



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA
CAMPO DE CONOCIMIENTO: TECNOLOGÍA

Propuesta de adecuación térmica y lumínica para aulas de nivel superior en la Ciudad de México.

Caso de estudio: Unidad de Posgrado en Ciudad Universitaria.

Tesis para optar por el grado de Maestra en Arquitectura

Presenta:

Arq. Liliana Angeles Rodríguez

Director de tesis:

Dr. José Diego Morales Ramírez. Facultad de Arquitectura

Comité tutor:

Mtra. Alma Rosa Ortega Mendoza. Facultad de Arquitectura

Mtro. Francisco Reyna Gómez. Facultad de Arquitectura

Mtro. Jorge Rangel Dávalos. Facultad de Arquitectura

Dr. José Luis Bermúdez Alcocer. Facultad de Arquitectura

Ciudad Universitaria, Abril 2018

CD.MX.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

FACULTAD
ARQUITECTURA



UNIDAD DE POSGRADO

Propuesta de adecuación térmica y lumínica para aulas de nivel superior en la Ciudad de México.

Caso de estudio: Unidad de Posgrado en Ciudad Universitaria

Tesis para optar por el grado de Maestra en Arquitectura
Arq. Liliana Angeles Rodríguez

A mis abuelitos, quienes decidieron estar juntos siempre.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi familia quien no sólo ha creído siempre en mis decisiones sino que me impulsa a seguir adelante bajo cualquier circunstancia.

Gracias a mi hermana por estar en mi vida, por ser mi mejor amiga, por ser quien me motiva a ser una mejor persona día con día.

Gracias a mis amigos, a todos, sin importar los tiempos y las distancias, pues en todo momento los he tenido cerca de mí. Me llena de alegría haber encontrado personas tan especiales con quienes compartir la vida.

Gracias a la UNAM y a la Facultad de Arquitectura porque cada día me brindan más y mejores oportunidades, esas que son tan significativas e importantes que no me alcanzará la vida para terminar de agradecer.

Gracias a mi comité tutor por brindarme su tiempo y enseñanzas en todo el desarrollo de este proyecto de investigación. Gracias especialmente al Dr. José Diego Morales y la Mtra. Alma Rosa Ortega de quien he recibido no sólo un enorme conocimiento sino un apoyo continuo.

Grazie al Centro ABITA di Firenze per aprire le sue porte, in particolare al Dott. Marco Sala e all'ingegnere Giussepina Alcamo per arricchire questo progetto di ricerca con la sua saggezza.

Gracias a todas las personas que de manera directa o indirecta han contribuido a que mi proyecto, no sólo de investigación, sino de vida, siga desarrollándose de la mejor manera. A todos, mis más grandes y sinceros agradecimientos.

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para la realización de esta investigación.

Al programa PAPIIT por la beca otorgada para la conclusión de esta tesis a través del proyecto de investigación: *Variaciones de la relación entre la irradiancia solar global y la iluminancia en cinco ciudades de la República Mexicana* con clave IN403814.

ÍNDICE

Introducción

Capítulo 1. Marco de referencia

13

1.1	Importancia del confort en el aula	13
1.1.1	Disconfort físico	16
1.1.2	Disconfort psicológico	17
1.1.3	Relación entre confort y calidad educativa	17
1.1.4	Razones para evaluar la calidad térmica y lumínica en las aulas de nivel superior	19
1.2	Estudios análogos sobre condiciones térmicas y lumínicas en el aula	20
1.2.1	Evaluación de las condiciones térmicas	20
1.2.2	Evaluación de las condiciones lumínicas	24
1.3	Selección del caso de estudio	26
1.3.1	Posgrado de Economía	26
1.3.2	Edificio “Adolfo Sánchez Vázquez”	27
1.3.3	Edificio de la licenciatura en ciencia forense	27
1.3.4	Unidad de Posgrado	28
1.3.5	Normativa vigente en la UNAM	29
1.4	Conclusiones	30

Capítulo 2. Evaluación térmica

31

2.1	Confort térmico	31
2.1.1	Definición	31
2.1.2	Rangos de confort térmico en el aula	34
2.2	Transferencia de calor en edificios	35
2.3	Métodos de evaluación térmica	36
2.3.1	Métodos físicos	37
2.3.2	Simulación térmica a través de métodos matemáticos y software	39

2.3.3	Método matemático del software TRNSYS adecuado por el Dr. José Diego Morales Ramírez al Sistema Internacional de Unidades	40
2.4	Conclusiones	43

Capítulo 3. Evaluación lumínica

44

3.1	Confort lumínico	44
3.1.1	Definición	44
3.1.2	Rangos de confort lumínico en el aula	46
3.2	Aprovechamiento de la iluminación natural en interiores	47
3.3	Métodos de evaluación lumínica	49
3.3.1	Métodos físicos de evaluación lumínica	50
3.3.2	Simulación lumínica a través de software	51
3.3.3	Evaluaciones lumínicas con el uso del software Radiance	53
3.4	Conclusiones	54

Capítulo 4. Experimentación

55

4.1	Descripción del método	55
4.2	Análisis del caso de estudio y su contexto	56
4.2.1	Factores de diseño	56
4.2.1.1	La Unidad de Posgrado en Ciudad Universitaria	56
4.2.1.2	Emplazamiento	57
4.2.1.3	Orientación y diseño de las fachadas	59
4.2.1.4	Materiales utilizados	61
4.2.1.5	Aulas elegidas para su evaluación	62
4.2.2	Descripción de los usuarios	64
4.2.3	Factores climáticos	65
4.2.3.1	Temperatura	66
4.2.3.2	Humedad	66

4.2.3.3	Viento	67
4.2.3.4	Radiación solar	67
4.3	Evaluación diagnóstica térmica	69
4.3.1	Resultados del mes de enero	70
4.3.2	Resultados del mes de mayo	71
4.3.3	Conclusiones	73
4.4	Evaluación diagnóstica lumínica	74
4.4.1	Resultados del análisis a las 9:00 horas del 21 de septiembre	76
4.4.2	Resultados del análisis a las 15:00 horas del 21 de septiembre	78
4.4.3	Conclusiones	79
4.5	Conclusiones generales de la evaluación diagnóstica	80

Capítulo 5. Propuesta de intervención **84**

5.1	Propuesta de adecuación de las aulas	85
5.2	Evaluación térmica de la propuesta	87
5.2.1	Resultados obtenidos para enero	87
5.2.2	Resultados obtenidos para mayo	89
5.3	Evaluación lumínica de la propuesta	90
5.3.1	Resultados obtenidos para las 9:00 horas del 21 de septiembre	90
5.3.2	Resultados obtenidos para las 15:00 horas del 21 de septiembre	91
5.4	Conclusiones	93

Índice de figuras

Índice de tablas

Índice de gráficas

Fuentes de información

RESUMEN

El objetivo del presente proyecto de investigación es la generación de propuestas que permitan adecuar las condiciones de confort térmico y lumínico en aulas de educación superior de la Ciudad de México. La falta de normativas específicas para los edificios de este nivel educativo, aunado a la mayor atención que se le brinda a los centros de educación de niveles inferiores, provoca que no se cuente con los criterios adecuados que permitan a proyectistas y constructores facilitar y evaluar el proceso de diseño. A pesar de que los parámetros sugeridos en el presente proyecto de investigación están referidos a un caso de estudio específico, se pueden aplicar a edificios que ya estén construidos y pueden servir como punto de partida para el diseño de nuevas aulas.

ABSTRACT

The aim of the present research project is to develop proposals that allow improve the thermal and luminic comfort of higher education classrooms in Mexico City. The lack of applicable regulation for this kind of buildings avoids to have the right criteria that helps architects and builders to design and evaluate the features of the classrooms. Although the parameters suggested in this research project are addressed to a specific study case, they may be applied to other buildings and may be used as a reference to the design of new classrooms.

RIASSUNTO

L'obiettivo del presente progetto di ricerca è sviluppare proposte che permettano di adattare le condizioni di confort sia termico che di luminosità alle aule d'istruzione superiore di Città del Messico. La mancanza di normative specifiche per gli edifici di questo livello educativo comporta che non ci siano i criteri necessari per permettere ad architetti e costruttori di facilitare e valutare il design delle aule. Sebbene i parametri suggeriti in questo progetto di ricerca siano indirizzati ad un caso specifico di studio, possono essere utili per edifici in uso e anche come punto di partenza per il design di nuove aule.

INTRODUCCIÓN

La función principal de la Arquitectura es proporcionar al hombre espacios que le permitan desarrollar sus actividades de manera óptima. Para cumplir dicho objetivo, con base en el análisis y resolución de la habitabilidad de los espacios, se deben evaluar las condiciones físicas del edificio y su relación con el entorno en que se inserta. En el caso de las instituciones educativas, cuyo objetivo es la adquisición de conocimiento por parte de los alumnos, se debe hacer énfasis en que el aprendizaje es un proceso psicológico complejo que requiere un gran esfuerzo y concentración por parte de quien desea aprender. Partiendo de esta premisa, el diseño de los edificios escolares debe tener como objetivo adecuar la temperatura, la iluminación, el ruido y el movimiento, además de otros factores que pudieran fungir como distractores y dificultar el proceso de enseñanza-aprendizaje. De estos elementos físicos del medio, en el presente trabajo de investigación se evaluaron sólo las condiciones térmicas y lumínicas del caso de estudio propuesto, ya que ambas tienen en común su dependencia de la energía que reciben del sol, ya sea la componente calórica o la componente lumínica.

Pese a que existe una normativa vigente en el ámbito escolar emitida por la Secretaría de Educación Pública (SEP) y, en específico, por el Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (INIFED), los lineamientos propuestos sólo se presentan para los niveles: básico, medio y medio superior. Al hablar de confort dentro del aula se tiende a favorecer el estudio de las instituciones de nivel básico y medio. Esto se debe, en parte, a que la educación superior no depende de la SEP, por lo que su normativa no contempla ningún requisito para escuelas de este tipo y su diseño y construcción queda en manos de las propias universidades, institutos, etc. Además, las escuelas de nivel superior, sobre todo tratándose de posgrados,

representan un porcentaje mínimo del grueso de centros educativos. Otro motivo es la vulnerabilidad de los niños ante situaciones adversas en el aula y el tiempo de permanencia en las mismas, a diferencia de un adulto que tiene posibilidad de afrontar situaciones de discomfort y cuyo tiempo de estancia en un aula, para el caso de un posgrado, es reducido. Aun cuando estas razones sean válidas, no significa que se pueda evadir la necesidad de construir espacios confortables para los estudiantes y profesores de nivel superior, los cuales tienen requerimientos específicos y comparables mas no igualables, a los de la educación básica.

Como ya se mencionó, en el presente proyecto de investigación se muestran los resultados de la evaluación térmica y lumínica del caso de estudio, la Unidad de Posgrado de la UNAM en Ciudad Universitaria. Se decidió analizar este edificio porque su planta en forma circular provoca que todas las aulas tengan una orientación distinta. Además del uso de ese partido arquitectónico, los materiales de construcción son los mismos y las fachadas tienen exactamente el mismo tratamiento. Bajo dichas circunstancias, las condiciones de las aulas deberían ser muy distintas entre sí debido a la diferencia en la orientación. En la realización del análisis del edificio se seleccionaron cuatro aulas del conjunto que fueron representativas de cada uno de los puntos cardinales con el objetivo de observar las diferencias presentes en el comportamiento térmico y lumínico entre ellas. Los resultados que se obtuvieron de esta primera etapa arrojaron muchos datos que sirvieron para elaborar recomendaciones sobre la mejor orientación para un aula, desde el punto de vista térmico y/o lumínico; la conveniencia de utilizar ciertos materiales; cuáles son los aspectos positivos y negativos que deben evitarse o potencializarse en las aulas para la generación

del confort y cuáles son los puntos críticos que deben ser atendidos al momento de realizar el diseño de un aula.

La hipótesis que fundamenta el presente trabajo de investigación consiste en demostrar que se pueden alcanzar los valores óptimos de confort térmico y lumínico en las aulas de educación superior de la Ciudad de México aplicando únicamente los principios de la climatización pasiva y el uso de la iluminación natural a través del estudio de la orientación y la incidencia solar. El objetivo principal es establecer principios y recomendaciones para la adecuación térmica y lumínica de aulas de educación superior en edificios con planta circular basados en la climatización pasiva y el aprovechamiento de la luz natural. Para ello será necesario:

- Caracterizar el clima y llevar a cabo un análisis del edificio en su contexto.

- Realizar una evaluación diagnóstica de los aspectos térmico y lumínico de cuatro aulas del edificio que sean representativas de cada punto cardinal para observar las coincidencias y/o diferencias en su comportamiento.

- Con los resultados obtenidos de la evaluación, formular una propuesta para corregir las deficiencias encontradas.

- Elaborar un cuadro síntesis con las pautas de adecuación para los problemas encontrados en cada una de las aulas.

- Reelaborar el cálculo térmico y la evaluación lumínica con la inclusión de la propuesta para verificar que las recomendaciones elaboradas realmente permiten alcanzar los valores mínimos de confort.

La estructura general del documento está dividida en cinco capítulos en los cuales se abordan los conceptos y el marco de referencia para la evaluación de las aulas, el método y los resultados de la experimentación, así como la propuesta y las conclusiones.

En el capítulo uno se presenta un panorama general acerca de la importancia del confort térmico y lumínico en el aula. Se hace referencia a estudios llevados a cabo por otros investigadores que avalan el uso de los principios de la arquitectura bioclimática para ofrecer una respuesta satisfactoria en la generación del confort interno. También se describen las características de algunos edificios que han sido construidos en los últimos años dentro del campus de Ciudad Universitaria para comparar el partido arquitectónico y la orientación que se le asignó a cada uno de ellos.

Los capítulos dos y tres tienen la misma estructura pero cada uno está dedicado a un tema distinto: la evaluación térmica y la evaluación lumínica, respectivamente. En la primera parte del capítulo se ofrece la definición de confort térmico o lumínico, según sea el caso, los conceptos en los cuales se basan distintos investigadores para establecer los niveles de confort y cuáles son los límites recomendados por los mismos. Cabe mencionar que al presentar esta información sólo se pretende mostrar cómo se obtienen los niveles de confort para poder determinar cuál es el rango contra el cual se confrontarán las respectivas evaluaciones, sin que este tema sea punto de discusión del presente proyecto de investigación. Posteriormente se aborda la parte técnica de evaluación de los edificios, mostrando los conceptos con los cuales se llevan a cabo los análisis. Enseguida se explican distintos métodos que se utilizan actualmente y representan el estado del arte en el tema. Dentro de las conclusiones se recapitula tanto el nivel de confort como el método que se eligió para la fase de experimentación.

El capítulo cuatro contiene todos los datos de la experimentación. Primero se describe de manera detallada el método matemático para el análisis térmico y de simulación para el análisis lumínico. Posteriormente se incluye el desarrollo del mismo: se muestra el análisis del caso de estudio, en donde se consideran los factores climáticos y de diseño presentes en el edificio. Enseguida se presentan los resultados de la evaluación

térmica y lumínica, respectivamente. Se muestra y analiza el desempeño de cada aula para comparar los resultados entre ellas.

El capítulo cinco contiene la propuesta térmica y lumínica para el caso específico de estudio y las recomendaciones a nivel general que servirán como parámetros de diseño en este tipo de aulas. En la primera parte se explica de manera detallada en qué consiste la propuesta de intervención. En la segunda parte se incluyen los resultados obtenidos después de haber realizado nuevamente el cálculo térmico y la simulación lumínica para contrastar la hipótesis. Al final del capítulo, después de mostrar los resultados obtenidos, se muestran las conclusiones generales del proyecto de investigación.

CAPÍTULO 1

Marco de referencia

1.1 Importancia del confort en el aula

Las características físicas del planeta Tierra reúnen las condiciones idóneas para que en ella pueda existir la vida. Pese a que algunas zonas del planeta presentan situaciones climáticas extremas, el ser humano ha tenido que adaptarse a ellas para poder sobrevivir. La arquitectura, como producto de necesidades físicas, sociales y culturales de la población, sirve como intermediaria entre el ser humano y su ambiente, proporcionándole espacios con una habitabilidad óptima. Para que esto pueda suceder, los edificios construidos necesitan contar con características muy particulares dependiendo de su localización geográfica y el tipo de actividades que albergará. La calidad de los espacios que habitamos y la manera en que nos relacionamos con ellos, determinarán la percepción de bienestar y seguridad que tenemos al estar dentro de un local e incluso pueden afectar nuestra salud. Victor Olgyay, arquitecto pionero en el establecimiento de la *interpretación bioclimática de la Arquitectura* como herramienta sistemática para el diseño de edificios en sintonía con el medio ambiente, expresa la relación hombre-ambiente (Figura 1.1) de la siguiente manera:

“Los efectos del medioambiente inciden directamente tanto en la energía como en la salud del hombre. Es muy común la experiencia de que ciertos días las condiciones atmosféricas estimulan y vigorizan nuestras actividades mientras que

otros deprimen los esfuerzos físicos y mentales. También es muy conocido que en las zonas climáticas donde prevalece un calor o frío excesivos, el esfuerzo biológico de adaptación a dichas condiciones disminuye nuestra energía”¹



Figura 1.1. El hombre como medida central en Arquitectura. Fuente: *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, Olgyay (2010).

¹-Victor Olgyay, *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. (Barcelona: Gustavo Gili, 2010). 1-31.

En el caso de los edificios destinados a la educación, su principal objetivo será generar las condiciones adecuadas en que el alumno podrá adquirir conocimientos favoreciendo la relación existente entre profesor y alumno y, por tanto, el proceso de enseñanza-aprendizaje. A este respecto, el Dr. Juan Manuel Hernández Vázquez, quien fuera Subdirector de Factores Asociados en la Dirección de Indicadores Educativos del Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (INIFED), en su artículo *Habitabilidad educativa de las escuelas. Marco de referencia para el diseño de indicadores* propone que, además de evaluar los logros académicos de los estudiantes, se debe revisar qué tan eficientes son los espacios en que éstos aprenden para asegurar la calidad de las escuelas.

“La evaluación de la calidad educativa no se constriñe a la medición del logro alcanzado por los alumnos en las pruebas de aprendizaje. Tiene que ver también con qué tan propicios son los espacios escolares para generar ambientes físicos educativamente habitables; es decir, qué tanto ofrecen las condiciones mínimas de bienestar, confort, salud y seguridad física para que puedan dar lugar a procesos eficaces de enseñanza-aprendizaje”.²

Centrándonos en lo que sucede dentro del aula, proporcionar confort interno a los usuarios implica abarcar todo el espectro de sus sentidos. El Dr. Victor Manuel Fuentes Freixanet establece cinco tipos diferentes de confort³ que tendrían que ser tomados en cuenta al momento de diseñar un edificio, incluyendo por supuesto, edificios educativos. Estos son: confort térmico, confort lumínico, confort acústico, confort olfativo y confort psicológico. Se puede distinguir que los cuatro primeros tipos de confort son de carácter físico, mientras que el último es a nivel mental. Los primeros están relacionados

con la información que recibimos del espacio habitable a través de nuestros sentidos y la respuesta fisiológica de nuestro cuerpo, mientras que el confort psicológico se relaciona con la percepción que tenemos de dicho espacio. Al involucrar un aspecto psicológico, será importante entonces saber la manera en que se da el proceso de enseñanza-aprendizaje y cómo éste se ve afectado por el aula.

Dado que el aprendizaje es uno de los objetivos más importantes de la pedagogía, siempre se ha depositado en esta disciplina la obligación de entender bajo qué procesos psicológicos se lleva a cabo la adquisición de conocimiento. A lo largo del tiempo se ha creído que los factores personales (familia, amigos, nivel socioeconómico) y escolares (profesores, planes de estudio, métodos de enseñanza) son los que tienen mayor incidencia en el proceso de enseñanza-aprendizaje y, por tanto, son los únicos responsables del éxito o fracaso de los estudiantes. Sin embargo, hace apenas unas décadas se ha considerado que no sólo la manera en que se da el proceso es importante, sino que el ambiente en que se lleva a cabo, también lo es. En la búsqueda de los factores ambientales implicados en la adquisición de conocimiento, muchas universidades, instituciones, compañías y organismos gubernamentales, han llevado a cabo investigaciones para explicar el alto o bajo rendimiento de los alumnos. Se ha demostrado que, si bien los aspectos personales y escolares son decisivos, buena parte de los resultados obtenidos por los alumnos está determinado por el lugar en el que estudian. La calidad del entorno funge como obstáculo o potenciador de las distintas habilidades académicas. La necesidad de evaluar a un nivel más profundo y específico las condiciones de confort interno de las aulas radica en ofrecer espacios dignos, cómodos y saludables a estudiantes y profesores.

En cuanto al nivel educativo que normalmente se analiza, de manera reiterada se ha privilegiado el estudio de las condiciones de confort en las instituciones de educación básica, un menor número de trabajos dirigidos a la educación media, y muy pocos a la educación superior. Existen varias

2-Juan Manuel Hernández Vázquez, “Habitabilidad educativa de las escuelas. Marco de referencia para el diseño de indicadores”. *Revista Electrónica Sinéctica* (2010): 2. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99815165003>

3-“Arquitectura Bioclimática”, Victor Manuel Fuentes Freixanet, consultada 15 mayo, 2014, http://arq-bioclimatica.com/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=5:hombre-cursos&Itemid=1

razones del por qué no se ha estudiado de manera amplia las aulas de niveles avanzados. Una de ellas es que el porcentaje de personas que acceden a una licenciatura o posgrado es menor en comparación con los niveles educativos inferiores y, por consecuencia, la infraestructura educativa de este sector también lo es. Por ejemplo, en el Distrito Federal, el total de estudiantes de nivel superior es de 530,596 considerando instituciones públicas y privadas (licenciatura y posgrado) mientras que el número total de alumnos en educación básica es de 1,700,551, es decir, más de tres veces mayor. Otra razón se refiere a la vulnerabilidad de los niños ante situaciones adversas en el aula y el tiempo de permanencia en las mismas. Se ha comprobado que las malas condiciones de las aulas generan enfermedades en los niños e incluso pueden afectar su crecimiento y correcto desarrollo fisiológico. Es por ello que el tema tiene una relevancia mayúscula pues no sólo se trata de un problema educativo sino de salud pública. Sin embargo, eso no significa que se pueda evadir la necesidad de construir espacios confortables para los estudiantes y profesores de nivel superior, los cuales tienen requerimientos específicos comparables mas no igualables, a los de la educación básica. Por otro lado, la Secretaría de Educación Pública, quien emite la normativa para el diseño y construcción de nuevos edificios escolares, se encarga únicamente de la educación básica, media y media superior, excluyendo la superior y de posgrado. Las características de los diversos centros educativos a nivel superior queda en manos de las instituciones que los construyen, por lo que no existe a nivel nacional una regulación de estos aspectos.

