, se aplica principalmente a los edificios residenciales y a cuartos habitables tales como salas de estar, comedores, estudios, cocinas y dormitorios (Boubekri, 08).

La normativa moderna para el cálculo de la iluminación natural recomienda la utilización de la siguiente fórmula para determinar el FLN (Factor de Luz Natural) = Nivel necesario de iluminación/50 (%). Los valores del FLN y los niveles recomendados de iluminación están relacionados con el valor de 10 mil lux, tomado como constante (Arias y Ávila, 04).

CONCLUSIONES

Esta breve descripción de las normas de la luz natural pone de manifiesto la deficiencia de las normas de construcción en lo que respecta a la luz natural. Aunque varios países han hecho recomendaciones para la luz natural, ninguno las ha convertido en obligatorias. Para tener credibilidad, la legislación de la luz natural debería establecer niveles de luz en una habitación durante un tiempo determinado a lo largo del día según la temporada, el clima, y la función del espacio. Esta legislación, inevitablemente, empujaría la creatividad a sus límites y animaría a arquitectos y diseñadores a posicionar y dimensionar las aperturas de los edificios y a seleccionar las propiedades ópticas de las ventanas. Sólo entonces la función de las ventanas podrá ser auténtica, teniendo un papel de luz natural distinto a los roles más tradicionales en donde ofrecían una visión y una ventilación (Boubekri, 08).

LEGISLACIÓN EN LA CIUDAD DE MÉXICO

El Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, referente a la iluminación natural, menciona lo

siguiente:

TÍTULO QUINTO. DEL PROYECTO ARQUITECTÓNICO

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

Art. 76.- Las alturas de las edificaciones, la superficie construida máxima en los predios, así como las áreas libre mínimas permitidas en los predios deben cumplir con lo establecido en los Programas señalados en la Ley.

Se han simplificado mandando a las normas de ordenación de los programas parciales delegacionales y otros, las condiciones para limitar alturas en las construcciones (Arnal y Betancourt, 05).

Art. 77.- La separación de edificios nuevos o que han sufrido modificaciones o ampliaciones, con predios o edificios colindantes debe cumplir con lo establecido en las Normas de Ordenación de Desarrollo Urbano y con los artículos 87, 88 y 166 de este Reglamento.

Se refiere a las separaciones de seguridad para evitar colisiones en caso de sismo u otras causas, aunque también involucra los artículos referentes a iluminación y ventilación (Arnal y Betancourt, 05).

Art. 78.- La separación entre edificaciones dentro del mismo predio será cuando menos la que resulte de aplicar la dimensión mínima establecida en los Programas General, Delegacionales y/o Parciales, y lo dispuesto en los artículos 87 (Iluminación natural), 88 (ventilación) y 166 (sismo) de este Reglamento y sus Normas, de acuerdo con el tipo del local y con la altura promedio de los paramentos de las edificaciones en cuestión.

El criterio que toma en cuenta la separación entre edificaciones en el mismo predio, se ha simplificado, sólo se considera de acuerdo con las normas de iluminación, ventilación y separación sísmica. Se eliminan los artículos anteriores que hacían referencia al derecho al sol, o cuando los conjuntos excedían cierto número de viviendas (art. anteriores 78 y 79) (Arnal y Betancourt, 05).

Art. 78 anterior. Las edificaciones, que conforme a los Programas Parciales, tengan intensidad media o alta, cuyo límite posterior sea orientación norte y colinde con inmuebles de intensidad baja o muy baja, deberán observar una restricción hacia dicha colindancia del 15% de su altura máxima, sin perjuicio de cumplir con lo establecido en este Reglamento para patios de iluminación y ventilación.

Se deberá verificar que la separación de edificios nuevos con predios o edificios colindantes cumplan con lo establecido en el artículo 211 (sismo) de este Reglamento, los Programas Parciales y sus Normas Complementarias.

Para lograr el cumplimiento de esta restricción es válido remeter el edificio conforme se avanza en altura, de manera que se tenga siempre 15% de separación; esta condición es necesaria por el ángulo de declinación solar en la latitud de México en los equinoccios y el solsticio de verano, aunque para obtener asoleamiento todo el año el colindante deberá estar remetido la misma distancia, compartiendo el derecho al sol (Arnal y Betancourt, 99).

Art. 79 anterior. La separación entre edificios de habitación plurifamiliar de hasta cincuenta viviendas será cuando menos la que resulte de aplicar la dimensión mínima establecida en este Reglamento para patios de iluminación y ventilación, de acuerdo con el tipo de local y con la altura promedio de los paramentos de los edificios en cuestión.