Retomando el tema de la afectación del ambiente a las personas, ésta puede ser explicada a través de la Teoría del estrés ambiental nacida en el seno de la psicología ambiental, una joven rama de la psicología que trata de entender la relación existente entre las personas y su medio. De acuerdo a la Teoría del estrés ambiental, el entorno en que se desarrolla una persona, particularmente dentro de las grandes metrópolis, es un importante generador de estrés por la presencia de ruido, contaminación, sobrepoblación,

entre otros factores. En palabras del investigador Charles J. Holahan “Las condiciones ambientales adversas, como el ruido intenso y el calor o frío extremos, afectan en forma negativa la salud y el bienestar emocional de la gente y, en consecuencia, perjudican las relaciones interpersonales”⁴. Siendo el proceso de enseñanza-aprendizaje una relación a nivel psicológico entre profesor y alumno, este vínculo podría verse dañado por las condiciones ambientales tal como lo expresa Holahan.

De acuerdo con dicha teoría, una persona puede presentar distintos tipos de respuestas hacia las condiciones del medio en que se desenvuelve, por lo que subdivide el estrés ambiental en: estrés orgánico y psicológico. Mientras que el primero está referido a las reacciones fisiológicas del cuerpo ante situaciones ambientales adversas, tales como temperaturas extremas, el estrés psicológico está relacionado con la percepción que el usuario tiene de los problemas de su entorno y cuyas reacciones pueden manifestarse a través de respuestas conductuales y emocionales. Ambos están íntimamente vinculados y suponen un mecanismo de defensa de la persona ante situaciones que podrían ser consideradas como una amenaza hacia su integridad. Sin embargo, no es necesario llegar al límite donde una persona se encuentre en riesgo severo para que su bienestar se vea afectado.

4- Charles Holahan, *Psicología ambiental: un enfoque general* (México: Noriega Editores, 1991), 253-278.

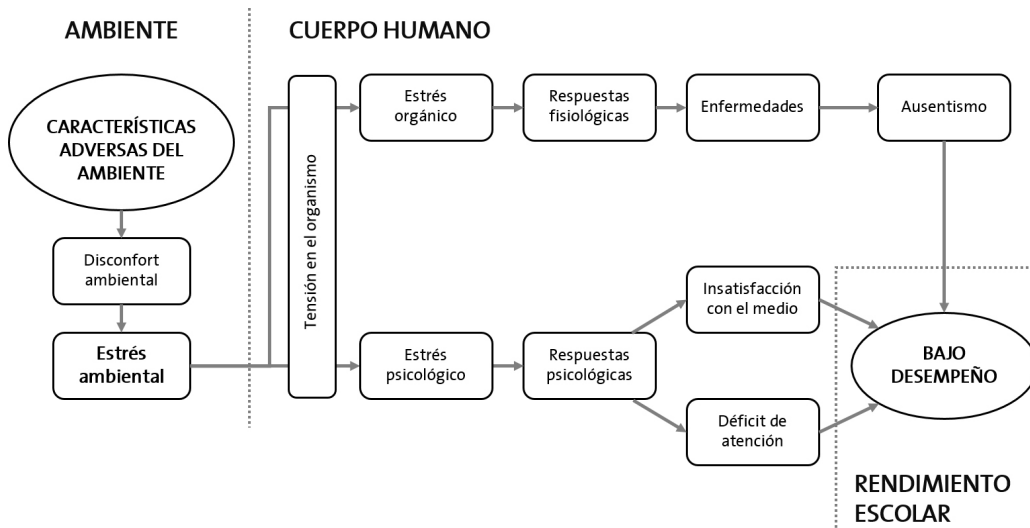


Figura 1.2. Interpretación de la relación entre el ambiente, cuerpo humano y rendimiento escolar con base en la teoría del estrés ambiental.

Tal como lo muestra la Figura 1.2, cuando una persona no se encuentra bien físicamente, su capacidad psicológica también se verá afectada. Partiendo de este esquema, a continuación se presentarán los dos tipos de disconfort que podrían manifestarse en el individuo ante el estímulo de factores adversos presentes en su ambiente.

1.1.1 Disconfort físico

De acuerdo con lo propuesto por Holahan, las respuestas fisiológicas del cuerpo ante estímulos del ambiente son las primeras que se hacen presentes en los usuarios. Estas reacciones del organismo se explican a través del término denominado homeostasis. La homeostasis es un concepto utilizado en medicina y psicología de relativamente reciente aparición que dominó gran parte de las investigaciones realizadas en estos campos durante el siglo XX. Fue en 1932 en el libro *La sabiduría del cuerpo* donde Walter B. Cannon la mencionó por primera vez para referirse al conjunto de “procesos fisiológicos coordinados, de los cuales resulta el mantenimiento de la estabilidad (funcional); (son) procesos complejos y peculiares de los seres vivos”⁵. En términos sencillos, la homeostasis es un

proceso del cuerpo humano por medio del cual regula sus funciones internas para permanecer en un rango fisiológico seguro. Dicho proceso es constante a lo largo del día, sin embargo, se acentúa en presencia de estímulos externos que podrían generar una alteración en el cuerpo, entonces, tiene que utilizar herramientas adicionales para mantenerse en equilibrio. En su libro *Homeostasis*, el Dr. Hugo Aréchiga lo explica de la siguiente manera:

“Los circuitos de retroalimentación (del cuerpo) no sólo operan en la regulación del medio interno, sino que forman parte de integraciones tan complejas como las que operan en el desarrollo ontogénico o en el aprendizaje. Por ejemplo, Piaget (1896-1980) las incluyó en forma tan prominente en su modelo de desarrollo de la actividad cognitiva, hasta afirmar que “los aprendizajes por ensayo y error suponen regulaciones de circuitos de retroalimentación”, con lo cual se infiere que estos circuitos son determinantes, tanto en la integración del aprendizaje como en la plástica del cuerpo”.⁶

5 - Referencia en: Hugo Aréchiga, *Homeostasis* (México: UNAM, 2000), 10.

6- Aréchiga, *Homeostasis*, 29.

Tal como lo expone Aréchiga, las consecuencias del disconfort físico pueden presentarse en el cuerpo a nivel fisiológico (alterando las reacciones químicas que deben darse en el organismo) y a nivel psicológico (obstaculizando el procesamiento de la información). En ese sentido, el ambiente de las aulas contiene estímulos que pueden representar amenazas para el cuerpo humano cuando se sobrepasan sus límites de tolerancia. Cuando las condiciones son bastante desfavorables, es decir, en presencia de temperaturas extremas, falta de ventilación e iluminación, ruido excesivo, olores fuertes o tóxicos, etcétera, esta situación puede llegar a provocar molestias tales como sudoración excesiva, dolor de cabeza, mareo, náuseas, irritación en los ojos, deslumbramiento, afectación en el oído, entre otros. En casos graves podría llegar a modificar la producción de hormonas y alterar los ritmos circadianos, indispensables para el correcto funcionamiento del organismo. Muchas veces los factores que nos generan molestias dentro de un espacio son relativamente bajos y pasan desapercibidos, sin embargo, cuando nos volvemos conscientes de su presencia y de la afectación que nos provocan, pueden desencadenar una serie de respuestas psicológicas de molestia y rechazo hacia el entorno, es decir, disconfort psicológico.

1.1.2 Disconfort psicológico

En cuanto a las respuestas psicológicas que se pudieran hacer presentes cuando existe disconfort se encuentran: el rechazo que el usuario podría llegar a sentir hacia el espacio; la necesidad de intervenir de manera personal para contrarrestar los estímulos adversos con el riesgo de que si la intervención no es suficiente, se pudiera sentir frustración; se generan sentimientos de desesperanza aprendida cuando el usuario se da cuenta que, sin importar sus esfuerzos, las condiciones del medio no van a cambiar; y por consiguiente, todos esos factores generarán apatía, bajo rendimiento e incluso depresión.

De manera específica, centrándonos en el proceso de enseñanza-aprendizaje que se da en el aula, el acto de prestar atención a las explicaciones que da el profesor o las

argumentaciones de cualquier interlocutor dentro del aula, es una necesidad primaria cuando se desea adquirir conocimiento. Sin embargo, cuando las condiciones físicas internas no son las adecuadas o cuando no se logra un aislamiento suficiente de las condiciones físicas externas, cualquiera de éstas dos puede llegar a representar un gran distractor. Partiendo del concepto de atención se podría establecer que la principal necesidad de un centro educativo será crear espacios que permitan evitar las distracciones existentes en el medio. En el siguiente párrafo incluido en el libro *Procesos cognitivos y aprendizaje significativo* escrito por el Doctor Manuel Rivas Navarro se explica la relación existente entre atención, entorno y proceso de aprendizaje.

“La atención implica concentración en una actividad mental, como la de atender a una explicación oral, la lectura de un párrafo del texto o una conversación. El esfuerzo, energía mental o recursos cognitivos se centran o concentran en el procesamiento de estímulos informativos provenientes de la explicación, el texto u otra persona. Ello implica que de los múltiples estímulos susceptibles de ser percibidos y atendidos se realiza una selección de determinados estímulos específicos auditivos o visuales, excluyendo todos los demás que interfieren en el procesamiento de aquellos: ruido exterior, objetos del entorno, dureza del asiento, temperatura, etc”.⁷

Es importante mencionar que el evitar distracciones no implica cerrar completamente las aulas hacia el exterior, tan sólo se trata de generar un diseño que permita tener un equilibrio adecuado entre temperatura, humedad, ventilación, iluminación, aislamiento acústico y vistas.

1.1.3 Relación entre confort y calidad educativa

Son muchos los estudios que se han conducido en el análisis y entendimiento de la relación existente entre escuela y

7- Manuel Rivas Navarro, *Procesos cognitivos y aprendizaje significativo* (Madrid: Subdirección General de Inspección Educativa de la Viceconsejería de Organización Educativa de la Comunidad de Madrid, 2008), versión electrónica.

estudiante, uno de los ejemplos más sobresalientes en este campo lo representa el School Design and Planning Laboratory⁸ (SDPL) que pertenece a la Universidad de Georgia, Atlanta en Estados Unidos. Se trata de un área especializada que fue fundada en 1997 por el profesor C. Kenneth Tanner, quien desde entonces ha dirigido varios grupos de investigación con el tema de cómo impacta el ambiente construido en el comportamiento, la actitud, la productividad y el aprendizaje. Los estudios se han extendido más allá de la propia Universidad y sus miembros han participado en diversos foros, cursos, así como el diseño e intervención de algunas escuelas, teniendo respuestas positivas en todos estos ámbitos. Sin embargo, casi todo su trabajo está dedicado a la educación básica. A pesar de ello, resulta importante revisar las investigaciones que han realizado para entender la situación en que se encuentra este campo de estudio, así como la metodología que utilizan al realizar la evaluación de las variables estudiadas.

En el artículo *Effects of school design on student outcomes*⁹ el profesor Tanner explica cómo han sido capaces de determinar de manera muy detallada el impacto que tienen el diseño de las circulaciones, la iluminación y las vistas en actividades específicas del aprendizaje, tales como la lectura de comprensión, el vocabulario, el arte del lenguaje, matemáticas, estudios sociales y la ciencia. La tabla 1.1 muestra un resumen de las correspondencias que se encontraron entre los tres factores físicos mencionados y las habilidades evaluadas en los alumnos mediante una prueba estandarizada. Se puede observar en ella que no todas las habilidades se ven afectadas de igual manera por todas las variables físicas, sin embargo existe una clara relación entre ellas.

8- "School Design and Planning Laboratory" SDPL, consultado 15 Agosto, 2013, <http://sdpl.coe.uga.edu/sdpl.html>

9- Kenneth Tanner. "Effects of school design on student outcomes". *Journal of Educational Administration*. Emerald Group Publishing Limited, Vol. 47, no. 3 (2009): 381-399. <http://sdpl.coe.uga.edu/research/TannerResearchAward.pdf>

	Lectura de comprensión	Vocabulario de lectura	Arte del lenguaje	Matemáticas	Estudios sociales	Ciencia
Movimiento y circulación	X		X	X		X
Luz natural		X				X
Vistas		X	X	X		

Tabla 1.1. Tabla resumen de relación entre variables físicas de las escuelas y habilidades. Elaboración propia con información de: *Effects of school design on student outcomes*, Tanner (2009).

En zonas con temperaturas extremas se han conducido estudios que permiten determinar el grado de afectación en los alumnos en presencia de un ambiente que no tiene una regulación térmica adecuada. En el artículo *Thermal comfort in school buildings in the tropics*¹⁰, escrito por Kerrie Prescott se presenta un análisis de varios factores asociados a la relación existente entre altas temperaturas y rendimiento en las escuelas de Queensland, Australia. Los puntos focales de esta investigación son: rendimiento escolar, salud de los alumnos, enfriamiento de los espacios y ahorro de energía ligado a la climatización pasiva de las aulas. En cuanto al rendimiento escolar y salud de los alumnos, se observó que en las escuelas algunos de ellos sufrían el "estrés por calor" cuando las temperaturas de las aulas excedían los niveles recomendados, lo cual les provocaba náuseas, mareos e incluso deshidratación, dando lugar a un bajo rendimiento escolar. Por otro lado, dado que las temperaturas en los trópicos suelen ser muy altas y además presentan un gran contenido de humedad, se discute la necesidad de instalar un aire acondicionado, que en general representa un gran gasto para todo el sistema educativo. La autora propone una serie de adecuaciones que permitirían contar con aulas confortables, dentro de los cuales destaca modificar el horario de las clases para evitar las horas de mayor calor dentro de las aulas, incluir sistemas de ventilación pasiva que puedan ser fácilmente operables por los maestros, basados en un análisis bioclimático de la escuela que permita determinar si la orientación, ventilación y fachadas

10- Kerrie Prescott, "Thermal comfort in school buildings in the tropic", *Environment Design Guide*, no. 42 (2012): 1.

son las adecuadas, además de proponer sistemas mecánicos de climatización sólo cuando sea realmente necesario, con la pertinente capacitación y educación de los usuarios para evitar el desperdicio de energía.

En el caso de la evaluación del confort lumínico en escuelas se han realizado diversas investigaciones. Uno de los estudios más sobresalientes llevados a cabo en este rubro es el realizado por Heschong Mahone Group para la “Pacific Gas and Electric Company” en el marco del programa Public Interest Research Energy (PIER) promovido por la Comisión de Energía del Estado de California en Estados Unidos. En la investigación titulada *Daylighting in schools. An investigation into the relationship between daylighting and human performance*¹¹ se analizaron tres distritos escolares distintos. En ellos se hizo una selección y clasificación de las escuelas que participarían en el análisis, evaluando las características que cada una presentaba respecto a la iluminación natural. Las opciones de aulas que encontraron discrepaban bastante entre ellas, desde las que poseían gran iluminación gracias a ventanas y domos hasta aquellas en que definitivamente ni siquiera existían ventanas. En las conclusiones se establece que, pese a pensar en un inicio que no se encontraría una clara relación entre estas dos variables, los tres distritos analizados presentaron una gran contundencia respecto al efecto positivo provocado por la luz natural, pues todos los estudiantes tuvieron un mejor desempeño en las escuelas que contaban con dicha característica, sobre todo en aquellas cuya iluminación se obtenía a través de domos o tragaluces, es decir, iluminación cenital.

Como se puede ver, los estudios referidos muestran de manera terminante la existencia de una relación directa entre el desempeño de los estudiantes de acuerdo con la calidad de las aulas en que estudian. La tendencia de la matrícula de nivel superior en nuestro país es creciente y la necesidad de

11- Lisa Heschong, *Daylighting in schools. An investigation into the relationship between daylighting and human performance*, (California: Pacific Electric Gas Company, 1999), versión electrónica.

contar con espacios que se adapten a su medio para potenciar las habilidades de los estudiantes, brindar espacios de calidad, así como, conocer y analizar los factores que condicionan el confort en el aula de nivel superior, se vuelve un tema crucial dentro del campo arquitectónico y educativo.

1.1.4 Razones para evaluar la calidad térmica y lumínica en las aulas de nivel superior

Con base en lo presentado en los supcapítulos anteriores, se hace notorio que realizar un análisis de todos los aspectos del confort presentes en el aula sería un trabajo sumamente extenso y con participación de muchos integrantes. Por ello se decidió acotar los aspectos del confort a ser evaluados en el presente proyecto de investigación. Se decidió evaluar únicamente las condiciones térmicas y lumínicas de las aulas por las siguientes razones:

-Pese a que todos los tipos de confort son importantes y ninguno tiene más peso sobre otro en la definición de la calidad ambiental del interior, el confort térmico y lumínico están ligados de manera mucho más estrecha puesto que ambos dependen de la energía que la edificación recibe del sol, ya sea la componente térmica o la componente lumínica.

-Dado que los factores climáticos condicionan el comportamiento térmico del edificio, los parámetros de diseño que se podrían obtener, tienen una aplicación relativamente mayor por la extensión geográfica del clima analizado. Por su parte, las condiciones lumínicas también tienen una aplicación igual de extensa de acuerdo con la latitud y disponibilidad de luz natural.

-El diseño de fachadas se debe realizar evaluando de manera conjunta los aspectos térmicos y lumínicos de las aulas en cuanto a la distribución de macizos y vanos para garantizar que la ganancia calórica será la adecuada dependiendo del periodo del año del que se trate (el más cálido con menor ganancia y el más frío con mayor ganancia), así como, determinar que

las ventanas serán suficientes y permitirán tener los niveles de iluminación adecuados. El conocimiento y aplicación de la gráfica solar es una herramienta indispensable para el diseño arquitectónico relacionado con ambos aspectos.

-El enfoque bioclimático en el diseño de un edificio para climatizar de manera pasiva los espacios y el uso de la iluminación natural son temas que impactan de manera importante en el ahorro de energía eléctrica, puesto que su objetivo es evitar la implementación de sistemas de climatización mecánica y el uso de luz artificial.

-El confort auditivo y olfativo están condicionados por la ubicación exacta del edificio que se vaya a estudiar. Si bien su aplicación podría tender a ser “universal” en cuanto al uso de materiales aislantes para determinados decibeles y frecuencias, las decisiones arquitectónicas de cómo aplicar los materiales se pueden tomar únicamente cuando se ha analizado el contexto inmediato al edificio y se han identificado las posibles fuentes de ruido y/o contaminación olfativa.

-El presente proyecto de investigación parte del trabajo que han realizado otros investigadores previamente y asume como premisa que el confort psicológico es consecuencia del confort físico, por lo que no se evaluará la percepción que los usuarios tienen del caso de estudio propuesto y se centrará únicamente en evaluar la calidad térmica y lumínica. Es decir, no se pretende realizar una valoración del confort psicológico.

1.2 Estudios análogos sobre condiciones térmicas y lumínicas en el aula

Existe una gran cantidad de textos que abordan el análisis del confort térmico y lumínico en el aula. Algunos de ellos los relacionan con el aprovechamiento escolar, la salud o el ahorro energético. La información que desde el campo de la tecnología en arquitectura es importante identificar en dichos estudios, radica en el método que utilizaron los investigadores para evaluar las condiciones tanto térmicas

como lumínicas de los espacios propuestos, así como las conclusiones donde se establezca si la climatización pasiva y el uso de la iluminación natural (que en el presente proyecto de investigación se proponen como criterios que deben ser aplicados en los edificios), tienen resultados favorables. A continuación se mostrará un par de estudios que fueron los más significativos porque su método de trabajo y conclusiones tienen un paralelismo muy cercano a lo que se propone para el presente proyecto de investigación.

1.2.1 Evaluación de las condiciones térmicas

La mayoría de trabajos de investigación que hablan sobre el confort térmico en edificios educativos, normalmente se llevan a cabo en países o ciudades en donde el clima es extremo, ya sea por altas o bajas temperaturas. Sin embargo, el número de estudios que analizan edificios en temperaturas altas es significativamente mayor. En medida se debe a que en temperaturas bajas, cuando una persona no se siente en confort puede regular su sensación a través de la vestimenta. Por el contrario, cuando se trata de temperaturas altas, no es fácilmente regulable a través de la misma. Muchas veces el hecho de abrir las ventanas y permitir la circulación del viento no es suficiente para disminuir la temperatura interna y requiere un mayor conocimiento sobre el tema puesto que se podría lograr exactamente el efecto contrario.

Un ejemplo de investigación nacional en este campo lo constituye la tesis de maestría de Elba Georgina Hernández Barreda por la Universidad de Colima titulada *Factores físicos del medio ambiente vinculados al aprovechamiento escolar, dentro de las secundarias del municipio de Colima*¹². En la investigación se analizan los datos de temperatura interior de seis aulas en tres escuelas secundarias con características arquitectónicas distintas. Se llevaron a cabo mediciones en sitio de temperatura

12- Elba Georgina Hernández Barreda, “Factores físicos del medio ambiente vinculados al aprovechamiento escolar, dentro de las secundarias del municipio de Colima” (Tesis de Maestría, Universidad de Colima, 2005), 238.

y humedad y se realizó un análisis arquitectónico del edificio. Dado que existen diferentes periodos climáticos en este municipio, se estableció que el análisis debía separarse para las siguientes temporadas: temporada cálida húmeda, temporada semitemplada y temporada cálida seca. Tras obtener los resultados, se presentaron las siguientes conclusiones:

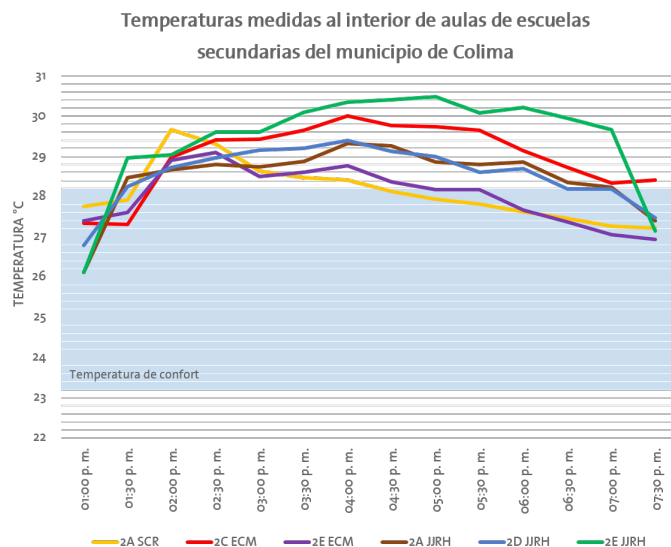
-Las escuelas que tuvieron un mejor desempeño térmico se encontraban rodeadas de vegetación, aun cuando ésta aumentaba la humedad del local.

-Al tratarse de escuelas de dos niveles, las aulas colocadas en planta baja siempre tuvieron un mejor desempeño térmico que la planta superior.

-La posición del aula dentro del conjunto no marcó ninguna diferencia en su comportamiento térmico, es decir, no existió diferencia alguna entre las aulas localizadas al final del pasillo o las aulas centrales.

Si bien el objetivo de la Mtra. Hernández era estudiar el grado de afectación de las condiciones térmicas del aula en el desempeño de los estudiantes, el análisis que realizó de las características arquitectónicas de los edificios permiten observar las diferencias que se pueden llegar a presentar por efecto del contexto inmediato, aun cuando se encuentren en la misma zona climática. Como ejemplo, en la gráfica 1.1 se presentan las mediciones obtenidas en las aulas para la temporada cálida húmeda, que aunque no es la más cálida del año, muestra de manera clara la gran diferencia y oscilación de temperaturas en las aulas por efecto de la humedad. Se puede observar que el aula perteneciente al grupo 2°E de la secundaria Jesús Reyes Heróles (2E JJRH) es la que presenta las temperaturas más altas durante el periodo de medición, mientras que las aulas del grupo 2°E de la secundaria Enrique Corona Morfín (2E ECM) y el 2°A de la secundaria Salvador Cisneros Ramírez (2A SCR) estuvieron mayor tiempo dentro de las temperaturas de confort establecidas. Esto se debe básicamente a dos razones: a pesar de que el aula del grupo 2E

JJRH se encuentra en planta baja, está localizado exactamente enfrente de una plancha de concreto que sirve como patio cívico de la escuela hacia el norte. Hacia el sur tiene una fachada completamente libre de obstáculos y un terreno sin pasto ni vegetación, lo que provoca que exista una gran cantidad de radiación sobre sus fachadas. Por su parte los grupos 2E ECM y 2A SCR tienen la característica de estar en aulas de planta baja en entornos completamente rodeados de vegetación. De ahí que la radiación que reciben sea menor.



Gráfica 1.1. Resultado del monitoreo de la temperatura durante la temporada cálida húmeda. Elaboración propia con información de: Factores físicos del medio ambiente vinculados al aprovechamiento escolar, dentro de las secundarias del municipio de Colima, Hernández Barreda (2006).

Otro ejemplo sobresaliente, esta vez a nivel internacional, es el trabajo realizado en la Universidad Central de Venezuela (UCV) llamado *Diagnóstico de la calidad higrotérmica y de ventilación en espacios representativos de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU-UCV)*¹³.

13- María Eugenia Sosa, "Diagnóstico de la calidad higrotérmica y de ventilación en espacios representativos de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU-UCV)", *Tecnología y construcción*, Vol. 22-1 (2006): 55-62.

Este artículo forma parte de un proyecto de investigación realizado en la FAU-UCV por los investigadores María Eugenia Sosa, Geovanni Siem y Tibisay Alizo llamado *Diagnóstico de las condiciones de habitabilidad de un edificio patrimonial. Caso: Edificio de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, FAU-UCV*, llevado a cabo con el objetivo de evaluar las condiciones internas del edificio en varios frentes. Se evaluaron el confort higrotérmico, lumínico y acústico de espacios significativos del edificio principal tales como: aulas, auditorios, cubículos, pasillos y salas de conferencias. La importancia de hacer referencia a este estudio atiende a varios motivos:

1. Se trata de un edificio destinado a la educación superior, por lo cual, el paralelismo entre el edificio de la FAU y los objetivos del presente proyecto de investigación permite tener una comparación directa acerca de los sistemas de climatización pasiva y el uso de la luz natural.

2. El edificio pertenece al conjunto de la Universidad Central de Venezuela diseñado por el Arq. Carlos Raúl Villanueva y que fuera declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en el año 2000. Se trata de un edificio que, como se señala en el artículo, ha tenido que cambiar su configuración original para adaptarse a las nuevas necesidades de la comunidad universitaria. En algunos de los espacios han tenido que implementar el uso de aire acondicionado para lograr contar con el adecuado confort higrotérmico. Gracias a ello, tienen la posibilidad de hacer una comparativa entre sistemas pasivos (diseño original) y sistemas mecánicos de climatización (adaptaciones posteriores) para determinar cuál ofrece las mejores condiciones.

3. Dado que el edificio de la FAU-UCV también se encuentra en el hemisferio Norte, los criterios en cuanto a orientación del edificio para aprovechamiento de la iluminación y adaptación al clima son muy similares a aquellos que deberían aplicarse en la Ciudad de México. Sin embargo, no se debe perder de vista que a nivel de confort higrotérmico no se puede generar una comparación directa puesto que el clima en que se inserta este edificio pertenece al

cálido húmedo¹⁴, mientras que el Valle de México pertenece a un clima templado subhúmedo¹⁵. Por otro lado, en el aspecto lumínico, el paragón sí se puede realizar de manera directa.



Figura 1.3. Vista general de la torre principal de la FAU-UCV.

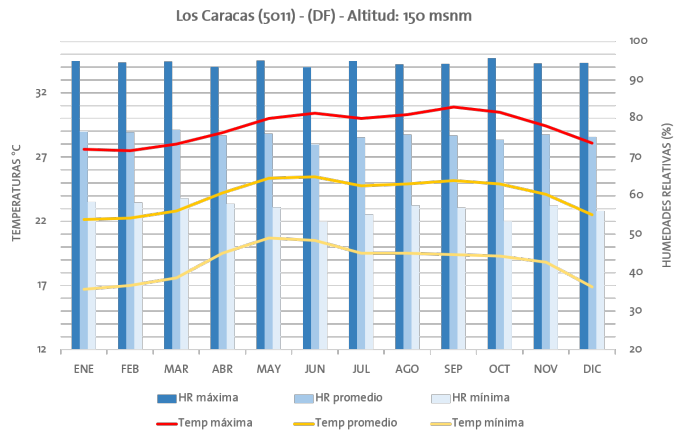
Fuente: <https://informedeldecanofau.files.wordpress.com/2009/10/1fau1.jpg>

En cuanto al método utilizado en el diagnóstico higrotérmico, éste constó de inspección ocular, selección de los espacios que fueron identificados con problemas de habitabilidad y experimentación en sitio, es decir, medición de temperatura y humedad relativa. Las mediciones se realizaron en el mes de mayo, identificado como el primer mes más caluroso en la ciudad de Caracas en el periodo que va de mayo a septiembre. En la gráfica 1.2 están representadas las temperaturas y humedades relativas estadísticas¹⁶ para esta ciudad, en ella se puede observar la oscilación anual de estos dos parámetros.

¹⁴ Sosa, "Diagnóstico de la calidad higrotérmica," 56.

¹⁵ "Clima del Distrito Federal", INEGI, consultada 28 septiembre, 2013, <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/clima.aspx?tema=me&e=09>

¹⁶ "Estadísticos básicos temperaturas y humedades relativas máximas y mínimas medias", Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, consultado 5 noviembre, 2014, http://www.inameh.gob.ve/documentos/ESTADISTICOS_BASICOS_TyHR_EXTREM.pdf



Gráfica 1.2. Temperaturas y humedades en la ciudad de Caracas, Venezuela. Elaboración propia con información de: Estadísticos básicos temperaturas y humedades relativas máximas y mínimas medias. INMEH, fuente: http://www.inameh.gob.ve/documentos/ESTADISTICOS_BASICOS_TyHR_EXTREM.pdf

De los espacios analizados, resaltan dos aulas dentro del mismo edificio pero en diferentes niveles: el aula 108 en el piso 1 y la 707 en el piso 7. La primera es un aula modificada en la cual se instaló un equipo de aire acondicionado, la segunda es un aula donde se ha respetado el diseño original y cuenta con climatización pasiva. Las mediciones realizadas en estos dos espacios demostraron que:

- Las aulas que contaban con ventilación cruzada tenían un mejor desempeño. Aquellas en donde la ventilación fue cancelada por la construcción de nuevos espacios presentaron temperaturas más elevadas.

- Las aulas con climatización pasiva (diseño original) contaron con una mejor aceptación por parte de los estudiantes en las encuestas de confort.

- Algunos de los equipos de aire acondicionado no funcionan de manera adecuada porque se modificó el diseño de las ventanas pivotantes, que existían en un principio, y se sustituyeron por abatibles que presentan deficiencias en su mecanismo y no se

pueden cerrar herméticamente.

- La falta de hermeticidad de las ventanas, como se indicó anteriormente, aunado a la falta de mantenimiento a los equipos de aire acondicionado origina un consumo excesivo de electricidad y una alta generación de ruido afectando el confort acústico.

Los resultados obtenidos en este proyecto de investigación evidencian los atinados criterios arquitectónicos que se tomaron en cuenta al momento de diseñar y construir el edificio de la FAU, y que a la fecha siguen funcionando en los espacios donde se ha mantenido la estructura original del edificio, sin embargo, en los espacios que fueron intervenidos, los niveles de disconfort higrotérmico en los usuarios fueron muy altos. En este caso específico, la climatización pasiva provee de mejores condiciones de confort interno que la mecánica. En la figura 1.4 que muestra la planta arquitectónica del piso 1 de la FAU se puede observar el área sombreada correspondiente al aula 108. En el diseño original, los cubículos que están justo enfrente del aula no se encontraban, éstos se acondicionaron posteriormente para brindar espacios a maestros e investigadores. La presencia de estos espacios (orientados al sur) evita que se pueda seguir contando con ventilación cruzada con el consiguiente aumento de la temperatura.

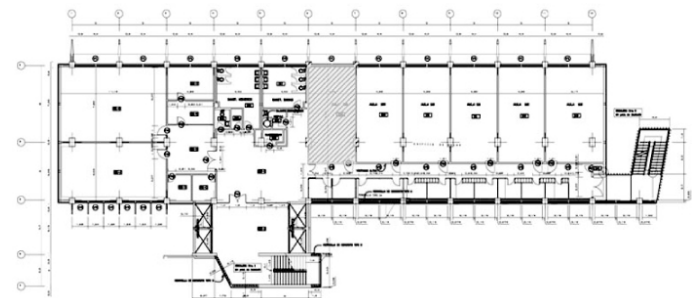


Figura 1.4. Planta arquitectónica del Piso 1 de la FAU. Fuente: Diagnóstico de la calidad higrotérmica y de ventilación en espacios representativos de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU-UCV), Sosa (2006).

Como comentarios acerca del método utilizado en el proyecto de investigación, la manera en que se presentan los resultados de las mediciones hacen suponer que el periodo de medición fue muy breve y que a partir de esos datos resulta un poco aventurado generar conclusiones. No se puede establecer, debido a que no se menciona en el artículo, si en realidad las mediciones se hicieron durante más tiempo y sólo se presentaron esos ejemplos como sobresalientes o realmente fueron los únicos que se realizaron. Aun así, la confrontación de las mediciones muestra la gran diferencia existente entre los espacios originales y los intervenidos. Otro aspecto importante es que no se menciona nada sobre las condiciones higrotérmicas en el mes más frío del año para conocer el comportamiento de las aulas durante este periodo. A partir de los datos climáticos de la ciudad de Caracas, se podría deducir que no se realizó porque la temperatura y la humedad se mantienen relativamente estables y las variaciones en las diferentes épocas del año tienen un rango muy pequeño. Caso contrario a la Ciudad de México donde la variación de temperaturas es más grande y se requerirá hacer un análisis térmico tanto para el periodo frío como para el periodo cálido.

1.2.2 Evaluación de las condiciones lumínicas

En este apartado se presentarán dos estudios realizados para evaluar las condiciones lumínicas en dos tipos diferentes de aulas y dos latitudes distintas. El primer estudio se llevó a cabo en la provincia de Tucumán, Argentina, ubicada en el hemisferio sur, mientras que el segundo se realizó en la ciudad de Caracas, Venezuela, es decir, el hemisferio norte.

La primer investigación se titula *Propuesta de diseño de ventanas unilaterales para mejorar las condiciones lumínicas y térmicas en aulas escolares de Tucumán*¹⁷, escrito por el Doctor Guillermo Enrique Gonzalo. Este estudio es particularmente importante porque genera parámetros de diseño que permiten

17- Guillermo Enrique Gonzalo, "Diseño de ventanas unilaterales en aulas escolares de Tucumán", *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 10 N° 2 (2006).

ser implementados en muchas aulas sin constreñirse a un solo caso en particular. A pesar de que el objetivo de este estudio fue evaluar la calidad lumínica, se analizaron de manera paralela la calidad térmica y de ventilación, aspectos referidos al confort térmico.

El primer paso fue identificar el tipo de aventanamiento que tienen las aulas escolares en toda la provincia y en particular las de San Miguel de Tucumán. Se identificaron tres tipologías diferentes: unilateral, bilateral y mixta (que presentan una combinación de ambas). Como se puede observar en la tabla 1.2, a pesar de que la situación de aventanamiento ideal es la bilateral, en ambos casos, esta tipología representa el porcentaje menor, por lo cual, el objetivo del estudio fue generar propuestas que permitieran adecuar los aventanamientos unilaterales existentes para que cumplieran con los estándares térmicos y lumínicos requeridos.

	Provincia de Tucumán	San Miguel de Tucumán (zona urbana)
Iluminación unilateral	54%	37%
Iluminación bilateral	22%	26%
Iluminación mixta	38%	38%

Tabla 1.2. Porcentajes de escuelas por tipología de aventanamiento en la provincia de Tucumán y San Miguel de Tucumán. Elaboración propia con información de: *Diseño de ventanas unilaterales en aulas escolares de Tucumán*, Gonzalo (2006).

En la parte experimental se elaboraron dos modelos a escala con ventanas similares pero de dimensiones diferentes y se colocaron aleros que impidieran el paso de la radiación solar a la vez que potenciaran la distribución lumínica al interior del aula. Los modelos se introdujeron a una cámara de cielo artificial y se les colocaron luxómetros en la parte interna para medir los niveles de iluminación. Las mediciones se realizaron en cuatro puntos perpendiculares a la ventana y a 80 cm del piso, altura en que se encuentra el plano de trabajo. En el modelo 1 el Coeficiente de Luz Diurna (CLD) superó el valor recomendado (2%) en todos los puntos, mientras que en el modelo 2 el punto más alejado de la ventana quedó apenas un 0.1% por debajo de dicho nivel (Figura 1.5).

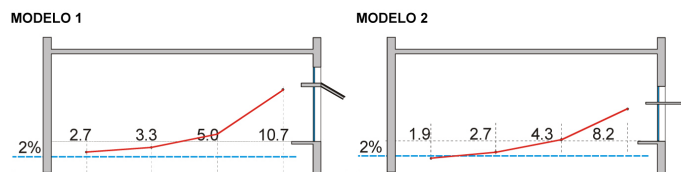


Figura 1.5. Valores de los Coeficientes de Luz Diurna en los puntos de análisis. Fuente: Propuesta de diseño de ventanas unilaterales para mejorar las condiciones lumínicas y térmicas en aulas escolares de Tucumán, Gonzalo (2006).

Posteriormente se realizó un estudio del comportamiento térmico de las aulas para verano e invierno, así como una simulación del viento. En ambos casos los resultados fueron favorables y se demostró que aun después de las intervenciones, las aulas seguirían contando con un adecuado confort térmico y con la ventilación necesaria. Con ello se concluye que las aulas con ventanas unilaterales pueden alcanzar niveles adecuados de iluminación al utilizar aleros protectores sin sacrificar el confort térmico y de ventilación.

El segundo estudio que se mostrará lleva por título *Diagnóstico de la calidad de iluminación en una edificación educativa patrimonial. Caso: Universidad Central de Venezuela*¹⁸. Este artículo, como se comentó anteriormente, pertenece a un proyecto de investigación dirigido por María Eugenia Sosa, Geovanni Siem y Tibusay Alizo en la FAU-UCV. Forma parte de un diagnóstico de habitabilidad que incluye estudios de confort térmico, lumínico y acústico. Los espacios que se evaluaron en estos tres aspectos son exactamente los mismos que en el estudio presentado anteriormente y al igual que en el confort higrotérmico, se realizaron mediciones en dos aulas del edificio, una que conserva el diseño original del Arq. Villanueva y una que fue intervenida.

Los resultados que arrojó la investigación son:

¹⁸- María Eugenia Sosa, "Diagnóstico de la calidad de iluminación en una edificación educativa patrimonial. Caso: Universidad Central de Venezuela", *Tecnología y construcción*, Vol. 25-1 (2009): 33-42.

-Tanto las aulas originales como las intervenidas presentan un buen desempeño lumínico puesto que todas tienen una orientación Norte en la cual se tiene la mejor ganancia lumínica evitando la radiación solar directa.

-Cuando se utilizó una iluminación mixta (iluminación natural y artificial de manera simultánea) se alcanzaron valores de hasta 1900 luxes mientras que, cuando se utilizó sólo la iluminación natural el máximo fue de 1300 y el mínimo de 380. De acuerdo con la normativa venezolana, el mínimo debería ser de 700 y, aunque en algunos momentos del día la iluminación del aula se encuentra por debajo de ese valor, el rango es aceptable y la iluminación artificial se puede utilizar para salvar dichas deficiencias (Figura 1.6).

-Los espacios intervenidos en todas las plantas del edificio se vieron afectados en cuanto a su desempeño lumínico debido a que no se llevó a cabo una correcta planeación para la redistribución del espacio. Tanto la iluminación natural como la artificial no se rediseñaron, lo cual derivó en obstrucciones y oscurecimiento de los espacios al grado de que algunos no cumplen con los niveles mínimos adecuados para el desarrollo de las actividades.

-La calidad de la iluminación también se vio afectada por la falta de mantenimiento de algunos espacios y algunos luminarios donde se identificaron tubos fluorescentes faltantes o que ya no funcionan.

-De manera general, el criterio de iluminación natural del proyecto original es el adecuado, sin embargo, sería necesario realizar un análisis completo de todo el edificio para identificar los casos de deficiencia y proponer un nuevo criterio de iluminación apoyada en la iluminación artificial para brindar el confort lumínico y visual necesario.

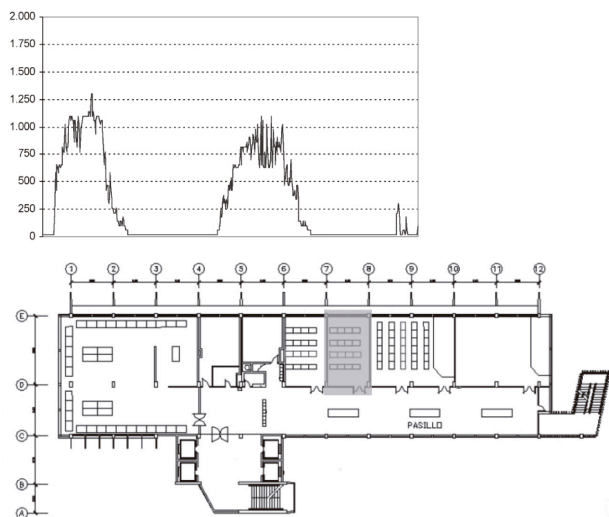


Figura 1.6. Gráfica con los valores de iluminación y plano con la localización del aula 707. Fuente: Diagnóstico de la calidad de iluminación en una edificación educativa patrimonial. Caso: Universidad Central de Venezuela, Sosa (2009).

De nuevo los resultados son contundentes y muestran las ventajas de la correcta selección de la orientación en un edificio. Tanto para Caracas como para la Ciudad de México, la orientación norte presenta las mejores ganancias lumínicas por lo que las ventanas de las aulas deberían abrirse siempre hacia ese punto cardinal.

1.3 Selección del caso de estudio

En el contexto de la creciente demanda de la población por acceder a los servicios de educación, cada día son más los jóvenes que buscan ocupar un espacio dentro de las distintas universidades públicas. En un esfuerzo por aumentar la oferta educativa, en años recientes se han construido algunos edificios nuevos en los límites de Ciudad Universitaria para incrementar la infraestructura física de algunas Facultades e incluso para la creación de nuevas carreras profesionales tales como la licenciatura en ciencia forense. A continuación se mostrarán cuatro ejemplos de edificios recientemente construidos en Ciudad Universitaria que contienen aulas.