En conjuntos habitacionales de más de 50 viviendas la separación entre edificios en dirección norte-sur será por lo menos de 60% de la altura promedio de los mismos, y en dirección este-oeste será por lo menos de 100%.

No hay ninguna relación entre el número de viviendas y el cambio de normas. Si se hablara de alturas tendría más sentido, ya que la capacidad del edificio-si es de hasta 50 viviendas-no es fundamental para separaciones diferentes (véanse Requisitos de Iluminación, N.T. art.91) (Arnal y Betancourt, 99).

CAPÍTULO III. DE LA HIGIENE, SERVICIOS Y ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL

Art. 87.- La iluminación natural y la artificial para todas las edificaciones deben cumplir con lo dispuesto en las Normas y/o Normas Oficiales Mexicanas.

Para la especificación de los cubos de luz y otros de iluminación, así como las áreas por local, revisar las NTC (Normas Técnicas Complementarias de Diseño Arquitectónico). Se encuentran cambios como el de la orientación, que ya no se toma en cuenta para el cálculo de los porcentajes de iluminación que se requiere en un local igual; para la iluminación artificial consultar normas (Arnal y Betancourt, 05).

CAPÍTULO V. DE LA INTEGRACIÓN AL CONTEXTO E IMAGEN URBANA

Art. 122.- El empleo de vidrios espejo y otros materiales que produzcan reflexión total en superficies

exteriores aisladas mayores a 20 m² o que cubran más de 30 % de los paramentos de fachada se permitirá siempre y cuando se demuestre, mediante estudios de asoleamiento y reflexión especular, que el reflejo de los rayos solares no provocará en ninguna época del año ni hora del día deslumbramientos peligrosos o molestos, o incrementos en la carga térmica en edificaciones vecinas o vía pública.

Dadas las condiciones de la Ciudad de México, no se dará esta condición permisiva, ya que los rayos solares siempre incidirán en las fachadas, incluso en la fachada norte (aunque sólo unas horas y unos días al año) provocando deslumbramientos; el otro comentario se refiere a los metros cuadrados y porcentajes mencionados en el reglamento, se ven arbitrarios y sin precisión, hubiera sido más práctico prohibir los vidrios espejo (Arnal y Betancourt, 05).

Art. 123.- Las fachadas de colindancia de las edificaciones de cinco niveles o más que formen parte de los paramentos de patios de iluminación y ventilación de edificaciones vecinas deben tener acabados de color claro.

Esta bien pero se tiene que considerar quién es el encargado de pintar esas fachadas si dan a cubos de los vecinos. Está bien que los muros colindantes se pinten de colores claros, lo que habría que regular es la publicidad que aparece en ellos (arts. 39,40 y 49 del reglamento de anuncios para el D.F.); por otro lado, en las normas aparecen ciertas disposiciones para mejorar la condición lumínica de los muros en cubos de luz propios (Arnal y Betancourt, 05).

Art. 147. Suprimido

Es una lástima que se haya suprimido este artículo que trataba del estudio de sombras para edificios de más de cinco niveles y que iniciaba en México el derecho al sol y el estudio del impacto de un edificio sobre otro al impedirle recibir asoleamientos necesarios, también por otro lado hubiera ajustado la especulación urbana que afecta a casas más pequeñas cuando el terreno sube de valor y se incrementa si incrementa su intensidad de uso aumentando por consiguiente su altura (Arnal y Betancourt, 99).

NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA EL PROYECTO ARQUITECTÓNICO

CAPÍTULO III. HIGIENE, SERVICIOS Y ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL

3.4. ILUMINACIÓN Y VENTILACIÓN

3.4.1. GENERALIDADES

Los locales habitables y complementarios deben tener iluminación diurna natural por medio de ventanas que den directamente a la vía pública, azoteas, superficies descubiertas o patios que satisfagan lo establecido en el inciso 3.4.2.2.

Se consideran locales habitables: las recámaras, alcobas, salas, comedores, estancias o espacios únicos, salas de televisión y de costura, locales de alojamiento, cuartos para encamados de hospitales, clínicas y similares, aulas de educación básica y media, vestíbulos, locales de trabajo y de reunión. Se consideran locales complementarios: los baños, cocinas, cuartos de lavado y planchado doméstico, las circulaciones, los servicios y los estacionamientos. Se consideran locales no habitables: los destinados al almacenamiento como bodegas, closets, despensas, roperías.