1.3.1 Posgrado de Economía

Consta de dos cuerpos rectos que se intersectan de manera perpendicular (Figura 1.7). El volumen principal que contiene las aulas se encuentra emplazado con una orientación norte-sur desviado ligeramente hacia el oeste, por lo que sus aulas tienen ventanas hacia el este y el oeste.



Figura 1.7. Foto aérea del edificio del Posgrado de Economía. Fuente: Google maps.

De acuerdo a los criterios establecidos anteriormente, para contar con la mejor orientación, este edificio tendría que rotar 90 grados su disposición para que de manera natural, la orientación favoreciera el desarrollo de las actividades. Otra posibilidad sería incluir elementos sombreadores sobre sus fachadas para evitar la radiación directa hacia el interior en las fachadas este y oeste (Figura 1.8). Por otro lado, la ventilación de sus aulas es unilateral y no cuenta con vegetación aledaña que le pudiera generar sombra y permitir que el viento se refresque antes de llegar al edificio en meses de altas temperaturas y protegerlo del viento en los meses de bajas temperaturas.



Figura 1.8. Fachada oeste del Posgrado de Economía. Fotografía del autor.

1.3.2 Edificio “Adolfo Sánchez Vázquez”

Esta construcción pertenece a la Facultad de Filosofía y Letras. Se trata de un edificio dispuesto sobre una línea recta con orientación noroeste-sureste (Figura 1.9) por lo que sus fachadas se despliegan en las orientaciones noreste y suroeste.

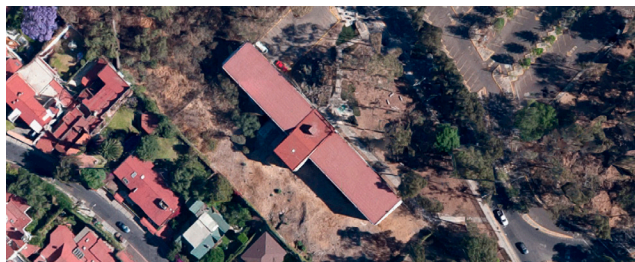


Figura 1.9. Foto aérea del edificio “Adolfo Sánchez Vázquez”. Fuente: Google maps.

La orientación que tiene el edificio no es la más adecuada, sin embargo los pasillos de acceso a las aulas sirven como elementos sombreadores durante la mañana. De esta manera, existe un remetimiento de las aulas evitando que se genere una radiación directa sobre las mismas y dejando un espacio entre éstas y la fachada externa. El único inconveniente de esta solución, es que, al cerrar dicha fachada con cristal (Figura 1.10), se crea un efecto invernadero sobre los pasillos y se reduce de manera considerable la ventilación, limitándola a una franja de ventanas corredizas. Cuenta con ventanas bilaterales en el sentido este-oeste y vegetación cercana sobre la fachada noreste.



Figura 1.10. Fachada noreste del edificio “Adolfo Sánchez Vázquez”. Fotografía del autor.

1.3.3 Edificio de la licenciatura en ciencia forense

El edificio, perteneciente a la Facultad de Medicina, consta de dos volúmenes rectangulares unidos perpendicularmente por sus extremos formando una escuadra en dos ejes: uno de los cuerpos se ubica sobre el eje oeste-este y el otro sobre el eje norte-sur (Figura 1.11).

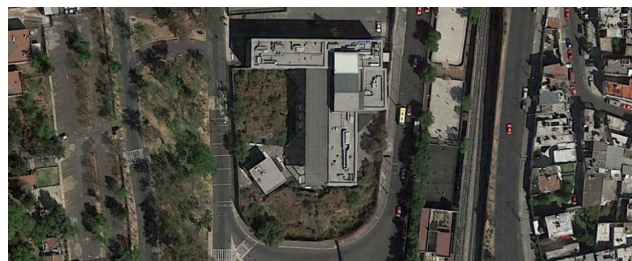


Figura 1.11. Foto aérea del edificio de la licenciatura en ciencias forenses. Fuente: Google Earth.

Las aulas se encuentran en el cuerpo ubicado sobre el eje norte-sur, por lo que sus fachadas están orientadas hacia el este y el oeste. Al igual que en el caso del Posgrado de Economía, este volumen debería estar girado 90° para aprovechar la iluminación proveniente del norte. La cubierta de este volumen se prolonga en el sentido oeste para dar protección a dicha fachada, sin embargo, dado que es traslúcida, alcanza a penetrar un poco de radiación sobre las aulas. El otro cuerpo contiene los laboratorios con ventanas que se abren hacia el norte, por lo que su orientación es adecuada (Figura 1.12).



Figura 1.12. Fachada norte del edificio de ciencias forenses. Fotografía del autor.

1.3.4 Unidad de Posgrado.

El conjunto cuenta con once edificios distintos dispuestos en dos círculos concéntricos ocupando casi tres cuartas partes de una circunferencia ubicados en los cuadrantes noroeste, noreste y sureste (Figura 1.13).



Figura 1.13. Foto aérea del edificio de la Unidad de Posgrado. Fuente: Google maps.

Debido a su forma circular no tiene una orientación específica, lo cual provoca que sólo un pequeño sector de aulas que se encuentra al norte cumpla con la orientación adecuada. Dentro de esas aulas, no todas tienen ventanas bilaterales por lo que no cuentan con ventilación cruzada ni

pueden garantizar una correcta iluminación. La separación entre ambos círculos permite que se genere un espacio que hace las veces de patio de iluminación y ventilación para los locales ubicados entre estas fachadas (Figura 1.14). En algunos momentos del día y épocas del año, esta condición provoca que entre los dos círculos del edificio se generen sombras que impiden la radiación sobre las plantas más bajas, afectando el confort tanto térmico como lumínico.



Figura 1.14. Fachada interna de la Unidad de Posgrado. Fotografía del autor.

1.3.5 Normativa vigente en la UNAM

Al comparar la planta arquitectónica de estos edificios es muy notorio que existe una tendencia geométrica hacia las plantas de forma rectangular, sin embargo, no existe un criterio de orientación que se repita en todas las construcciones nuevas, sobre todo considerando que los cuatro edificios son contemporáneos y sus usos son similares. Los terrenos en los que se emplazan son muy amplios y no tienen restricciones que impidieran darle una orientación distinta, por lo que ésta decisión quedó completamente en el equipo proyectista.

De estos ejemplos, el que más llama la atención es la Unidad de Posgrado por su planta circular y la multiplicidad de orientaciones que tienen sus aulas. Por esa misma razón es que fue elegido como caso de estudio. Su planta circular provoca que el análisis de las condiciones térmicas y lumínicas se vuelva aún más importante, ya que la diferencia de orientaciones entre todas sus aulas hacen suponer que los niveles de temperatura e iluminación que se presentan en cada una de ellas serán diferentes. De ser cierto, no se estaría garantizando que todas cuenten con las condiciones de confort térmicas y lumínicas idóneas.

Como ya se mencionó, no existe una regulación a nivel nacional en cuanto a la normativa que debería regir la construcción de edificios para la educación superior, de modo que queda en manos del área de obras y conservación de cada universidad definir los criterios arquitectónicos de emplazamiento, orientación de los edificios, el tamaño y la forma de las aulas, así como la volumetría y estética del mismo. Dentro de la normativa interna de la Universidad, resalta el trabajo realizado por el programa *EcoPuma* que propone la creación de ocho ejes temáticos para abordar el desarrollo sustentable de la UNAM. El quinto eje propuesto llamado *Construcción sustentable*, se apoya en un documento creado de manera interdisciplinaria que enumera los aspectos más importantes para la construcción de nuevos edificios.

Los *Lineamientos en materia de construcción sustentable*¹⁹ establecen las condiciones que deberían seguir los nuevos proyectos arquitectónicos con el fin de garantizar su correcto funcionamiento y su adecuada inserción en el ambiente en donde se desea construir. Para el presente proyecto de investigación, el apartado V. Uso eficiente de la energía es el de mayor relevancia, pues en él se explica la importancia de la climatización natural a través de: el diseño bioclimático, la ventilación y la iluminación naturales.

Para el caso del diseño bioclimático propone utilizar parámetros estándar basados en la distinción de cuatro climas presentes en la República Mexicana: cálido seco, cálido húmedo, templado y frío. De acuerdo con esta clasificación, el caso de estudio seleccionado se inserta en el clima templado, para el cual se propone de manera general evitar las ganancias térmicas en verano y propiciarlas en invierno. Para lograrlo se propone que las cubiertas de los edificios tengan una inclinación hacia el sur igual a la latitud del lugar para tener la mayor ganancia térmica por la incidencia de la radiación solar. Recomienda que para edificaciones mayores a 500 m² se realicen simulaciones térmicas con la ayuda de software especializado, en este caso, EnergyPlus o TRNSYS.

Respecto a la iluminación, de manera general se propone: privilegiar la iluminación natural sobre la artificial durante las horas del día, favorecer la radiación difusa, evitar la radiación directa mediante el uso de dispositivos de control solar, utilizar vidrios con filtros de radiación infrarroja y ultravioleta y realizar la evaluación de los diferentes espacios auxiliándose con software especializado, en este caso, DIALUX y Radiance.

¹⁹ “Lineamientos en materia de construcción sustentable”, Programa EcoPuma, Universidad Sustentable - UNAM, consultada 15 enero, 2015, https://ecopuma.unam.mx/PDF/SECCIONES/CONSTRUCCIONSUSTENTABLE/Criterios_construccion_sustentable.pdf

Todos los aspectos mencionados propuestos para los aspectos térmicos y lumínicos sirvieron para establecer los criterios de evaluación de las aulas dentro de la etapa de experimentación.

1.4 Conclusiones

De acuerdo con los conceptos presentados sobre la importancia y características del confort, así como la revisión de la bibliografía que aborda el tema de la relación existente entre características de la escuela, confort humano y rendimiento escolar, se puede establecer que la mayoría de los estudios concuerdan en la existencia de una relación ambiente-usuario. Las investigaciones referidas dan cuenta del impacto del confort interior del aula sobre la salud y rendimiento del estudiante, por lo cual se partirá de la premisa que, dado que la calidad del ambiente es definitiva para el bienestar y rendimiento de los estudiantes, corresponde a los arquitectos diseñar y construir edificios educativos confortables que cumplan con los requerimientos mínimos de habitabilidad.

Los estudios mostrados como marco de referencia dan cuenta de la importancia de confrontar resultados de espacios o edificios que se encuentren sometidos a las mismas circunstancias térmicas y lumínicas, para aislar todas las variables posibles que pudieran afectar a los resultados. En el caso de estudio propuesto (la Unidad de Posgrado) al comparar distintas aulas dentro del mismo edificio, se podrá observar el peso que tiene la componente arquitectónica en la generación de confort, partiendo que todas están sujetas a las mismas condiciones ambientales.

Cabe reiterar que el objetivo del presente proyecto de investigación no es determinar los grados de confort térmico y lumínico en el ser humano, los cuales se tomarán de las normativas vigentes aplicables en la Ciudad de México y se presentarán a detalle en los siguientes capítulos. Tampoco lo es el descubrir el nivel de afectación en el rendimiento de los

estudiantes. El objetivo principal es evaluar las condiciones térmicas y lumínicas de un caso de estudio en particular y, a través de los resultados obtenidos para cada espacio analizado en cada rubro, generar las recomendaciones pertinentes que auxilien en el proceso de adecuación de los mismos para que se garantice el confort térmico y lumínico. Además, dichos criterios podrían ser utilizados en el diseño de nuevos edificios educativos de nivel superior.

CAPÍTULO 2

Evaluación térmica

Para poder explicar el confort térmico se tiene que estudiar el concepto a partir de los dos actores involucrados en la generación del mismo: el ser humano y el edificio. La primera parte, entonces, está dirigida a entenderlo desde el punto de vista del usuario y cómo es que se puede asegurar que éste se encuentre o no en confort de acuerdo con sus características fisiológicas y psicológicas; por otro lado, para poder determinar si un edificio cumple o no con los niveles establecidos para el confort térmico, se debe llevar a cabo un análisis del intercambio de calor que éste realiza con el ambiente que lo rodea. Para cubrir ambos aspectos, en los siguientes subcapítulos, se partirá de establecer la definición de confort térmico en el humano y los factores de los cuales depende. Posteriormente se presentará una comparativa de los rangos propuestos por diferentes autores, de los cuales se seleccionará uno y se argumentará su selección. En cuanto al cálculo térmico de los edificios, se presentan diversos métodos de evaluación de los cuales se seleccionó uno para ser aplicado en la parte experimental del presente proyecto de investigación.

2.1 Confort térmico

2.1.1 Definición

La American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers (ASHRAE)²⁰ es una asociación con

sede en Estados Unidos, pero integrada por miembros de todo el mundo dedicada a la investigación en los temas de eficiencia energética, calidad del aire interior, y la sostenibilidad de la industria. Gracias a su trabajo en la investigación, redacción de normas, publicación y educación continua se le considera una de las máximas autoridades en el tema del confort térmico y la evaluación energética de edificios. La definición que el ASHRAE ofrece para el confort térmico es:

“La condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico que rodea a una persona y que es evaluado de manera subjetiva. El confort térmico se ve afectado por la conducción, convección y la radiación de calor, la pérdida por evaporación del mismo y el movimiento relativo del aire”.²¹

Como se puede observar en la definición propuesta, se considera que existe una componente física y una psicológica para poder definir al confort térmico. Es importante siempre tenerlo presente, puesto que los rangos de confort térmico no son iguales para todas las personas en todas las zonas del planeta. Mientras que las personas que viven más cerca del Ecuador mostrarán preferencia por temperaturas más altas, las personas que viven más cerca de los polos mostrarán mejor adaptabilidad a entornos con temperaturas bajas. Por ello, más que ofrecer un rango de temperaturas del aire para definirlo, el ASHRAE propone

20- “ASHRAE” <https://www.ashrae.org/>

21 - “ASHRAE Terminology” ASHRAE, consultada 10 marzo, 2013, <https://www.ashrae.org/resources--publications/free-resources/ashrae-terminology>

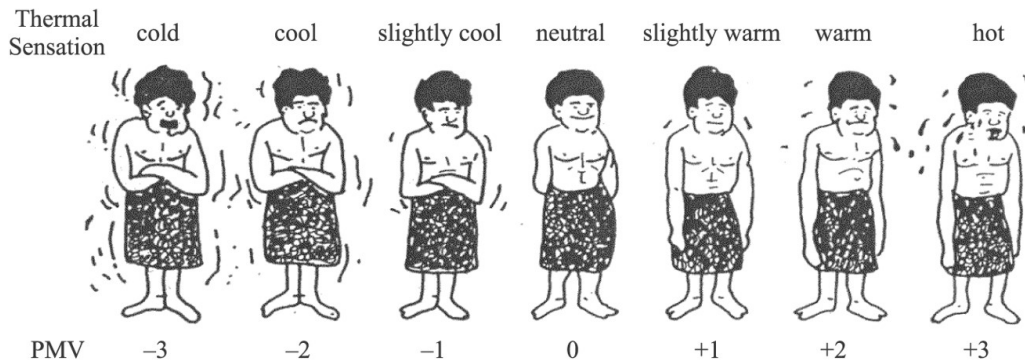


Figura 2.1. Escala de sensación térmica en las personas. Fuente: *Thermal Comfort*, Auliciems (2007).

una escala con la que las personas pueden identificar su sensación respecto al ambiente térmico.

La escala de sensación térmica consta de 7 niveles que va del 3 (caliente) a -3 (frío). En la figura 2.1 se muestra de manera gráfica la sensación correspondiente a cada uno de los niveles de dicha escala. A través de ella, el usuario puede evaluar su sensación térmica en un determinado espacio y esto permite a los investigadores establecer un rango de confort para un cierto tipo de usuarios que pueden agruparse por nacionalidad, sexo, edad, etc. En este punto ya es posible establecer un rango que será identificado con una temperatura mínima y una máxima. Es claro, sin embargo, que existe un límite fisiológico que afecta a cualquier persona independientemente de su preferencia térmica.

La posibilidad de que existiera vida en nuestro planeta no fue un hecho fortuito, dependió en buena medida de su posición respecto al sol, su trayectoria alrededor de él y la presencia de una atmósfera idónea. Para llegar a este punto, tuvo que pasar por periodos de extremo calor y extremo frío, en los cuales no existió ni un solo rasgo de vida. Sin embargo, cuando su temperatura se estabilizó dio origen a una amplísima variedad de especies vegetales y animales, dentro de los cuales nos encontramos los seres humanos. La relación que tenemos con la temperatura presente en la atmósfera es sumamente importante, de ello depende en buena parte nuestra salud y más aún nuestra vida. El Doctor Ken Parsons, de la Universidad

de Loughborough, experto en confort térmico humano, explica dicha relación de la siguiente manera:

“El cuerpo humano responde a las variables ambientales a través de una interacción dinámica que podría conducir a la muerte si la respuesta es inapropiada o si los niveles de energía sobrepasan los límites de la supervivencia, dicho estado genera tensión en el cuerpo debido a que éste utiliza los recursos de los cuales dispone para mantener un estado óptimo. En el caso del ambiente térmico, éste determinará si una persona se encuentra en un estado de calor, frío o en confort”.²²

Tal como lo señala Parsons, el cuerpo se encuentra en un estado continuo de intercambio de calor con el ambiente. Gracias a Fanger²³, se ha logrado establecer desde 1970 los llamados “seis parámetros básicos” que inciden en dicho intercambio de calor y que, por tanto, son responsables de la sensación de confort térmico en las personas. Estos son:

1. Temperatura del aire
2. Temperatura radiante
3. Humedad

22- Ken Parsons, “Human thermal environments: The effects of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance”, (Boca ratón: CRC Press, 2014), 2.

23- Referenciado en: Parsons, “Human thermal environments”, 308.

4. Movimiento del aire
5. Actividad de la persona
6. Vestimenta

La sensación térmica de las personas estará determinada por la manera en que estos seis parámetros se relacionen. Por ejemplo: si la temperatura del aire es baja pero la persona se encuentra haciendo una actividad física intensa, como el deporte, su sensación será de bienestar puesto que el calor que produce se está perdiendo de manera constante con el entorno y compensa la ausencia de calor presente en el ambiente. En la misma situación, si la persona se encuentra en un estado sedentario, sentirá su ambiente frío puesto que el poco calor que genera lo perderá rápidamente y tendrá que recurrir a vestimenta más pesada y aislante para sentirse en confort.

Cuando se presentan condiciones ambientales adversas, el cuerpo tiene dos mecanismos de defensa. El primero se presenta cuando hay mucho calor y las venas se dilatan para permitir el intercambio continuo del mismo con el ambiente. A dicho proceso se llama vasodilatación. La vasoconstricción se presenta en la situación opuesta (Figura 2.2), es decir, cuando se trata de que el calor no se escape del cuerpo en ambientes fríos y entonces se contraen las venas. El órgano encargado de la termorregulación del cuerpo humano, y por tanto de dichas reacciones, es el hipotálamo. Los factores que están involucrados en el intercambio de calor son: el área superficial del cuerpo, la pérdida de calor sensible por la piel, la pérdida de calor por evaporación en la piel y las pérdidas por respiración. Cada uno interviene de manera distinta: la pérdida de calor por radiación en el cuerpo humano representa un 60%, siendo el porcentaje más alto, al cual le sigue la evaporación con un 22%, la conducción al aire con 12% y la conducción a objetos con 3% ²⁴.

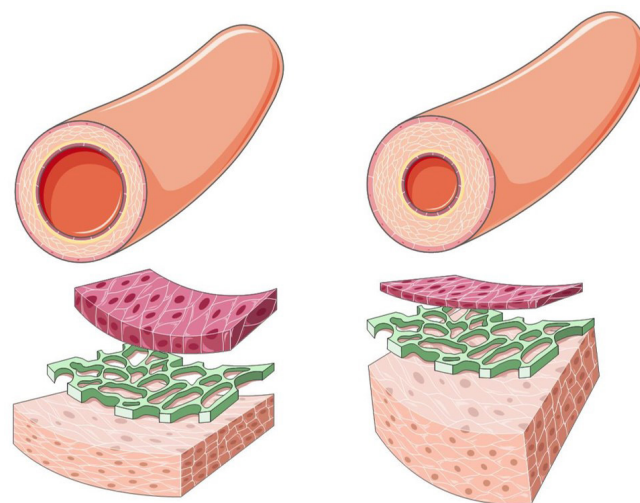


Figura 2.2. Procesos de vasodilatación y vasoconstricción de las venas. Fuente: <http://ocularis.es/blog/la-retinopatia-hipertensiva/>

La temperatura interna en una persona oscila entre los 36.5°C y 37.5°C como resultado del calor producido por el cuerpo, la rapidez con que se pierde el mismo debido al metabolismo de la persona, así como a sus actividades. No debe perderse de vista que no todas las partes del cuerpo tienen la misma temperatura, ésta disminuye en función de su cercanía o lejanía con el corazón. Por ejemplo: la cabeza tiene una temperatura promedio de 34°C, mientras que los brazos tienen 31°C, las manos 30°C, las piernas 33°C, las pantorrillas 31°C y los pies, al igual que las manos, 30°C. Estas temperaturas se distinguen de manera mucho más precisa cuando el cuerpo está sometido a un ambiente frío, mientras que en un ambiente cálido, la temperatura tenderá a ser uniforme pero probablemente, más alta de aquella que el cuerpo puede soportar (Figura 2.3).

24- Apuntes del curso "Sistemas pasivos de climatización" durante el semestre 2014-2 con el Dr. José Diego Morales Ramírez.

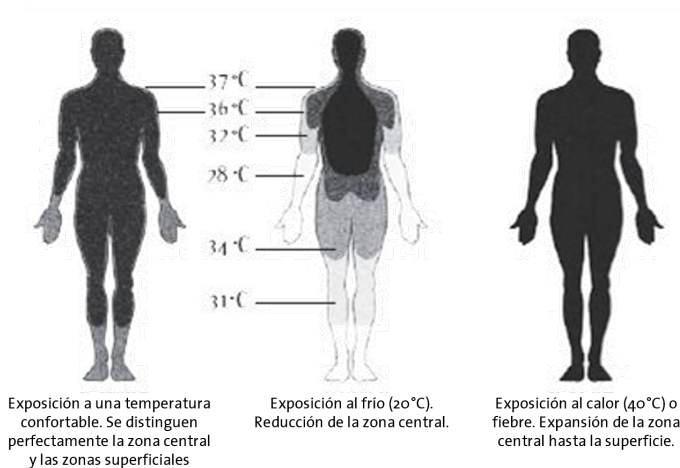


Figura 2.3. Variación de la temperatura interna en función del entorno exterior. Fuente: <http://www.elblogalternativo.com/2010/09/29/la-fiebre-tu-gran-aliada/#>

En el funcionamiento del cuerpo, debe existir un equilibrio entre ganancias y pérdidas de calor puesto que un aumento o disminución de temperatura podría ocasionar hipotermia o un golpe de calor con consecuencias incluso fatales. Para este caso se sabe que la temperatura de la piel mayor a 45°C y menor a 18°C produce dolor, mientras que una temperatura interna menor a 27.7°C puede producir arritmia cardiaca seria y muerte; si por el contrario, es superior a 46°C podría causar daños cerebrales irreversibles. Por su lado, en el ambiente existen dos límites: el inferior con una temperatura mínima de 15,5°C considerada una zona de hipotermia mientras que la máxima es de 55°C, una zona de hipertermia. Si se rebasan estos dos límites, las consecuencias también podrían ser fatales.

En la figura 2.4 tomada del texto *Human comfort and health requirements* utilizado en el curso de HVAC Engineering de la profesora Ashley F. Emery²⁵ de la Universidad de Washington, Estados Unidos, se muestra una escala de temperatura a la cual corresponden 9 tipos de sensaciones

25- "HVAC Engineering course", Ashley F. Emery, consultada 15 mayo, 2014, <http://courses.washington.edu/me333afe/>

térmicas distintas, que van desde muy caliente, hasta muy frío, las cuales a su vez se relacionan con una sensación de confort o desconfort. Cada una de estas etiquetas que se producen, desde un punto de vista subjetivo del usuario, en realidad tienen una repercusión objetiva en el estado de salud. Como ya se ha mencionado, el cuerpo recurrirá a todos sus recursos para situarse en un estado de equilibrio, sin embargo, cuando se superen dichos límites, su salud y su vida estarán en riesgo.

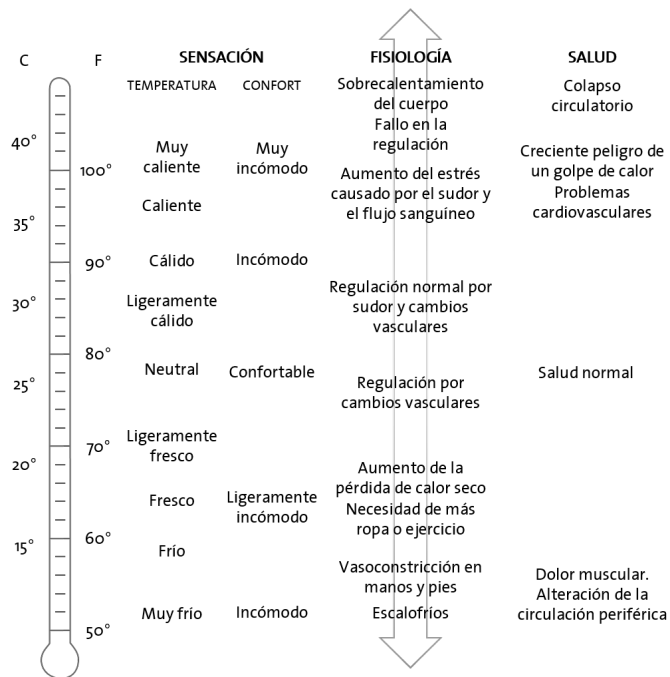


Figura 2.4. Escala de temperatura relacionada con el confort, la fisiología y la salud. Elaboración propia con información de: HVAC Engineering course Ashley F. Emery (2014)

2.1.2 Rangos de confort térmico en el aula

De acuerdo con los parámetros definidos en el apartado anterior, distintos autores han realizado propuestas para determinar el rango de confort térmico humano. A continuación se presentará una tabla comparativa de los rangos más significativos recomendados por diferentes autores

y normativas. Los rangos que se presentan son aconsejados para individuos que tienen una actividad sedentaria y una vestimenta ligera.

Autor	Rango de confort térmico
Baruch Givoni	21 °C a 26 °C
Victor Olgyay	23.9°C a 29.5°C
ASHRAE	20.55°C a 24.44°C (Invierno) 23.33 °C a 27.22°C (Verano)
Andris Auliciems	18.3 °C a 25.3°C (Invierno) 20.3 °C a 27.3 °C (Verano)

Tabla 2.1. Concentrado de los rangos de confort térmico establecidos por diferentes autores. Elaboración propia con información de: *Modelo holístico para analizar el confort térmico del ser humano dentro de los edificios*, Mayorga (2005).

De acuerdo con los valores presentados en la tabla 2.1 se puede ver que pese a que los rangos propuestos en los distintos casos son relativamente similares, existen diferencias importantes en cuanto a la amplitud del rango de confort y de los mínimos y máximos permisibles. Los estudios tanto del ASHRAE como de Andris Auliciems son mucho más específicos en ese sentido puesto que marcan una diferencia entre la temporada fría y la cálida. Esto es importante tomarlo en cuenta, ya que, dependiendo de los resultados que arroje la etapa experimental, se tendrán que tomar medidas que le garanticen a todas las aulas encontrarse dentro del rango de confort en cualquier periodo del año. Si los límites permisibles se mantienen con un rango reducido a lo largo de todo el año existe el riesgo de ofrecer soluciones que sean muy costosas, ya que el volumen de energía necesaria para elevar o disminuir la temperatura interna sería muy alto. En ese caso, incluso se podría pensar que es necesario proponer un sistema de climatización mecánica que en realidad podría evitarse, al igual que el gasto energético que produciría.

De los rangos presentados se decidió utilizar el propuesto por el INIFED por las siguientes razones:

-Los rangos propuestos por otros autores se refieren a un rango general no específico para aulas de clase.

-Es el único rango presente dentro de la normativa mexicana específico para espacios educativos.

-Este mismo rango está propuesto en el punto 5.2.5.3.1 de la Norma Mexicana de edificación sustentable – criterios y requerimientos ambientales mínimos. NMX-AA-164-SCFI-2013.²⁶

-A pesar de ser un rango reducido al compararlo con otros, es lo suficientemente amplio para poder permitir que un mayor número de personas se encuentren en confort.

2.2 Transferencia de calor en edificios

La manera en que se realiza la evaluación térmica de un edificio está basada en el principio de transmisión del calor, entendiendo a la envolvente arquitectónica como un instrumento de intercambio de energía con el medio ambiente inmediato que la rodea. Para poder realizar el balance de calor en un edificio se deben evaluar las condiciones bajo las cuales gana o pierde energía. En la figura 2.5 se presenta un esquema de las condiciones que intervienen en el balance de calor de un edificio:

26- "Norma mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013," Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, consultada 14 octubre, 2014, <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFs/DO3156.pdf>

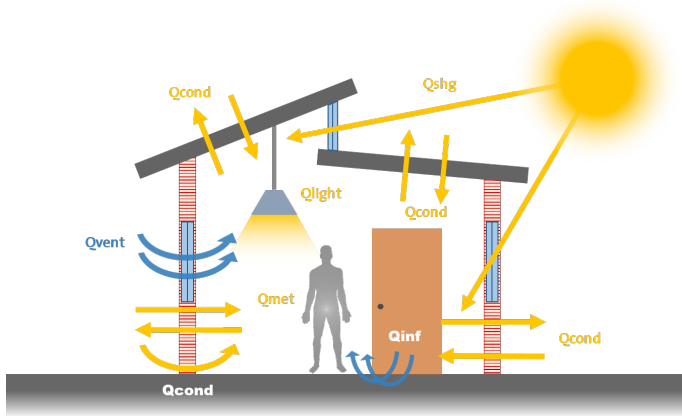


Figura 2.5. Cargas térmicas presentes en un edificio. Elaboración propia con información del curso “Cálculo térmico de edificios” impartido por el Dr. Diego Morales.

Donde:

Q_{cond} = Flujo de calor por conducción. Se determina la ganancia o pérdida del calor mediante el estudio de las propiedades térmicas de los materiales del edificio y la diferencia existente entre la temperatura interior y la exterior.

Q_{shg} = Flujo de calor por radiación directa. Se determina la cantidad de ganancia de calor que se tiene mediante la incidencia solar directa sobre las ventanas o materiales traslúcidos.

Q_{vent} = Flujo de calor por ventilación. Se determina la ganancia o pérdida de calor por efecto de la presencia o ausencia del viento.

Q_{inf} = Flujo de calor por infiltración. Se determina la ganancia o pérdida de calor a través de las rendijas de puertas y ventanas.

Q_{met} = Flujo de calor por persona. Se determina cuánto calor producen las personas presentes en el espacio de acuerdo a la actividad que realizan principalmente.

Q_{light} = Flujo de calor por equipos eléctricos. Se contabilizan los equipos eléctricos y luminarias presentes en el espacio y se multiplica por el número de watts que consumen para determinar la ganancia calórica.

Al calcular esta transferencia de energía, expresada en ganancias o pérdidas se pueden predecir las temperaturas interiores de los edificios, pero también se puede saber con exactitud, cuáles son los aspectos por los que estos pierden o ganan más calor. Si la temperatura interna se encuentra dentro del rango de confort, entonces la manera en que el edificio está respondiendo al medio es correcta. Si no es así, se tendrían que llevar a cabo cambios puntuales que inciden en esta ganancia o pérdida no deseada, según sea el caso.

2.3 Métodos de evaluación térmica

Los métodos que existen actualmente para realizar evaluaciones térmicas en edificios son cada vez más precisos y permiten hacer pronósticos de espacios que aún no se construyen, así como identificar las debilidades que presentan edificios ya construidos y que requieren ajustes para brindar las condiciones óptimas de confort térmico. Las simulaciones mediante software son cada vez más frecuentes gracias a la velocidad de tratamiento de la información y la posibilidad de ingresar los datos que el investigador requiere. Sin embargo, es importante saber elegir la paquetería que se utilizará puesto que ésta debe tener un margen de error mínimo y tener una amplia posibilidad de configuración. Así como algunos se basan únicamente en modelos matemáticos, muchos otros tienen un gran soporte basado en la investigación continua, auxiliándose con experimentos físicos que permiten enriquecer las expresiones que se utilizan para predecir las temperaturas internas. La evolución que las simulaciones térmicas han tenido no quiere decir que son perfectas o que son la única herramienta que se puede utilizar. De hecho, éstas requieren de una continuidad en la investigación que las soporta y que les permite mejorar los métodos matemáticos que utilizan, con el objetivo de ser cada vez más precisos y funcionales. Por

ello, se mostrará un ejemplo sobresaliente de investigación llevada a cabo en Europa como método físico para entender la transmisión del calor y se hará una comparativa de distintos softwares que pueden utilizarse en la elaboración de las simulaciones.

2.3.1 Métodos físicos

Uno de los experimentos más importantes que se hayan llevado a cabo para entender mejor la transmisión de calor en los edificios lo representan las llamadas “Test cell” en la Unión Europea. La Test Cell es una cámara de prueba que permite evaluar la transferencia de calor a través de las seis fachadas presentes en un edificio. Este proyecto tiene casi 30 años de desarrollarse en Europa bajo diversos nombres, con variantes y evoluciones a lo largo del tiempo en los sitios en que se han construido. Francia, Inglaterra, Alemania y España son algunos de los países que han dedicado esfuerzos muy importantes a su investigación y construcción. El objetivo principal del proyecto “Test Cell” a nivel de la Unión Europea radica en poder entender de manera mucho más eficaz, por un lado, la transferencia de calor con todas sus variantes y, por el otro, entender cómo se comportan los materiales en los distintos climas y verificar que los factores de conductividad que se consideran para ellos realmente son los mismos en todas las condiciones climáticas.

La más reciente Test Cell se construyó en la ciudad de Florencia, Italia²⁷ con el auspicio de la Unión Europea, en el año 2015 se comenzaron a obtener los datos de medición del proyecto. La Test Cell florentina se localiza en los jardines de la Facultad de Ingeniería y es resultado de la colaboración entre la Facultad de Ingeniería y la Facultad de Arquitectura. Al frente del proyecto se encuentra el Centro ABITA (Centro Interuniversitario di Architettura Bioecologica e Innovazione Tecnologica per l’Ambiente) como parte de su proyecto de

investigación llamado *Abitare Mediterraneo*. Esta Test Cell es de las primeras que se construyen en Italia y partió del estudio de sus homólogas anteriores para identificar los problemas que éstas tenían y ofrecer soluciones innovadoras para poder obtener datos de medición cada vez más confiables.

Algunas de las características que distinguen a la Test Cell de Florencia (Figura 2.6) de las construidas anteriormente son:

- Fue diseñada y construida con base en el clima mediterráneo con el objetivo de comprobar o refutar que los materiales se comportan de la misma manera que en climas fríos. De tener un comportamiento diverso, sería necesario realizar mediciones de todos los materiales de construcción bajo estas condiciones climáticas para determinar nuevos coeficientes de transmisión.

- Se buscó optimizar el nivel de aislamiento para medir el flujo de calor a través de la envolvente.

- Como función importante, tiene la posibilidad de ser rotada y orientada en cualquier posición.

- Sus fachadas están sombreadas con celosías de madera para evitar la radiación directa sobre éstas, lo cual había generado problemas en las anteriores versiones por una transferencia de calor sumamente alta.

- Se redujo al máximo la posible formación de puentes térmicos por diferencia de conductividad en los materiales.

27- Toda la información que se ofrece sobre la Test Cell de Florencia se obtuvo en la estancia de investigación que se realizó en la segunda mitad del año 2014 con el Centro ABITA.



Figura 2.6. Vista externa de la Test Cell de Florencia. Fotografía del autor.

Para este proyecto se contó con el apoyo de la Facultad de Ingeniería de la Università degli Studi di Firenze (UniFi) quienes desarrollaron las “tiles”, es decir, los módulos que cubren internamente las seis fachadas y miden el flujo de calor en el interior de la Test Cell. Consiguieron producir un material que fuera homogéneo en cuanto a su distribución del calor para poder tener una lectura correcta y evitar que el centro de las piezas tuviera temperaturas diferentes a los bordes, característica que resulta ser uno de los más grandes logros de la Test Cell de Florencia. Dado que la propia Universidad realizó la producción de las “tiles”, se tuvo la oportunidad de verificar su funcionamiento una por una, aspecto que el principal proveedor comercial de estos instrumentos de medición, no ofrecía. Una vez que se terminó su construcción, entró en una fase de calibración para comprobar el correcto funcionamiento de cada uno de estos dispositivos y de los canales de adquisición de datos por cada una de las fachadas. Después de ello, se selló la cámara para realizar una prueba de infiltraciones y asegurar su hermeticidad. Esto es importante para evitar que los posibles pasos de aire alteren las temperaturas interiores.

Las mediciones realizadas en la cámara interna (Figura 2.7) se complementan con registros climatológicos externos para poder hacer una comparativa entre interior y exterior y tener una certeza aún mayor en cuanto a los datos que se recaban

A continuación se mencionan los parámetros que se miden en cada uno de estos casos:

-Parámetros internos: Temperatura ambiente, temperatura de la superficie, temperatura radiante y humedad relativa.

-Parámetros externos: Temperatura ambiente, temperatura de la superficie, radiación horizontal difusa, radiación horizontal global, radiación vertical global, humedad relativa, presión ambiental, velocidad y dirección del viento.



Figura 2.7. Vistas interiores de la cámara de prueba de la Test Cell. Fotografía del autor.

Las principales aportaciones de este proyecto estarán en dos campos diversos: en el primero se busca obtener valores de transferencia de calor para distintos materiales bajo las condiciones mediterráneas; por otro lado, se comprobará la validez de los resultados obtenidos en el software ESP-r y Ecotect, pues se realizaron simulaciones de la cámara de prueba con el fin de contrastar los resultados medidos en sitio con los obtenidos en los softwares. Con los datos que se obtengan se podrán hacer modificaciones y mejoras al mismo puesto

que los investigadores de la UniFi mantienen contacto con investigadores de la Universidad de Strathclyde, desarrolladores del software ESP-r.

2.3.2 Simulación térmica a través de métodos matemáticos y software

Como ya se mencionó, cada vez es más frecuente el uso de software para la realización de las evaluaciones térmicas en edificios, por lo que la oferta de paqueterías informáticas es sumamente amplia. Teniendo la posibilidad de elegir entre muchas opciones, resulta indispensable realizar una comparativa para identificar aquellas que cumplan con los requerimientos de cada proyecto de investigación. De manera general, en la tabla 2.2 se muestra un concentrado de diversos programas utilizados actualmente y que cuentan con un número cada vez mayor de usuarios.

Software para evaluación térmica de edificios				
Software	Fabricante	Plataformas	Características	Costo
TRNSYS	Universidad de Wisconsin-Madison	Windows	Permite realizar cálculos térmicos incluyendo equipos fotovoltaicos, edificios de bajo consumo energético, sistemas de aire acondicionado, sistemas de energías renovables y cogeneración.	\$2370 USD por 10 licencias educativas (2015)
Energy Plus	Departamento de Energía de EEUU	Windows	Permite obtener balances térmicos considerando la presencia o ausencia de sistemas de aire acondicionado. También realiza cálculos para evaluar el confort lumínico y el control de los sistemas de iluminación.	Gratuito
Design Builder	DesignBuilder Software LTD	Windows	Además del cálculo térmico posee un módulo que permite hacer un análisis mucho más eficiente y rápido de los requisitos para obtener la certificación LEED.	145 Euros (Versión Arquitectura Plus para estudiante, 2015)
ESP-r	Universidad de Strathclyde	Linux, Windows	Cuenta con una plataforma abierta de colaboración, de modo que su programación puede ser enriquecida por investigadores de cualquier parte del mundo.	Gratuito
Meteonorm	Meteotest	Windows	Su base de datos meteorológicas es una de las más extensas, lo cual le permite tener cálculos mucho más confiables respecto al uso de datos climatológicos.	Versión gratuita y de compra por 750 FCH (2015)
Ecotect	Dr. Andrew Marsh, después comprado por Autodesk	Windows	Análisis energético del edificio, comportamiento térmico, uso del agua y evaluación de costos, luz de día, sombras y reflejos	Anteriormente licencias académicas gratuitas. En la actualidad se integrará su sistema al software Revit mediante Plugins
Open Studio (plugin de Sketchup)	Open Studio con el apoyo de NREL, ANL, LBNL, ORNL, y PNNL.	Windows, Mac y Linux	Permite trabajar con Energy Plus, Radiance y Sketchup para generar los cálculos térmicos y los análisis lumínicos.	Gratuito
MIT Design Advisor	Massachusetts Institute of Technology	Cualquier plataforma con internet	Herramienta online que permite generar cálculos veloces sobre energía, confort, ventilación natural, iluminación, etc.	Gratuito
Home Energy Efficient Design	Universidad de California, Los Angeles	Windows y Mac	Es un software dirigido a evaluar los ahorros en consumo de energía y liberación de CO ₂ de viviendas. Se complementa con otras herramientas de gráficas solares, datos climáticos y cálculos térmicos para ofrecer resultados más precisos.	Gratuito
eDesign HAP v5.11	Carrier	Windows	Software diseñado por la empresa de aires acondicionados Carrier para evaluar el uso de sistemas de ventilación mecánica principalmente respecto a los parámetros establecidos por LEED.	Gratuito. Disponible sólo para clientes en EEUU y Canadá. Para uso en otros países, se obtiene a través de los distribuidores Carrier locales.

Tabla 2.2. Comparativa de software que ofrece elaboración de evaluaciones térmicas de edificios.

De acuerdo con la información de la tabla 2.2, existen variantes que deben tomarse en cuenta para tomar una decisión. Son varios los factores que deben analizarse:

-Fabricante. La base sobre la cual se fundamenta el desarrollo de un software puede ser clave para saber qué tan confiables serán los resultados obtenidos. Si los fabricantes tienden más al ámbito comercial, probablemente sus objetivos estén más enfocados a promocionar o vender productos. Tal es el caso del software eDesign HAP v4.80²⁸ desarrollado por los fabricantes de aires acondicionados Carrier, cuya intención es calcular la capacidad del equipo de aire acondicionado que el cliente comprará.

-La plataforma que soporta el funcionamiento del software también es importante puesto que puede representar un obstáculo. Por ejemplo, debido a la configuración propuesta para el software ESP-r²⁹ de código abierto, que permita a los usuarios de cualquier parte del mundo realizar modificaciones entendidas como mejoras en la precisión y funcionamiento del mismo, la plataforma más adecuada es LINUX, sin embargo, es un sistema operativo no tan difundido. Afortunadamente existe una versión para Windows aunque no es la más actualizada.

-Como último punto importante, tenemos el costo, ya que, aunque existen softwares que tienen una base científica y de investigación sumamente sólida que permite tener resultados confiables y un gran desempeño en las evaluaciones térmicas, desde el ámbito académico no siempre se puede acceder a los recursos económicos necesarios para adquirir las licencias, tal es el caso de TRNSYS³⁰ o DesignBuilder³¹.