Se permite que los locales habitables y los complementarios tengan iluminación y ventilación artificial de conformidad a los puntos 3.4.3 y 3.4.4 de estas Normas, excepto las recámaras, salas, comedores, alcobas, salas de televisión y de costura, estancias o espacios únicos, locales de alojamiento, cuartos para encamados de hospitales, clínicas y similares y aulas de educación básica, así como las cocinas domésticas. En los locales no habitables, el Director Responsable de Obra definirá lo pertinente.

3.4.2. ILUMINACIÓN Y VENTILACIÓN NATURALES

3.4.2.1 VENTANAS

Para el dimensionamiento de ventanas se tomará en cuenta lo siguiente:

I. El área de las ventanas para iluminación no será inferior al 17.5% del área del local en todas las

edificaciones a excepción de los locales complementarios donde este porcentaje no será inferior al 15%;

II. El porcentaje mínimo de ventilación será del 5% del área del local;

III. Los locales cuyas ventanas estén ubicadas bajo marquesinas, techumbres, balcones, pórticos o volados, se considerarán iluminadas y ventiladas naturalmente cuando dichas ventanas se encuentren remetidas como máximo lo equivalente a la altura de piso a techo del local;

IV. Se permite la iluminación diurna natural por medio de domos o tragaluces en los casos de baños, incluyendo los domésticos, cocinas no domésticas, locales de trabajo, reunión, almacenamiento, circulaciones y servicios; en estos casos, la proyección horizontal del vano libre del domo o tragaluz puede dimensionarse tomando como base mínima el 4% de la superficie del local, excepto en industrias que será del 5%. El coeficiente de transmisibilidad del espectro solar del material transparente o translúcido de domos y tragaluces en estos casos no debe ser inferior al 85%;

V. No se permite la iluminación y ventilación a través de fachadas de colindancia, el uso de bloques prismáticos no se considera para efectos de iluminación natural;

VI. No se permiten ventanas ni balcones u otros voladizos semejantes sobre la propiedad del vecino prolongándose más allá de los linderos que separen los predios. Tampoco se pueden tener vistas de costado u oblicuas sobre la misma propiedad, si no hay la distancia mínima requerida para los patios de iluminación;

VII. Las escaleras, excepto en vivienda unifamiliar, deben estar ventiladas en cada nivel hacia la vía pública, patios de iluminación y ventilación o espacios descubiertos, por medio de vanos cuya superficie no será menor del 10% de la planta del cubo de la escalera; en el caso de no contar con ventilación natural se debe satisfacer lo dispuesto en la fracción II correspondiente a las condiciones complementarias de la Tabla 3.6; y

VIII. Los vidrios o cristales de las ventanas de piso a techo en cualquier edificación, deben cumplir con la Norma Oficial NOM-146-SCFI, excepto aquellos que cuenten con barandales y manguetas a una altura de 0.90 m del nivel del piso, diseñados de manera que impidan el paso de niños a través de ellos, o estar protegidos con elementos que impidan el choque del público contra ellos.

3.4.2.2. PATIOS DE ILUMINACIÓN Y VENTILACIÓN NATURAL

Las disposiciones contenidas en este inciso se refieren a patios de iluminación y ventilación natural con base de forma cuadrada o rectangular, cualquier otra forma debe considerar una área equivalente; estos patios tendrán como mínimo las proporciones establecidas en la Tabla 3.4, con dimensión mínima de 2.50 m medida perpendicularmente al plano de la ventana sin considerar remetimientos.

Tipo de local	Proporción mínima del patio de iluminación y ventilación (con relación a la altura de los paramentos del patio)
Locales habitables	1/3
Locales complementarios e industria	1/4

CONDICIONES COMPLEMENTARIAS A LA TABLA 3.4

I. Si la altura de los paramentos del patio fuera variable se tomará el promedio de los dos más altos; los pretilos y volúmenes en la parte superior de estos paramentos, podrán remeterse un mínimo del equivalente a su altura con el propósito de no ser considerados para el dimensionamiento del patio;

II. En el cálculo de las dimensiones mínimas de los patios podrán descontarse de la altura total de los paramentos que lo confinan, las alturas correspondientes a la planta baja y niveles inmediatamente superiores a ésta, que sirvan como vestíbulos, estacionamientos o locales de máquinas y servicios;