28- "Software downloads," Carrier, consultada 9 julio, 2014, <http://www.carrier.com/commercial/en/us/software/hvac-system-design/software->

29- "ESP-r Overview," ESP-r, consultada 9 julio, 2014, http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r_overview.htm

30- "Quote Request Educational" TRNSYS 17, consultada 9 julio, 2014, http://www.trnsys.com/assets/docs/18_QuoteRequest_Educational.pdf

31- "Buy Design Builder" Design Builder, consultada 9 julio, 2014, <https://www.designbuilder.co.uk/purchase/buy-designbuilder>

Tomando en cuenta los aspectos analizados para los distintos softwares, se concluyó que la paquetería TRNSYS ofrecía las mejores características en cuanto a procedimiento, configuración y resultados tal como se indica a continuación. El rasgo más importante que posee es el respaldo científico de la Universidad de Wisconsin, Madison, institución que se ha dedicado de manera constante al estudio de la transmisión de calor en los edificios desde hace varias décadas, lo cual lo convierte en una paquetería muy robusta. Tan sólo el software TRNSYS cuenta con 40 años de haber sido creado, manteniéndose en constante revisión para mejorar sus funciones y rendimiento. Debido a que su interés es mayoritariamente académico y de investigación, cuenta con un gran desarrollo de manuales y foros que facilitan un aprendizaje rápido y significativo en comunidad, por lo que es más fácil compartir resultados y experiencias sobre su uso. Su interfaz es cada vez más amigable con el usuario, así como su interacción con otros softwares, tales como Google Sketchup a nivel de plugins. Por último, tal como se mencionó en el capítulo 1, es uno de los softwares recomendados para la evaluación térmica de los edificios en la UNAM. Sin embargo, su costo representa una limitante para su adquisición y uso. A pesar de ello, existe la posibilidad de acceder a las expresiones matemáticas que utiliza para la realización de los cálculos térmicos. En este campo, el Dr. Diego Morales es pionero y experto en el uso de dicho método de cálculo. Ha trabajado de manera continua con él, lo que le ha permitido comprobar su efectividad y ha adaptado algunas de sus expresiones al Sistema Internacional de unidades (SI), sistema utilizado en México. En el siguiente apartado se explicarán de manera detallada las expresiones que utiliza este método, ya que fue el seleccionado para realizar el cálculo térmico de las aulas elegidas para el presente proyecto de investigación.

2.3.3 Método matemático del software TRNSYS adecuado por el Dr. José Diego Morales Ramírez al Sistema Internacional de Unidades.

El método que el Dr. José Diego Morales Ramírez imparte a través del curso "Cálculo térmico de edificios" tiene como

base las ecuaciones utilizadas en el software TRNSYS y que se corresponden con los conceptos descritos al inicio de este capítulo en cuanto a las cargas calóricas que inciden directamente en el comportamiento térmico del edificio. Mediante la realización del cálculo se puede predecir la temperatura interior del aula sin necesidad de una medición física. Dicha predicción se logra realizar mediante la expresión siguiente:

$$t_{\text{cuarto hc}} = t_{\text{cuarto ha}} + \frac{Q_{\text{load}}}{\text{Capacitancia}}$$

Donde:

$t_{\text{cuarto hc}}$ = Temperatura del cuarto en la hora que se desea calcular.

$t_{\text{cuarto ha}}$ = Temperatura del cuarto en la hora anterior.

Q_{load} = Flujo de calor total

Capacitancia = Suma de todas las capacitancias de cada uno de los materiales con que está construido el espacio analizado.

Con esta primera expresión se permite determinar la temperatura que alcanza una habitación mediante el análisis de las cargas térmicas que tuvo durante la hora anterior. En las siguientes expresiones se explicará de manera puntual para qué sirve cada una de ellas.

Para poder utilizar esta expresión general se debe determinar el flujo de calor total, el cual se calcula sumando todos los aspectos que ya se han mencionado con anterioridad y que representan los factores por los que se da un intercambio de calor del edificio con su entorno:

$$Q_{\text{load}} = Q_{\text{cond}} + Q_{\text{shg}} + Q_{\text{vent}} + Q_{\text{inf}} + Q_{\text{met}} + Q_{\text{light}}$$

Donde:

Q_{load} = Flujo de calor total

Q_{cond} = Flujo de calor por conducción

Q_{shg} = Flujo de calor por radiación directa

Q_{vent} = Flujo de calor por ventilación

Q_{inf} = Flujo de calor por infiltración

Q_{met} = Flujo de calor producido por personas

Q_{light} = Flujo de calor producido por equipos eléctricos

Una vez obtenida la suma de todas las cargas (Q_{load}) se debe calcular la capacitancia total del espacio analizado, la cual es la suma de todas las capacitancias de cada uno de los materiales de construcción. Para calcularla se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Capacitancia} = V * r = m * C_p$$

Donde:

V = Volúmen (m^3)

r = Densidad ($kg * m^3$)

m = Masa (kg)

C_p = Calor específico

• Q_{cond} = Flujo de calor por conducción. Los materiales con que está construido un edificio determinan en buena medida la temperatura interna de acuerdo con sus propiedades térmicas, pues mientras unos permiten un paso de calor más eficaz y acelerado, otros materiales sirven como aislantes debido a su baja transmitancia. La siguiente expresión permite determinar cuánto calor gana o pierde el edificio a través del análisis de todas sus caras, confrontando la temperatura interior y exterior.

$$Q_{\text{cond}} = U * A * (T_{s/a} - T_{\text{int}})$$

Donde:

U = Coeficiente global de transferencia de calor

A = Área del muro, techo y ventana del mismo tipo

$T_{s/a}$ = Temperatura sol/aire. De noche se usa la T_{amb}

T_{int} = Temperatura del interior del cuarto

• Q_{shg} = Flujo de calor por radiación directa. A pesar de que las ventanas forman parte de la envolvente del edificio, deben ser analizadas de manera separada, ya que se debe tomar en cuenta no sólo sus propiedades térmicas, sino también sus propiedades ópticas en el caso de que se encuentren expuestas a la radiación solar. La expresión mostrada permite obtener la cantidad de calor que se gana a través de la radiación que

una ventana permite pasar al interior. En el valor Fc está comprendido el porcentaje de opacidad de la misma, el cual está condicionado por el tinte, composición, espesor y tratamiento previos del cristal.

$$Q_{shg} = A_v * F_c * H_{t_{ven}}$$

Donde:

A_v = Área de la ventana

F_c = Fracción de radiación solar que pasa por la ventana (0.25 para ventanas sombreadas * transmitancia)

$H_{t_{ven}}$ = Radiación solar global (W/m^2)

• Q_{vent} = Flujo de calor por ventilación. Posee dos componentes: ventilación sensible y ventilación latente. Mediante el uso de estas dos expresiones se permite conocer el efecto que tiene el viento en la disminución o aumento de temperatura. Permitir que el viento entre en los espacios internos significa que ayudará a refrescar dichos ambientes, puesto que depende de la temperatura exterior. Si el exterior tiene una temperatura más alta que el interior, permitir su paso significará agregar calor al interior del local.

-Cálculo del calor por ventilación sensible

$$Q_{vents} = 0.278 * G * r * C_{pa} * (t_{amb} - t_{int})$$

Donde:

0.278 = Factor de conversión de KJ a W

G = Flujo de aire (m^3/min)

ρ = Densidad del aire ($1.18 \text{ kg}/m^3$)

C_{pa} = Calor específico del aire ($1.0065 \text{ KJ}/\text{Kg } ^\circ\text{C}$)

t_{amb} = Temperatura ambiente

t_{int} = Temperatura interior

-Cálculo del calor por ventilación latente

$$Q_{ventl} = 0.278 * G * r * H_{vap} * (W_{amb} - W_{int})$$

Donde:

0.278 = Factor de conversión de KJ a W

G = Flujo de aire (m^3/min)

ρ = Densidad del aire ($1.18 \text{ kg}/m^3$)

H_{vap} = Calor latente de vaporización ($2,468 \text{ KJ}/\text{Kg } ^\circ\text{C}$)

t_{amb} = Temperatura ambiente

t_{int} = Temperatura interior

• Q_{inf} = Flujo de calor por infiltración. Posee dos componentes: infiltración sensible e infiltración latente. El calor por infiltración está determinado, igual que en el concepto anterior, por la penetración de viento hacia el interior de los espacios, pero en este caso, no se da de una manera directa e identificable. La infiltración se da de manera continua a través de las rendijas de puertas, ventanas y otros vanos del edificio por lo cual es imperceptible. Pese a ser muy pequeña, resulta significativa, pues se relaciona con los cambios de aire necesarios dentro de un espacio determinado.

-Cálculo del calor por infiltración sensible

$$Q_{infs} = 0.278 * camb * vol * r * C_{pa} * (t_{amb} - t_{int})$$

Donde:

0.278 = Factor de conversión de KJ a W

camb = Cambios de aire por hora

vol = volumen de la habitación (m^3)

ρ = Densidad del aire ($1.18 \text{ kg}/m^3$)

C_{pa} = Calor específico del aire ($1.0065 \text{ KJ}/\text{Kg } ^\circ\text{C}$)

t_{amb} = Temperatura ambiente

t_{int} = Temperatura interior

-Cálculo del calor por infiltración latente

$$Q_{infl} = 0.278 * camb * vol * r * H_{vap} * (W_{amb} - W_{int})$$

Donde:

0.278 = Factor de conversión de KJ a W

camb = Cambios de aire por hora

vol = volumen de la habitación (m³)

ρ = Densidad del aire (1.18 kg/m³)

H_{vap} = Calor específico del aire (2,468 KJ/Kg °C)

t_{amb} = Temperatura ambiente

t_{int} = Temperatura interior

•Q_{met} = Flujo de calor producido por personas. Posee dos componentes: calor sensible y calor latente. En este inciso se debe recurrir a los valores que ofrece el manual del ASHRAE respecto a las diferentes actividades que puede realizar una persona dentro de un espacio. Como ya se ha mencionado, el calor que produce una persona está determinado por las calorías que quema en relación a la actividad física que esté realizando. Los valores tanto del calor sensible como el latente se encuentran en el manual ASHRAE.

-Cálculo de la ganancia de calor por personas sensible

$$Q_{mets} = \text{No. de personas} * W$$

Donde:

W = Cantidad de watts producidos por una persona (sensible)

-Cálculo de la ganancia de calor por personas latente

$$Q_{metl} = \text{No. de personas} * W$$

Donde:

W = Cantidad de watts producidos por una persona (latente)

•Q_{light} = Flujo de calor producido por equipos eléctricos. Los equipos eléctricos generan calor que es irradiado al espacio en relación con los watts que consumen. Su cuantificación es una parte muy importante, ya que en las aulas, es un concepto que no siempre se toma en cuenta.

$$Q_{light} = \text{No. de equipos} * \text{Pot}$$

Donde:

Pot = Potencia del aparato eléctrico en watts

2.4 Conclusiones

Con base en lo presentado en el capítulo, se estableció que para la evaluación del edificio se tomará el rango de confort térmico propuesto por el INIFED, ya que se trata de una normativa reconocida a nivel nacional enfocada en el ámbito escolar que va de los 18°C a los 25°C y está apoyada por la norma NMX-AA-164-SCFI-2013.

Por otra parte, se utilizará el método de cálculo impartido por el Dr. José Diego Morales Ramírez puesto que permite tener un desglose bastante amplio de todos y cada uno de los conceptos que intervienen en la transferencia de calor del edificio. Dicho método está basado en las expresiones que utiliza el software TRNSYS, paquetería creada como resultado de la investigación que por décadas ha realizado la Universidad de Wisconsin. Gracias a la estructura de este método de cálculo, se podrá conocer con gran precisión cuáles son los puntos débiles que evitan que los espacios alcancen el nivel de confort, o por el contrario, cuáles son los aspectos positivos que lo propician. Una de las ventajas más sobresalientes al utilizar un método de cálculo térmico como éste, es que se pueden introducir valores climatológicos promedio, con lo cual se puede abarcar un rango más amplio de años y de esa manera se está asegurando que el resultado cubre un espectro más amplio de variaciones climáticas.

CAPÍTULO 3

Evaluación lumínica

Al igual que el confort térmico, el confort lumínico debe contemplar la parte fisiológica del ser humano bajo la cual se determinan los niveles mínimos de iluminación necesarios, además de la manera en que se pueden evaluar los espacios internos para saber si cumplen con dichos niveles. En los siguientes subcapítulos se comenzará por definir el confort lumínico y su diferenciación del confort visual, así como de los aspectos involucrados en ambos. Se presentarán diversos niveles de iluminación propuestos por diferentes normativas e instituciones a nivel mundial para aulas de clase. Se hablará de la disponibilidad de luz natural y la importancia de su uso en espacios interiores. Por último se abordarán los distintos métodos que existen actualmente para la realización de evaluaciones lumínicas, de los cuales fue seleccionado uno para ser utilizado dentro de la parte experimental del presente proyecto de investigación.

3.1 Confort lumínico

3.1.1 Definición

El Dr. Victor Manuel Fuentes Freixanet, investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana, experto en Arquitectura bioclimática y sustentabilidad, propone un método de diseño de edificios que responden a su entorno. Dentro de él considera al confort lumínico como un elemento esencial en la configuración de la calidad espacial interior. Define a éste como:

“El confort lumínico se refiere a la percepción a través de la vista. Se hace notar que el confort lumínico difiere del confort visual, ya que el primero se refiere de manera preponderante a los aspectos físicos, fisiológicos y psicológicos relacionados con la luz, mientras que el segundo principalmente a los aspectos psicológicos relacionados con la percepción espacial y de los objetos que rodean al individuo”.³²

Al igual que con el confort térmico, están presentes tanto el factor fisiológico como el psicológico. Sin embargo, a diferencia de éste, la componente subjetiva no es preponderante para definirlo y no se constriñe únicamente a una preferencia por parte del usuario. La cantidad de luxes con que debe contar un local para considerar que se encuentra dentro del rango de confort está relacionada directamente con la actividad que se realiza. Mientras que para algunas actividades, una cantidad baja de luxes será suficiente, para aquellas que implican un trabajo de alto detalle visual, la cantidad de luxes requerida será mucho más alta. Por ejemplo: el nivel máximo que establece el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF) corresponde a 500 luxes, designados para áreas tales como oficinas, talleres y en general cualquier espacio en el cual se llevan a cabo actividades que requieren gran precisión y apreciación de detalles. En cambio, para una sala de espectáculos durante la función, el nivel mínimo es de 1 lux. Estos dos ejemplos ilustran de manera muy precisa la diferencia en cuanto a necesidad de luz, mientras que para el primer ejemplo resultaría imposible elaborar detalles con

32- “Arquitectura Bioclimática”, Victor Manuel Fuentes Freixanet, consultada 15 mayo, 2014, http://arq-bioclimatica.com/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=5:hombre-cursos&Itemid=1

apenas 1 lux de iluminación, para la otra resultaría molesto tener una iluminación muy alta puesto que no se podrían apreciar los juegos de luces, escenarios o pantallas, aunado a que se requiere un ambiente de relajación y atención al espectáculo. En la figura 3.1 se pueden observar los rangos de iluminación clasificados por actividad.

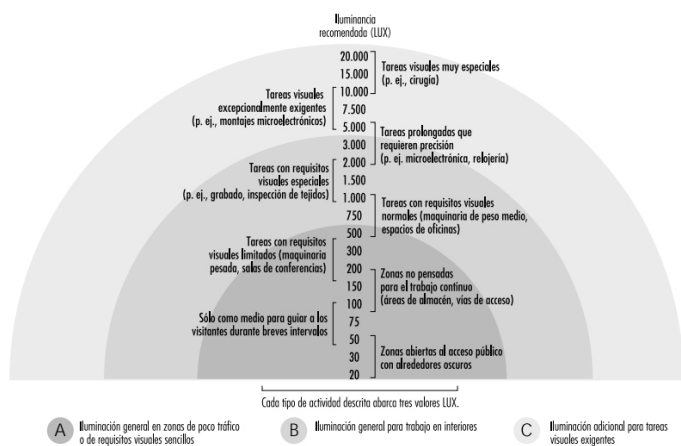


Figura 3.1. Niveles de iluminación en función de las tareas realizadas. Fuente: Condiciones necesarias para el confort visual, Tecun (2011).

De acuerdo con la premisa del Dr. Freixanet, también es necesario establecer una definición para el confort visual, ya que ambos conceptos están fuertemente relacionados y son fundamentales para el desarrollo de las actividades dentro de las aulas de clases:

“El confort visual es un estado generado por la armonía o equilibrio de una elevada cantidad de variables. Las principales están relacionadas con la naturaleza, estabilidad y cantidad de luz, y todo ello en relación con las exigencias visuales de las tareas y en el contexto de los factores personales”.³³

33- “Prevención de riesgos laborales ICV-CSIC”, Instituto de cerámica y vidrio, consultado 14 marzo, 2014, <http://www.icv.csic.es/prevencion/Documentos/breves/FREMAP/iluminacion.pdf>

La definición de confort visual fue tomada del sitio web del Instituto de cerámica y vidrio de España en la sección de prevención de accidentes. Dado que el trabajo de quienes laboran en sus espacios requiere de una gran cantidad y calidad de iluminación, sus directivos entienden la necesidad de garantizar que el confort visual sea el adecuado para poder evitar accidentes graves. El ojo humano es el órgano encargado de recolectar la información lumínica del ambiente y enviar las señales al cerebro para que se traduzcan en imágenes representativas de la realidad. Si la información no es suficiente o no es la correcta, no sólo resultará afectada la productividad de los empleados, sino que incluso podría tener consecuencias fatales. Así, entonces, el sentido de la visión se basa en la capacidad del ojo para absorber la luz y transmitirla a través del nervio óptico, permitiendo³⁴ :

-La adquisición de información visual cualitativa y cuantitativa.

-La apreciación de las características de los objetos.

-La captación e interpretación de movimientos y otros cambios físicos en el ambiente que nos rodea.

-La identificación de señales.

-La orientación y creación de impresiones espaciales.

Para determinar que un espacio cumple con las condiciones establecidas para el confort lumínico y visual, se deben considerar tres aspectos relacionados directamente con el sentido de la vista³⁵ :

-La acomodación visual: es la capacidad del ojo para enfocar a diferentes distancias. En este caso, es un factor que pertenece exclusivamente a los usuarios, pues depende de su fisiología.

34- “Prevención de riesgos laborales ICV-CSIC”

35- “Prevención de riesgos laborales ICV-CSIC”

-La adaptación visual: proceso de adaptación del ojo a distintos niveles de luminosidad. Es más rápida de niveles de iluminación bajos a altos que viceversa. Este factor es controlable por la arquitectura, haciendo un análisis de las secuencias y recorridos que debe hacer el usuario y cómo cambia el nivel de iluminación de un espacio a otro.

-La agudeza visual: capacidad de percibir y discriminar visualmente los detalles más pequeños. En este factor se presenta tanto la parte fisiológica del usuario como la física de la arquitectura. La posibilidad de tener una iluminación lo suficientemente alta permite que los detalles se puedan distinguir sin necesidad de forzar la vista.

Es importante mencionar también las diferencias existentes entre iluminación natural y artificial. Pese a que socialmente el hombre podría ser considerado como un ser evolucionado, su fisiología sigue respondiendo a su relación con la naturaleza y sus ciclos circadianos se ven condicionados por la sucesión del día y la noche. Si bien, tecnológicamente, la iluminación artificial representa un gran avance para la humanidad, también se ha convertido en motivo de problemas de salud. Los trabajos nocturnos³⁶ (en los que necesariamente se requiere iluminación artificial), la calidad de luz emitida por las nuevas lámparas fluorescentes y la falta de iluminación natural en algunos espacios³⁷, representan las principales preocupaciones de gobiernos a nivel mundial que están reportando cada vez más personas enfermas relacionadas con alguno de estos temas. Incluso existe un trastorno psicológico relacionado con la falta de iluminación natural, el Trastorno Afectivo Estacional (TAE)³⁸. Éste se presenta mayoritariamente durante la estación invernal en ciertas latitudes del planeta donde las noches son muy largas y la intensidad de la luz

36- "Light at night", Department of Energy, consultada 15 mayo, 2014, http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/light_at_night.pdf

37- "Health effects of artificial light", European Commission, consultada 15 mayo, 2014, http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_035.pdf

38- "Trastorno afectivo estacional", Medline Plus, consultada 20 mayo, 2014, <https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/001532.htm>

natural es baja. Dicha falta de luz provoca depresión en algunas personas, las cuales pueden ser tratadas con fototerapia al exponerse a lámparas de luz artificial muy brillante que imitan la luz del sol. Es por ello que desde el punto de vista de la salud de la población, se debe privilegiar el uso de la luz natural, a la vez que se evita el innecesario consumo de energía requerido por la iluminación artificial.

3.1.2 Rangos de confort lumínico en el aula

Para poder determinar el nivel mínimo de iluminación que proporciona confort lumínico-visual se suele recurrir a la normativa vigente del país, esto es, el RCDF, sin embargo, resulta beneficioso realizar una comparativa entre los niveles de iluminación determinados por distintas normativas e instituciones, de manera que se seleccione la que más beneficie a la calidad lumínica interna de las aulas. En la tabla 3.1 se muestran los rangos recomendados por diferentes organismos y normativas a nivel nacional y mundial.

Autor	Rango de confort lumínico
IESNA	400 luxes
Norma Europea EN 12464-1	300 luxes
Reglamento de construcciones del DF	300 luxes
INIFED (SEP)	300 a 350 luxes

Tabla 3.1. Concentrado de los niveles de confort lumínico establecidos por diferentes autores.

Se podrá observar que los rangos proporcionados por los diferentes organismos son muy similares entre sí, salvo el nivel recomendado por la IESNA. Cabe mencionar que, mientras algunas normativas proponen niveles promedio de luxes que deben existir en un aula, otras especifican la cantidad de luxes dependiendo de la actividad que se realiza en ella, puesto que existen de diferentes tipos: audiovisuales, laboratorios,

talleres, etc. En el caso de la Norma Europea, el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal y la normativa del INIFED, el valor que establecen es promedio, mientras que el valor propuesto por la IESNA se refiere a aulas de lectura. Partiendo de la consideración tan precisa que marca la IESNA, se establecerán 400 luxes como el nivel mínimo necesario dentro de las aulas por las siguientes razones:

-La lectura es una de las actividades que se llevan a cabo dentro de las aulas del caso de estudio.

-Al cumplir con este nivel, el resto de las actividades estarían contempladas.

-Dentro de los lineamientos que propone el INIFED sólo contempla hasta el nivel medio superior, donde los usuarios tienen menor edad. En el caso del nivel superior y posgrado, se requerirán mayor cantidad de luxes para los usuarios, quienes son adultos y adultos mayores.

3.2 Aprovechamiento de la iluminación natural en interiores

A partir de las definiciones de confort lumínico y confort visual se puede establecer que las aulas deben cumplir con los siguientes requerimientos:

-Deben contar con una cantidad suficiente de luxes, de acuerdo con el grado de detalle de la actividad que se deba realizar.

-Dicha cantidad debe ser constante con variaciones reducidas al mínimo.

-Su distribución debe ser uniforme y se deben evitar superficies con alto grado de refracción que pudieran generar deslumbramientos.

-La iluminación general debe ser balanceada, difusa y sin refulgencia en dos o más direcciones.

-La entrada de luz puede ser controlada mediante cortinas y persianas que además, favorezcan la reducción del exceso de calor provocado por la radiación solar.

-Las ventanas no sólo deben proporcionar iluminación natural, también deben proveer de vistas que inviten a la relajación y la comunicación con la naturaleza exterior.

Para poder asegurar que un espacio cuenta con la cantidad ideal de luxes se debe medir la iluminancia en el interior, la cual se define como “(...) el flujo luminoso que incide sobre una superficie. Su unidad de medida es el lux.”³⁹ No debe confundirse con luminancia, la cual se define de la siguiente manera: “Se llama luminancia o brillo fotométrico a la luz procedente de los objetos.”⁴⁰ De manera sencilla, se puede decir que la iluminancia es la cantidad de luz que llega a los objetos y la luminancia se refiere a la cantidad de luz que refleja la superficie de éstos. Por ello, la iluminancia es el dato de interés para el proyecto, el cual está definido por la siguiente expresión:

$$E = I/d^2$$

Donde:

E = Iluminancia en luxes

I = Intensidad luminosa de la fuente en candelas

d = Distancia en metros

39- “Prevención de riesgos laborales ICV-CSIC”

40- “Prevención de riesgos laborales ICV-CSIC”

Esta expresión se deriva de la *Ley del inverso al cuadrado* que establece que la iluminancia se reduce en proporción al cuadrado de la distancia desde la fuente lumínica, tal como se puede apreciar en la figura 3.2. El flujo a una distancia dada, a través de una unidad de área, al doble de la distancia, atravesará a 4 veces su área, así que la intensidad del flujo se reduce a $\frac{1}{4}$ del flujo inicial, por lo que, la posición de las ventanas, la profundidad de las aulas, la disposición del mobiliario y los elementos sombreadores juegan un papel crucial al potenciar u obstaculizar la cantidad de luz que penetra al interior de las aulas.

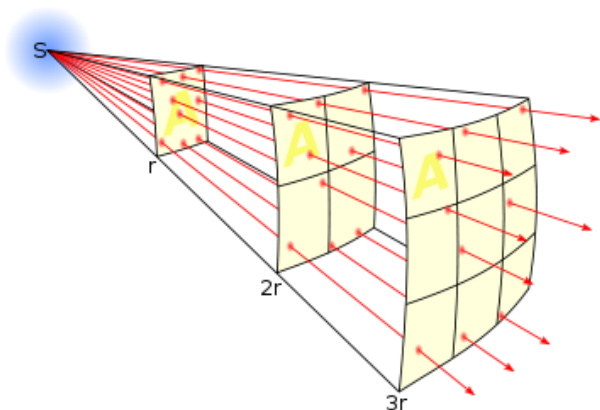


Figura 3.2. Representación de la “Ley inversa al cuadrado”. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_la_inversa_del_cuadrado

Dado que el sol aporta la energía necesaria para que exista iluminación en nuestro planeta, es importante comenzar por determinar la cantidad de luz que se recibe en la superficie terrestre. Al igual que en el clima, la latitud nos puede dar una idea bastante clara y certera de la cantidad de luxes que recibe una región. Mientras más cercana se encuentre al Ecuador, la disponibilidad de luz será mayor e irá disminuyendo a medida que se acerque a los polos (Figura 3.3).

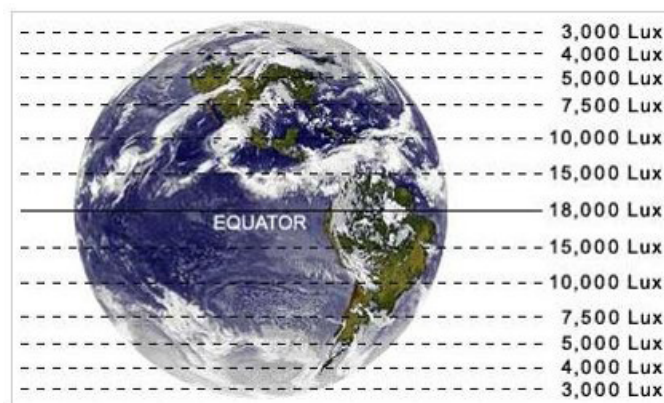


Figura 3.3. Disponibilidad de luz de acuerdo con la latitud. Fuente: http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/Design_Sky

El Dr. Andrew Marsh, creador del software Ecotect, con el que se pueden realizar evaluaciones térmicas, lumínicas y acústicas en los edificios, desarrolló una herramienta que es posible consultar en línea con la cual se puede obtener de manera mucho más precisa la cantidad de luxes disponibles en una latitud específica. El *Design Sky Illuminance Calculator* (Figura 3.4) analiza los valores de iluminancia de la latitud que deseamos calcular y selecciona el 15% más representativo, de manera que el valor que consideremos sea el más constante, evitando tomar valores muy altos o muy bajos que no representan de manera contundente las características lumínicas de dicha latitud.

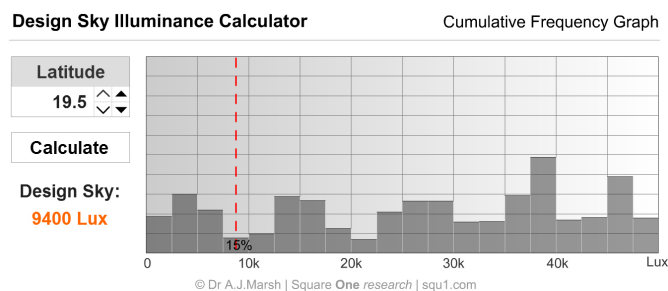


Figura 3.4. Cielo de diseño para la latitud de la Ciudad de México de acuerdo a la calculadora del Dr. Andrew Marsh. Fuente: <http://wiki.naturalfrequency.com/files/wiki/daylight/design-sky.swf>

Además del nivel general de iluminación por latitud, para llevar a cabo un cálculo o simulación lumínica, es necesario conocer lo que sucede en la atmósfera del lugar específico donde se encuentra el edificio, ya que ésta funciona como una capa existente entre la radiación solar y la superficie que puede llegar a representar un obstáculo para que se tenga una buena iluminación interior. La cantidad de luz no será la misma en un día despejado que en un día nublado. Hacer un análisis minucioso respecto a las condiciones de nubosidad sería una tarea muy compleja, puesto que esta condición es muy variable. Para facilitar las evaluaciones lumínicas y determinar la disponibilidad de luz en cualquier parte del planeta, La Commission Internationale de l'éclairage⁴¹ (CIE) propone distintos parámetros para el análisis de las condiciones atmosféricas que pueden ser tomadas como condiciones estándar (Figura 3.5). En ellas se contemplan las mejores y las peores condiciones del cielo.

Los tipos de cielo más representativos son cuatro y se describen a continuación.

-Cielo despejado. Genera una posición fija del sol y un cielo azul claro. Representa el caso más favorable de un día en condiciones de verano.

-Cielo uniforme. Asume que la luz natural es distribuida en el cielo de manera equitativa.

-Cielo intermedio. Usa características tanto del cielo despejado como del cielo nublado.

-Cielo cubierto. Asume que el cielo está completamente nublado. Es el caso más desfavorable en temporada de lluvias o en invierno.

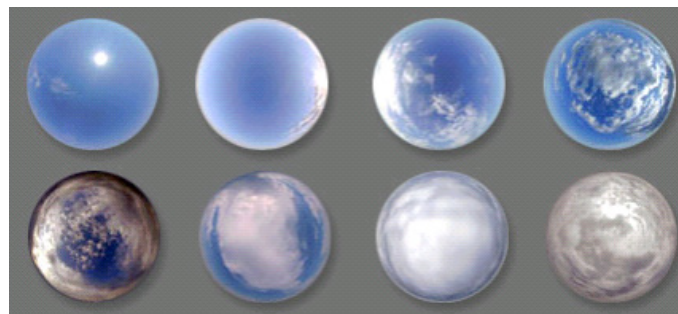


Figura 3.5. Tipos de cielo propuestos por la Commission internationale de l'éclairage (CIE). Fuente: http://www.guide-clea.fr/clea_projet/climat/

3.3 Métodos de evaluación lumínica

Como ya se explicó, la luz natural es un fenómeno complejo que depende de la energía que recibimos del sol, la manera en que ésta atraviesa la atmósfera y cómo es aprovechada en los edificios, por lo que predecir su comportamiento requiere de una gran cantidad de información y depende de un número muy alto de variables. Aun así, la investigación en esta materia por parte de universidades, instituciones e incluso la iniciativa privada, han permitido el desarrollo de herramientas que auxilian las evaluaciones lumínicas. Sin embargo, mucha de la paquetería que se ha desarrollado está enfocada a crear visualizaciones que auxilian en el diseño de interiores, en los cuales, los niveles de iluminación no son el objetivo principal. Aun así, algunos de ellos permiten obtener datos duros sobre mínimos, máximos y curvas fotométricas. Al momento de elegir un software será importante evaluar su sustento científico y verificar cuáles son los resultados que se pueden obtener, así como el nivel de configuración que tiene para insertar valores importantes, tales como la reflectividad de los materiales y la disponibilidad de luz natural. Otro dato básico que se debe tener en cuenta es el conocimiento del contexto físico inmediato, puesto que algunos elementos tales como árboles y edificios pueden obstruir la entrada de luz y evitar que se alcancen los niveles mínimos necesarios.

41- "Commission Internationale de l'éclairage", CIE, consultado 10 agosto, 2014, <http://www.cie.co.at/>

3.3.1 Métodos físicos de evaluación lumínica

En cuanto a métodos físicos para medición y evaluación lumínica, uno de los más sobresalientes se refiere a los laboratorios de cielo artificial. Este sistema consiste en una cámara de prueba que permite recrear las condiciones del cielo de manera detallada mientras se realiza la evaluación del edificio con la ayuda de un modelo a escala. La importancia de estos sistemas radica en la posibilidad de medir físicamente la presencia de la luz en los ambientes internos. Los modelos pueden ser modificados inmediatamente y permite experimentar con las diferentes posibilidades que tiene un edificio para la ganancia de luz a través de aberturas cenitales, frontales, laterales, posteriores, etc. De esta manera, se puede saber rápidamente cuál o cuáles son las soluciones más benéficas para el edificio.

Existen dos principales tipos de cielo artificial: las llamadas *mirror-box* y los *sky-dome*. Las primeras constan de una cámara prismática, casi cúbica, que mediante espejos internos “expande” el ambiente lumínico al reproducir de manera infinita la propia cámara. El segundo se trata de una semiesfera cubierta por luminarias que recrea la bóveda celeste. A continuación se explicará de manera breve la manera en que se utilizan estas instalaciones.

El uso de las “cajas de cielo artificial” es ya un método tan difundido en la actualidad que incluso se puede comprar de una manera relativamente sencilla. La compañía inglesa de Vashon Baker⁴², las construye y vende en forma estandarizada. Han vendido varias “cajas” a distintas universidades del Reino Unido, entre las cuales destaca la Universidad de Sheffield. Recomiendan el uso de estos dispositivos debido a que se trata de una instalación de bajo costo que puede ser utilizada en el ámbito académico y profesional. Su diseño fue desarrollado en el Martin Centre de la Universidad de Cambridge, por lo cual cuenta con un sustento académico y científico. Los modelos que se suelen usar para las pruebas se encuentran en las escalas de 1:20 y 1:100.

42- “Mirror-box artificial sky” Mike Baker, consultado 2 mayo, 2014, <http://www.cylex-uk.co.uk/reviews/viewcompanywebsite.aspx?firmaName=vashon-baker&companyId=19340589>



Figura 3.6. Interior de la Mirror-box artificial sky. Fuente: <http://www.cylex-uk.co.uk/reviews/viewcompanywebsite.aspx?firmaName=vashon-baker&companyId=19340589>

En México, específicamente en el Distrito Federal, La Universidad Autónoma Metropolitana en su Unidad Azcapotzalco cuenta con un laboratorio de este tipo. Su dispositivo está conformado por espejos y lámparas que simulan un día totalmente despejado y permite tener un nivel de iluminación estándar⁴³. Las medidas de la cámara son 2.40 m x 2.40 m por 2.70 m de altura. Tiene 36 lámparas fluorescentes lineales T8 con un índice de Reproducción Cromática (IRC) de 85% y Temperatura de Color 6500 K. Las lámparas se controlan con 18 balastos electrónicos de 2 x 32 Watts. El equipo cuenta con superficies especulares perimetrales que proporcionan múltiples inter-reflexiones en los modelos físicos. Este equipo experimental simula las condiciones de un cielo predominantemente nublado, equivalente al establecido por la CIE. El equipo se complementa con un difusor en el plafón que proporciona una uniformidad de los niveles de iluminancia que emite el sistema de lámparas⁴⁴.

43- “Primer laboratorio de ambiente controlado del Distrito Federal”, *Semanario de la UAM*, consultada 15 abril, 2014, <http://www.comunicacionsocial.uam.mx/semanario/v-x/num1/01.html>

44- “Ciencias y Artes para el Diseño. Instalaciones”, Universidad Autónoma Metropolitana, consultada 15 abril, 2014, <http://www.azc.uam.mx/cyad/posgrado/instalaciones.html>



Figura 3.7. Laboratorio de cielo artificial de la UAM Azcapotzalco.

Fuente: <http://www.comunicacionsocial.uam.mx/semanario/v-x/num1/01.html>

El sky-dome (Figura 3.8) es una estructura perteneciente a la Welsh School of Architecture de la Universidad de Cardiff en Inglaterra⁴⁵. En él se pueden realizar evaluaciones lumínicas a la vez que también se puede utilizar como heliodón para analizar el recorrido del sol. Para ubicar al “sol” en la altitud correcta cuenta con un riel que recorre el domo verticalmente. La base circular tiene un sistema que le permite ser rotada para poder especificar el azimuth. Gracias al software que utilizan, se puede realizar la evaluación de un día completo en modo “acelerado” con lo cual, los resultados se obtienen en apenas unos pocos minutos.

El domo se puso en funcionamiento en 1999, mide 8 metros de diámetro y es uno de los más grandes que existen. Cuenta con 640 luminarias con lámparas fluorescentes de bajo consumo que tienen la capacidad de modificar la intensidad de su luminosidad de manera individual para recrear los distintos tipos de cielo de diseño posibles, desde un cielo despejado hasta un cielo completamente nublado.

45- “Sky dome” Welsh School of Architecture, consultada 20 mayo, 2014, <http://www.cardiff.ac.uk/architecture/about-us/facilities/environmental-lab/sky-dome/>

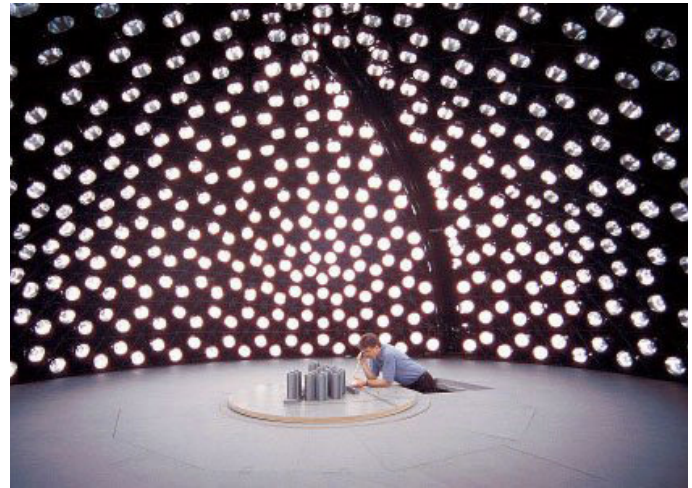


Figura 3.8. Vista interior del sky dome. Fuente: <http://pruned.blogspot.mx/2005/12/heliodons.html>

En ambos laboratorios de cielo artificial se utilizan modelos a escala con los cuales se puede verificar lo que sucede tanto al interior como al exterior del edificio en determinadas condiciones y cómo varían los niveles de iluminación al orientar los espacios de manera diferente. Las mediciones lumínicas se realizan con fotómetros, tal como se llevaría a cabo en un edificio real. El único inconveniente que presenta este sistema es la imposibilidad para representar de manera fidedigna los materiales y texturas con que cuentan los espacios internos y que son fundamentales en la dispersión de la luz. Al igual que los métodos para evaluación térmica, los métodos de evaluación lumínica se valen de experimentos físicos y simulaciones matemáticas que se van enriqueciendo para obtener software cada vez más veraz y preciso.

3.3.2 Simulación lumínica a través de software

En la tabla 3.2 se presenta una recopilación de distintos tipos de software con los cuales se pueden realizar evaluaciones lumínicas. Se debe tomar en cuenta que muchos de ellos fueron desarrollados por la iniciativa privada por lo cual sus objetivos son muy específicos y están encaminados a la venta

Software para evaluación lumínica de edificios				
Software	Fabricante	Plataformas	Características	Costo
Ecotect	Dr. Andrew Marsh, después comprado por Autodesk	Windows	Análisis energético del edificio, comportamiento térmico, uso del agua y evaluación de costos, luz de día, sombras y reflejos	Gratuito anteriormente. En la actualidad se integrará su sistema al software Revit
Radiance	Greg Ward Larson	Windows	Predicción de los niveles de iluminación interna en un edificio por construir a través de las características de los materiales, los luminarios y la geometría de los espacios.	Gratuito
DIALux	DIAL	Windows	Visualización mediante renders de escenas de iluminación interior	Gratuito
Relux	Relux Informatik AG	Windows	Generar simulaciones de proyectos de iluminación interior. Se pueden realizar cálculos de la eficiencia de la luz diurna, cálculo de la iluminación de seguridad y reflexión de la luz.	Gratuito con versiones especializadas de pago
Lumenlux	Lumenac	Windows	Generar simulaciones que incluyen los productos que la propia empresa Lumenac fabrica. Se pueden obtener proyectos de interior y exterior.	Gratuito
Calculux	Philips Lighting Design and Application Centre [LiDAC]	Windows	Este software realiza simulaciones únicamente utilizando luminarias marca Phillips, las cuales pueden ser interiores o exteriores, además de contar con una base de datos con la información técnica de las luminarias.	Gratuito
Visual	Acuity Brands	Windows	Permite renderizar los espacios y hacer simulaciones con curvas fotométricas, cálculos económicos, iluminación interna, externa y de carreteras.	\$100 USD (2015)
Ag32	Illumination engineering software	Windows	Ofrece cálculos lumínicos sobre todo a nivel de curvas fotométricas en interiores y exteriores con gran precisión, permitiendo visualizar de manera detallada posibles cambios o variaciones en la iluminación. Incluye simulaciones de luz diurna.	\$895 USD (2015)
Litestar 4D	OxyTech	Windows	Permite visualizar la iluminación artificial en espacios internos con la base de datos de socios que conforman el proyecto, los cuales ofrecen su información técnica para producir la renderización y cálculo.	Gratuito
DAYSIM	Inicialmente por Christoph Reinhart y apoyado posteriormente por el ISE, la Universidad de Harvard, el MIT y el NRC	Windows	Cuenta con plug-ins para sketchup, rhinoceros y Ecotect. Su método de cálculo está basado en el software radiance y permite las mismas visualizaciones que este.	Gratuito

Tabla 3.2. Comparativa de software que ofrece elaboración de simulaciones lumínicas de edificios.

de sus propios productos de iluminación, en el caso de los fabricantes de lámparas. Debido a la misma razón, algunos se enfocan en el análisis de la iluminación artificial y la visualización de los espacios internos al utilizar determinados tipos de luminaria. Otro aspecto importante es que algunos ofrecen, además, evaluaciones de consumos eléctricos para poder definir estrategias de ahorro energético.

Como se puede observar en la tabla 3.2, muchos de los softwares son gratuitos pero pertenecen a empresas relacionadas con la iluminación interior. La mayor parte ofrece librerías con los productos que fabrican ellos mismos u otras empresas, con la finalidad de que arquitectos y diseñadores tengan la posibilidad de visualizar los espacios y comprender sus productos. De entre los softwares enlistados, Radiance destaca por cuatro razones fundamentales:

-Cuenta con el soporte de investigación del Laboratorio de Berkeley coordinado por la Universidad de California, lo cual le otorga a sus resultados un grado de certeza bastante alto.