III. Para determinar las dimensiones mínimas de los patios, se tomará como cota de inicio 0.90 m de altura sobre el piso terminado del nivel más bajo que tenga locales habitables o complementarios;

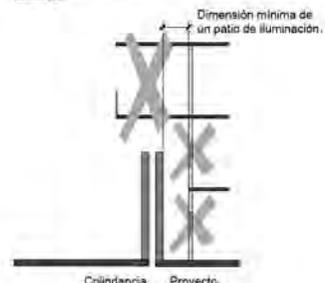
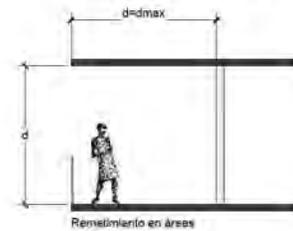
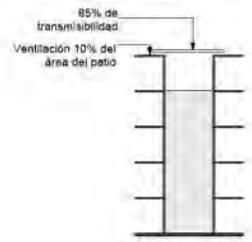
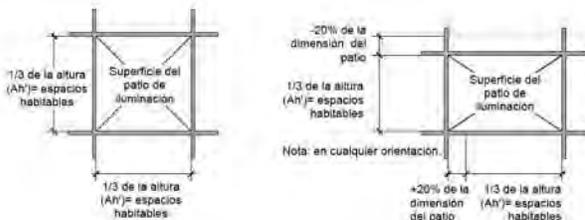
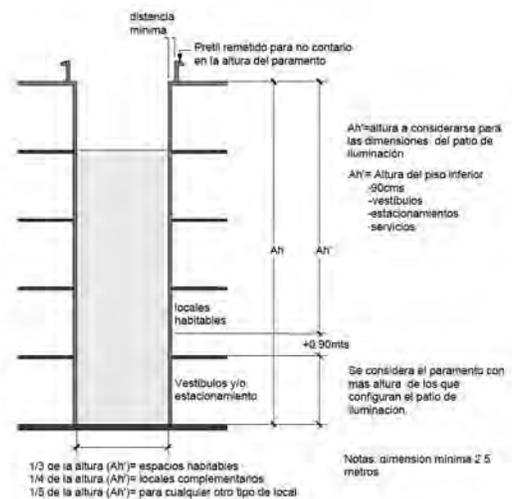
IV. En cualquier orientación, se permite la reducción hasta de una quinta parte en la dimensión mínima del patio, siempre y cuando la dimensión ortogonal tenga por lo menos una quinta parte más de la dimensión mínima correspondiente;

V. En los patios completamente abiertos por uno o más de sus lados a vía pública, se permite la reducción hasta la mitad de la dimensión mínima en los lados perpendiculares a dicha vía pública;

VI. Los muros de patios que se limiten a las dimensiones mínimas establecidas en esta Norma y hasta 1.3 veces dichos valores, deben tener acabados de textura lisa y colores claros;

VII. Los patios podrán estar techados por domos o cubiertas transparentes o traslúcidos siempre y cuando tengan una transmisibilidad mínima del 85% del espectro solar y una área de ventilación en la cubierta no menor al 10% del área del patio;

VIII. En las zonas históricas y patrimoniales los



Esquemas del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal con respecto a la luz natural

inmuebles sujetos a reparación, adecuación y modificación podrán observar las dimensiones de los patios de iluminación y ventilación del proyecto original o construcción existente siempre y cuando cuenten con la aprobación del Instituto Nacional de Antropología e Historia o del Instituto Nacional de Bellas Artes, según corresponda.

3.4.3 ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

Los niveles mínimos de iluminación artificial que deben tener las edificaciones se establecen en la Tabla 3.5, en caso de emplear criterios diferentes, el Director Responsable de Obra debe justificarlo en la Memoria Descriptiva.

Tabla 3.5		
REQUISITOS MÍNIMOS DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL		
TIPO DE EDIFICACIÓN	Local	Nivel de iluminación
HABITACIONAL		
Vivienda unifamiliar	Circulaciones verticales y horizontales	50 luxes
Vivienda plurifamiliar		
COMERCIAL		
Abasto y almacenamiento	Almacenes	50 luxes
	Circulaciones	100 luxes
Mercados públicos	Naves	75 luxes
Venta de combustibles y explosivos	Áreas de servicio	70 luxes
	Áreas de bombas	200 luxes
Tiendas de productos básicos y especialidades		
Tiendas de autoservicio	En general	250 luxes
Tiendas departamentales y Centros comerciales		
Agencias y talleres de reparación		
Tiendas de servicios y servicios diversos	Baños	100 luxes
Agencias y talleres de reparación		
Baños públicos	Sanitarios	75 luxes
Gimnasios y adiestramiento físico	En general	250 luxes
SERVICIOS		
Administración		
Bancos, casas de bolsa y casas de cambio	Áreas y locales de trabajo	250 luxes
	Circulaciones	100 luxes
	Cuando sea preciso apreciar detalles	100 luxes
Oficinas privadas y públicas	Cuando sea preciso apreciar detalles:	
	Toscos o burdos	200 luxes
	Medianos	300 luxes
	Muy finos	500 luxes
Hospitales y centros de salud		
Atención médica o dental a usuarios externos	Consultorios y salas de curación	300 luxes
	Salas de espera	125 luxes
Atención a usuarios internos	Circulaciones	100 luxes
	Salas de encamados	75 luxes
Servicios médicos de urgencia (públicos y privados)	Emergencia en consultorios y salas de curación	300 luxes

Asistencia social		
Residencias colectivas	Circulaciones horizontales y verticales	50 luxes
Asistencia animal		
Centros antirrábicos, clínicas y hospitales veterinarios	Salas de curación	300 luxes
Educación e instituciones científicas		
Atención y educación preescolar	Aulas	250 luxes
Educación formal básica y media	Aulas y laboratorios	300 luxes
	Circulaciones	100 luxes
Educación formal media-superior y superior, y educación informal	Aulas y laboratorios	300 luxes
	Circulaciones	100 luxes
Institutos de investigación	Aulas y cubículos	250 luxes
Exhibiciones		
Galerías de arte, museos, centros de exposiciones	Salas de exposición	250 luxes
	Vestíbulos	150 luxes
	Circulaciones	100 luxes
Centros de información	Salas de lectura	250 luxes
Instituciones religiosas		
Lugares de culto, (templos, iglesias y sinagogas)	Áreas de reunión	100 luxes
Alimentos y bebidas		
Servicios de alimentos y bebidas con o sin esparcimiento	En general	250 luxes
	Restaurantes	50 luxes
	Centros Nocturnos	30 luxes
	Cocinas	50 luxes
Entretenimiento y Recreación social		
Espectáculos y reuniones	Salas durante la función	1 lux
	Iluminación de emergencia	25 luxes
	Salas durante los intermedios	50 luxes
	Vestíbulos	150 luxes
	Circulaciones	100 luxes
	Emergencia en circulaciones y sanitarios	30 luxes
Deportes y recreación		
Prácticas y/o espectáculos deportivos	Circulaciones	100 luxes
Alojamiento		
Hoteles y moteles	Habitaciones	75 luxes
Casas de huéspedes	Circulaciones	100 luxes
Albergues turísticos juveniles	Vestíbulos	150 luxes
	Áreas y locales de trabajo	250 luxes
Campamentos para remolques y campismo	Estacionamiento de vehículos	30 luxes
	Circulaciones	75 luxes
Policía y bomberos		
Centrales de policía, estaciones de bomberos y cuarteles	Áreas y locales de trabajo	250 luxes
Funerarios		
Agencias funerarias	Velatorios	125 luxes

Transportes		
Estacionamientos privados y públicos, incluyendo encierros de vehículos	Entrada y salida	300 luxes
	Espacio de circulación, pasillos, rampas y zonas peatonales	100 luxes
	Espacios para estacionamientos (cajones)	50 luxes
	Caseta de control	200 luxes
	Zona de espera	50 luxes
	Pasillos y cajones	50 luxes
Servicios de mudanzas	En general	250 luxes
INDUSTRIA		
Para todo tipo de industria	Áreas de trabajo en que no sea preciso apreciar detalles	100 luxes
	Áreas de trabajo en que sea preciso apreciar detalles:	
	Toscos o burdos	200 luxes
	Medianos	300 luxes
	Muy finos	500 luxes
	Área de almacenamiento	50 luxes
	Circulaciones	100 luxes
Comedores	150 luxes	
Comunicaciones		
Servicio al público de correos y telégrafos, mensajería y paquetería	En general	250 luxes
INFRAESTRUCTURA		
Infraestructura		De acuerdo a los locales de que se trate
ESPACIOS ABIERTOS		
Plazas y explanadas	Circulaciones	75 luxes
Parques y jardines	Estacionamientos	30 luxes

CONDICIONES COMPLEMENTARIAS A LA TABLA 3.5

I. El nivel de iluminación artificial para circulaciones verticales y horizontales, así como elevadores en todas las edificaciones, excepto en la de la habitación será de 100 luxes;

II. El porcentaje de iluminación de emergencia debe realizarse conforme a la Tabla 3.7, y

III. El Director Responsable de Obra debe cumplir, en su caso, con lo dispuesto en las siguientes Normas Oficiales Mexicanas:

NOM-001-SEDE, "Instalaciones eléctricas (utilización)";

NOM-007-ENER, "Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales";

NOM-013-ENER, "Eficiencia energética en sistemas de alumbrado para vialidades y exteriores de edificios"; y

NOM-025-STPS, "Condiciones de iluminación en los centros de trabajo".

3.5 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES

En las edificaciones, excepto las destinadas a vivienda, para optimizar el diseño térmico y lograr la comodidad de sus ocupantes con el mínimo consumo de energía se debe considerar lo dispuesto en la Norma Oficial Mexicana NOM-008-ENER-"Eficiencia energética en edificios, envolvente de edificios no residenciales".

FIDE

Los consejos de ahorro de energía del FIDE, Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica, son los siguientes (FIDE, 10):

Habitación⁴**Iluminación**

Mantener abiertas las cortinas y persianas durante el día: la luz natural siempre es mejor. Si usted vive en un lugar cálido, ciérrelas en el día, ya que al abrirlas, entrará la luz natural, pero también el calor y, en todo caso, el costo de la iluminación artificial es más bajo que el de climatizar la habitación.

Realizar el mayor número de actividades aprovechando la luz solar. Piense o haga una lista de las actividades que puede realizar durante el día y no dejarlas para la noche. Por ejemplo, es mejor lavar, planchar y hacer el aseo durante el día.

Utilizar colores claros en techos y paredes, ya que éstos reflejan mejor la luz.

Oficinas y escuelas

Aprovecha la energía solar.- Deja que el sol se filtre hacia las habitaciones para que la calefacción no tenga que estar muy alta y para reducir la cantidad de alumbrado. En los días calurosos, las cortinas se corren para evitar que el sol entre y así mantener el aire fresco.

Industria**Iluminación interior**

Instalar láminas translúcidas o domos solares para aprovechamiento de iluminación natural.

OBSERVACIONES AL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL

El Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal conforme a sus actualizaciones ha ido eliminando artículos que se referían al derecho del Sol al llegar al punto en donde no es importante si un edificio arroja sombra sobre otro edificio imposibilitando a este último a que sus espacios interiores tengan una cierta cantidad de horas de luz solar al día, indispensables para el bienestar de los ocupantes de dicha edificación.

El Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal no hace mención de las edificaciones enfrentadas, ni de su altura ni de los materiales, el único artículo que menciona algo al respecto es el artículo 122, tocando el punto del vidrio espejo. No existe ninguna referencia ni sugerencia del máximo Ángulo de Obstrucción que deben de tener las edificaciones con respecto a los volúmenes enfrentados para tener cierta cantidad de luz solar dependiendo de su orientación y por ende una iluminación natural adecuada en la fachada para que esta pueda ser introducida al interior de los espacios.

Es indispensable que especialistas en el campo de la iluminación natural propongan medidas para conocer en primera instancia los valores de iluminancia natural promedio que obtiene la ciudad para diferentes condiciones de cielo, en un periodo significativo de tiempo.

Es necesario que en las normas se implanten criterios básicos de iluminación natural en los espacios habitables para que los espacios interiores cuenten con una iluminación natural adecuada para la realización de ciertas actividades. Para este último punto, es necesario que la investigación mundial se enfoque en establecer valores de iluminación natural necesarios para cada actividad, los cuales, tal vez, difieran de los valores de iluminación eléctrica, por las propiedades mismas de la luz natural. Este es un campo de investigación que involucra diferentes disciplinas. A falta de información de los valores de luz natural para desarrollar cierta actividad se toman en consideración los valores de luz eléctrica recomendados por diferentes instituciones

⁴ <http://www.fide.org.mx/consejos_aee/hogar.html>, mayo 2010

Las sugerencias del FIDE, Fideicomiso para el Ahorro de Energía, respecto a los ahorros de energía aprovechando o filtrando la luz natural, dejan mucho que desear, es importante que las sugerencias o normas sean mas precisas y éstas deben basarse en estudios e investigaciones realizadas para nuestras condiciones, éstas incluyen las situaciones geográficas, climáticas y las características urbanas y arquitectónicas, entre otras.