-Se puede utilizar como plug-in del software Ecotect y aprovechar su interfaz gráfica, además de ser gratuito.

-Es un software que se puso en marcha desde 1992 y ha estado en constante desarrollo, por lo que las versiones recientes son cada vez más precisas.

-Su principal objetivo es el estudio de la luz natural, tema central del presente proyecto de investigación.

Es por ello que se decidió utilizar el software Radiance para la simulación y evaluación lumínica del caso de estudio.

3.3.3 Evaluaciones lumínicas con el uso del software Radiance

Radiance es un software libre desarrollado por el Departamento de Energía de Estados Unidos y la Universidad de California que permite crear escenas para predecir el comportamiento de la iluminación, la calidad visual y la apariencia de cualquier espacio. A continuación se describirá el proceso que se debe seguir en el uso de este software.

1. El primer paso para ejecutar la evaluación es crear un modelo tridimensional de los espacios a evaluar. Se tienen que incluir todas las superficies presentes tales como: muros, piso, techo, cancelería y cristales. Además se debe sopesar la necesidad de incluir elementos del contexto inmediato, tales como vegetación y/o edificios, ya que, aunque estos elementos se encuentran fuera del espacio, juegan un papel importante en cuanto a los reflejos que se producen, pudiendo aumentar o disminuir la iluminación interior. Para el caso de estudio, solamente se considerarán los pasillos de acceso a las aulas y los techos del edificio interno del conjunto por ser los más inmediatos a los espacios estudiados.

2. El modelo creado debe tener todas las superficies agrupadas en *layers* de acuerdo al tipo de material con el que están construidas. Dentro del software, se deben especificar las propiedades de reflectividad, transmitancia, especularidad y absorción solar de cada uno de los materiales. La introducción de estos datos aumenta el grado de precisión de los resultados obtenidos. Cabe recordar que la distribución de luz interna es producto directo de las características de color, textura y disposición de los planos en los cuales se refleja la luz.

3. Para realizar la simulación es importante configurar, además de los materiales, las luminarias, la fecha y hora, la posición geográfica y las condiciones del cielo (despejado, uniforme, intermedio o cubierto). Estos factores pueden afectar sensiblemente la cantidad de luz presente en el espacio. A partir de los datos obtenidos de la herramienta *Design Sky Illuminance Calculator* se puede introducir la cantidad de luxes de los cuales se dispone en la latitud de la Ciudad de México.

4. Una vez hechas todas las configuraciones, el programa realiza un renderizado del espacio para obtener tres tipos de imágenes diferentes: escenas a color donde se muestran los valores espectrales, escenas con curvas fotométricas o redes con valores numéricos puntuales. Sin importar el tipo de imagen que se decida generar, en los resultados se muestra la cantidad de luxes que se obtiene en todas las superficies del aula. También se puede analizar su comportamiento para determinar si el cambio en la cantidad de luxes es gradual o por el contrario, en ciertas zonas se producen deslumbramientos, esto quiere decir, que se encuentren dos áreas adyacentes con variaciones en la cantidad de luxes de más de 7 veces entre ellas.

Las simulaciones se realizarán para el día 21 de septiembre a las 9:00 y a las 15:00 horas tal como se indica en el manual de la certificación LEED versión 4⁴⁶ debido a que

46- "Daylight", United States Green Building Council, consultado 22 mayo, 2014. <http://www.usgbc.org/credits/healthcare/v4-draft/eqc-o>

la normativa mexicana aún no contempla el uso de software para evaluación de los niveles de iluminación al interior de los espacios. Por otro lado, tanto la IESNA quien establece la cantidad de luxes, la Universidad de California, quien desarrolló el software *Radiance* y la organización United States Green Building Council (USGBC) que cuenta con el sistema de evaluación LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), quien certifica, entre otras cosas, el confort de los espacios, son organismos de Estados Unidos, por lo que existe una coherencia y vinculación directa entre todos ellos.

3.4 Conclusiones

A manera de resumen, con base en lo presentado en los subcapítulos, se estableció que para la evaluación del edificio se tomará el rango de confort lumínico propuesto por la normativa de la IESNA (400 luxes), por tratarse del nivel más alto y puntual para desarrollar una actividad de lectura, por encima de lo especificado en la normativa mexicana.

Por otra parte, se realizarán las simulaciones lumínicas con el uso del software *Radiance*, ya que los resultados que ofrece son más precisos gracias a la sólida base de investigación que tiene la UCLA. Además que, como se mencionó en el capítulo 1, es uno de los softwares propuestos por el programa EcoPuma para la evaluación lumínica de los edificios de la Universidad. En el caso de otros softwares, pese a contar con las herramientas necesarias para calcular la iluminancia, están mucho más enfocados a la creación de escenas realistas y visualización de ambientes con un sentido comercial.

La evaluación de las aulas se llevará a cabo para el día 21 de septiembre a las 9:00 y a las 15:00 horas, tal como lo indica la certificación LEED versión 4.

CAPÍTULO 4

Experimentación

4.1 Descripción del método

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo demostrar que se pueden alcanzar los niveles óptimos de confort térmico y lumínico en aulas de instituciones educativas de nivel superior mediante la implementación de sistemas de climatización pasiva y el aprovechamiento de la luz natural. Para determinarlo se identificó un edificio que permitiera evaluar el desempeño de cuatro aulas ubicadas hacia un punto cardinal distinto. La Unidad de Posgrado en Ciudad Universitaria con su planta circular cumple con dicha característica, por lo que fue elegido como caso de estudio.

El procedimiento de experimentación se dividió en 3 etapas: análisis del caso de estudio y su contexto, evaluación diagnóstica y propuesta. Ésta última se presenta en el Capítulo 5 e incluye la confrontación de los resultados de la evaluación diagnóstica y los niveles que se alcanzan con la propuesta de intervención. Con dichos resultados, se contrasta la hipótesis. A continuación se describe de manera más puntual cada una de las fases.

a) Análisis del caso de estudio y su contexto

En esta etapa del proceso se evaluó el caso de estudio tomando en cuenta los siguientes factores que inciden en la generación del confort tanto térmico como lumínico:

-Factores de diseño. Se realizó un análisis del conjunto arquitectónico incluyendo: emplazamiento, orientación y

diseño de fachadas y selección de los materiales para analizar las características del edificio e identificar elementos que podrían llegar a ser relevantes en la determinación del confort.

-Factores personales. Se menciona la edad de los usuarios y sus actividades para conocer su tiempo de permanencia y necesidades dentro de las aulas.

-Factores climáticos. Se analizaron a través de la caracterización del clima, donde se muestran los datos de: temperatura exterior, humedad, viento y radiación solar pertenecientes a la Ciudad de México.

b) Evaluación diagnóstica

La evaluación diagnóstica tuvo como objetivo determinar el desempeño actual de las aulas, por lo que el análisis se realizó bajo las características especificadas en el proyecto, es decir: se consideró que las aulas se utilizan todo el día a su máxima capacidad. De esta manera, se logró saber si el diseño permite a las aulas alcanzar los valores necesarios de confort.

En esta etapa también se pudo determinar con precisión cuáles son los factores que más influyen en el confort o desconfort de las aulas. Por otro lado, se sometieron a confrontación los resultados obtenidos en las cuatro distintas orientaciones para determinar cuál de ellas favorece más al

confort térmico y lumínico. Con base en los datos obtenidos, en el subcapítulo correspondiente se presentan las primeras conclusiones.

c) Propuesta y confrontación de resultados

En esta etapa del proyecto se formuló una propuesta que permitiera solucionar los problemas y deficiencias encontrados en la evaluación diagnóstica. La propuesta se realizó tomando en cuenta los resultados tanto térmicos como lumínicos con el objetivo de que ésta cumpliera con ambos aspectos de manera simultánea. Para poder verificar la pertinencia de los cambios propuestos, se volvió a realizar el cálculo térmico y la simulación lumínica. Los resultados obtenidos en esta última etapa se confrontan con los de la evaluación diagnóstica y de esa manera se comprueba o se refuta la hipótesis establecida al inicio de la investigación.

4.2 Análisis del caso de estudio y su contexto

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación se tomó como caso de estudio el nuevo edificio de la Unidad de Posgrado de la UNAM. La razón por la que se eligió este edificio es porque su planta circular propicia que las aulas se encuentren en todas las orientaciones posibles. En los principios de la arquitectura bioclimática se establece que, dependiendo del uso final de los espacios, éstos deben tener una orientación específica para que funcionen de manera adecuada y sean confortables desde el punto de vista térmico y lumínico, sin necesidad de recurrir a sistemas artificiales de climatización y/o iluminación. Si se considera que el edificio propuesto cuenta con diversas orientaciones, y sus materiales y soluciones arquitectónico-constructivas son exactamente iguales para todas ellas, esto implicaría que inevitablemente algunas de sus aulas tengan carencias en el confort interno por efecto, principalmente, aunque no de manera única, de su orientación.

A continuación se muestra el análisis del conjunto arquitectónico, posteriormente se encuentra la descripción de los usuarios y, por último, el análisis del contexto en que se inserta el edificio a través del estudio del clima.

4.2.1 Factores de diseño

4.2.1.1 La Unidad de Posgrado en Ciudad Universitaria

La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), cuenta con 26,146⁴⁷ estudiantes de posgrado quienes representan el 9.5% del total nacional, siendo una de las instituciones más importantes en cuanto a estudios de este nivel. Hasta hace un par de años, la infraestructura con que contaba la Universidad para el desarrollo de los distintos programas de posgrado no se encontraba del todo definida, pues cada facultad destinaba parte de sus instalaciones para alojar a estudiantes, profesores e investigadores que formaban dicha comunidad. Las zonas de investigación científica e investigación en humanidades de Ciudad Universitaria representaban las áreas con vocación más clara en esta materia, sin embargo, seguían estando divididas.

En 2009, el entonces rector de la UNAM, Dr. José Narro Robles, impulsó la construcción física y simbólica de la Unidad de Posgrado, un conjunto de edificios donde se concentrarían las 40 coordinaciones de todos los programas existentes y la coordinación general del Posgrado a nivel Universidad. De esta manera, se permitiría agruparlas en un sólo lugar y representar así, el espacio de investigación más grande e importante de la Universidad. El nuevo conjunto se construyó al lado del también recientemente inaugurado edificio del Posgrado de Economía, donado en su momento por un exalumno, el banquero Carlos Abedrop Dávila y proyectado por el arquitecto mexicano Ricardo Legorreta. En el caso de la Unidad de Posgrado, el proyecto se realizó en el propio seno

47- "Anuario estadístico de educación superior". ANUIES, consultado 28 febrero, 2014. <http://www.anuies.mx/content.php?varSectionID=166>

de la Universidad a través de la Dirección General de Obras y Conservación. Ambos edificios se localizan hacia el Sur de Ciudad Universitaria, muy cercanos a la zona cultural y a Av. de los Insurgentes. El conjunto de la Unidad de Posgrado comenzó a construirse en 2011 y fue inaugurado oficialmente el 24 de abril de 2013. Las Facultades de Arquitectura y Medicina, así como las Escuelas Nacionales de Artes Plásticas (hoy Facultad de Artes y Diseño) y Enfermería y Obstetricia obtuvieron además un espacio para ampliar su infraestructura. También se designó un área especializada llamada CESIP: Centro de Enseñanza por Simulación de Posgrado, donde la Facultad de Medicina y la Escuela de enfermería permiten a sus alumnos contar con robots que los auxilian en la realización de sus actividades académicas y de investigación.



Figura 4.1. Acceso principal a la Unidad de Posgrado. Fotografía del autor.

El conjunto está formado por dos grupos de edificios dispuestos en dos círculos paralelos que dan lugar a una plaza central. En el círculo interno se concentran las oficinas y el círculo externo está dedicado en su mayor parte a las aulas. En total, el conjunto (Figura 4.2) cuenta con 11 edificios distribuidos de la siguiente manera: en los edificios B, D, F, H y J los dos primeros niveles están dedicados a las coordinaciones de los programas y cubículos de profesores, en el segundo y

tercer nivel se encuentran las aulas; los edificios A, C, E, G e I están destinados al área administrativa, cuentan con 2 niveles y planta baja; el edificio K aloja el auditorio y la biblioteca distribuidos en 2 niveles y planta baja. Se cuenta con casi 90 aulas con capacidad para alojar de manera simultánea a casi 2000 estudiantes. Las conexiones entre módulos y niveles se realizan a través de pasillos exteriores que recorren todos los edificios y mediante tres núcleos de circulaciones verticales.



Figura 4.2. Planta de conjunto esquemática de la Unidad de Posgrado

4.2.1.2 Emplazamiento

El conjunto arquitectónico de la Unidad de Posgrado se encuentra hacia el límite sur de Ciudad Universitaria (Figura 4.3). Hacia el sur colinda con los terrenos del Instituto Nacional de Pediatría; al este colinda con un área verde libre sin vegetación alta; al norte colinda con el edificio del Posgrado de Economía; y al oeste colinda con la Avenida Insurgentes. El conjunto como tal se encuentra completamente exento y en su entorno inmediato no existen edificios, vegetación o elementos que le generen sombras o lo protejan del impacto del viento, por lo que está totalmente expuesto a las inclemencias del clima.

Solamente las plantas bajas llegan a tener un poco de sombra en determinados momentos del día y épocas del año por la obstrucción de la radiación que se generan entre sí los dos círculos paralelos. Las coordenadas de localización del conjunto son las siguientes:

Latitud: 19°18'35.67" L. N.

Longitud: 99°11'07.30" L. O.

Altitud: 2322.27 msnm.



Figura 4.3. Imagen aérea de la localización de la Unidad de Posgrado. Fuente: Google maps.

En cuanto a su funcionamiento, el conjunto cuenta con dos accesos: el principal se ubica al oeste, al cual corresponde la parada de Pumabús llamada “Unidad de Posgrado”. Desde ese punto, se accede al edificio por una escalinata que llega hasta la plaza central que funge como vestíbulo. Existe un acceso secundario al norte desde la entrada a la plaza posterior del Posgrado de Economía. Se corresponde también con una parada de Pumabús del mismo nombre.

Los terrenos en que se construyó el edificio formaban parte de la reserva ecológica de C.U., por lo que su vegetación era abundante y su fauna muy variada. Una característica paisajística muy importante de este campus es la significativa presencia de vegetación, sin embargo, dentro de este proyecto en particular no se le dio la debida relevancia a dicho aspecto y la presencia de árboles y espacios ajardinados se limitó a unas áreas muy reducidas en la plaza central y entre los dos círculos de edificios.

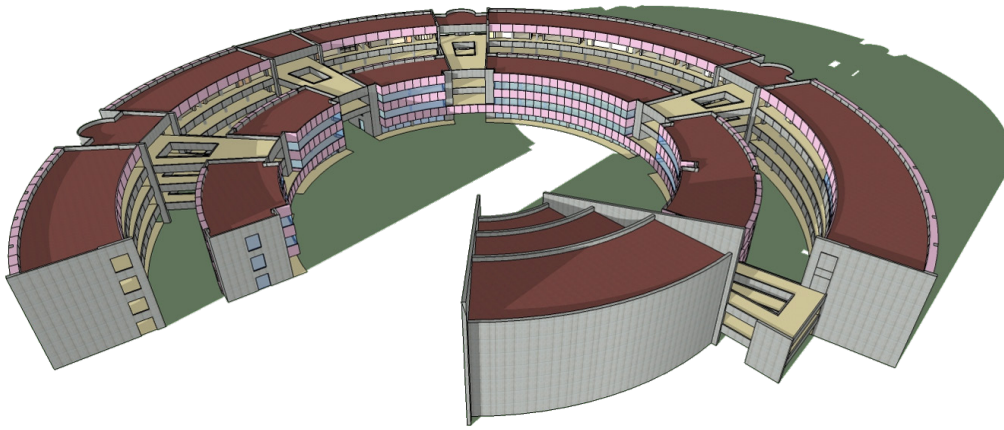


Figura 4.4. Modelo tridimensional del conjunto de la Unidad de Posgrado.

4.2.1.3 Orientación y diseño de las fachadas

Como ya se mencionó, el conjunto de la Unidad de Posgrado tiene una disposición circular en planta, razón por la cual sus aulas no tienen una única orientación. Eso implica que el comportamiento térmico y lumínico de las mismas será diferente dado que la radiación que reciben no es similar. Mientras las aulas orientadas al este reciben radiación en la mañana, las aulas oeste la reciben en la tarde. Por su parte, las aulas con orientación norte o sur pasan por una situación polarizada, en la cual todo el día reciben radiación (caso de las aulas sur) o no la reciben nunca (aulas norte).

En el proyecto existen tres diferentes tipos de aula a las cuales se les catalogó como: chicas (18 personas), medianas (24 personas) y grandes (56 personas), de acuerdo con su capacidad. Mientras las aulas grandes tienen salida hacia la fachada interna y la externa, las chicas y medianas comparten espacio y sólo tienen acceso a una de las dos fachadas. Las aulas medianas siempre se abren hacia la fachada externa, mientras que las aulas chicas sólo se abren hacia la fachada interna, donde se ubica el pasillo de acceso. Es importante conocer esta condición del edificio, ya que la orientación de las aulas no precisamente está determinada por su ubicación

dentro del conjunto sino por la posición de su fachada principal. En la figura 4.5 se puede observar la planta arquitectónica del edificio F, localizado al norte del conjunto. Las aulas F-301 y F-306 son aulas grandes y cuentan con dos fachadas: una hacia el norte y una hacia el sur. Las aulas F-303 y F-304 son aulas medianas y su fachada principal es la externa con orientación norte. Las aulas F-302 y F-305 son aulas chicas y su fachada es interna con orientación sur. Se demuestra así que, a pesar de que las aulas se encuentran al norte del conjunto, la orientación principal de dos de ellas es completamente sur.

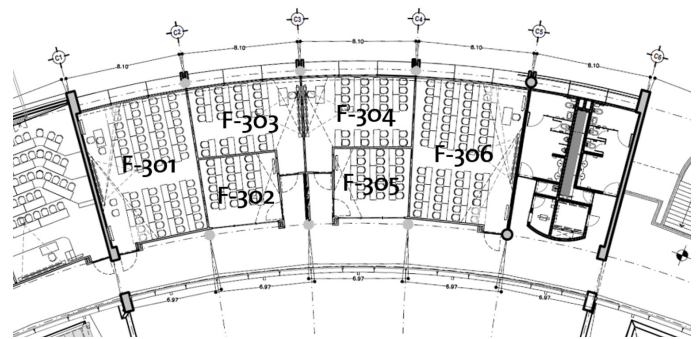


Figura 4.5. Planta arquitectónica del tercer nivel del edificio F.

Partiendo de la orientación que tiene la fachada principal de las aulas, en la figura 4.6 se puede observar la cantidad y distribución de aulas por cada orientación. Las orientaciones este y oeste cuentan con el mayor número de aulas (diez cada una), mientras que las orientaciones norte y sur tienen el menor número (cinco cada una).

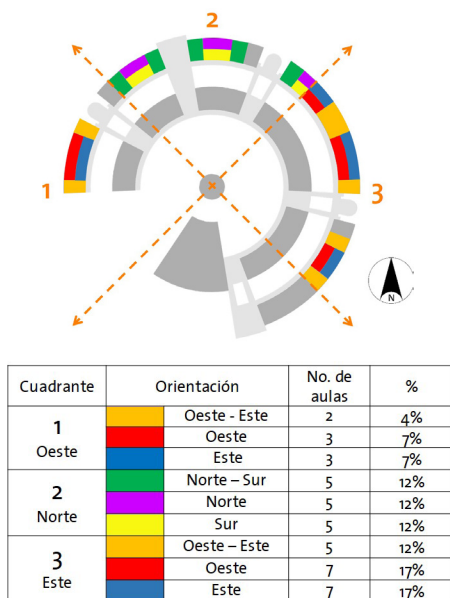


Figura 4.6. Planta del tercer nivel de la Unidad de Posgrado indicando la orientación predominante de sus aulas.

Además de la orientación, el diseño de las fachadas es un factor de gran relevancia, ya que de ellas depende la ganancia de calor e iluminación al interior de los espacios, lo cual favorece u obstaculiza la generación del confort. Existen situaciones en las que el diseño de la fachada podría remontar una situación negativa de confort debido a una mala orientación y viceversa. Un diseño adecuado de fachada debe contemplar la ganancia de calor y el paso de la luz natural para ser verdaderamente útil. Con la información climática y posición solar es posible crear un diseño que responda a las necesidades de los espacios internos brindando confort a los usuarios.

De manera puntual sobre el caso de estudio, como se mencionó anteriormente, en el edificio se pueden distinguir claramente dos tipos de fachadas: una interna que mira hacia la plaza central y otra externa que mira hacia el contexto inmediato. La fachada interna cuenta con un pasillo que rodea todo el edificio y hace las veces de alero, permitiendo que los muros que delimitan las aulas queden remetidos y protegidos, hasta cierto punto, tanto de las inclemencias del tiempo como de la radiación solar directa. En esta fachada existen dos tipos de cerramiento de las aulas: uno hecho con un muro de tablayeso alto y ventilación en la parte superior y otro con un cerramiento de vidrio que va de piso a techo (Figura 4.7). Mientras que los cerramientos de tablayeso evitan la radiación directa hacia el interior y permiten el paso de luz por la parte superior, los cerramientos acristalados dejan pasar tanto luz como calor, por lo que se puede intuir antes de realizar el cálculo térmico, que su ganancia calórica es alta y sus niveles de iluminación también lo son.



Figura 4.7. Variantes de la fachada interna de las aulas. Fotografía del autor.

La fachada externa también presenta un remetimiento en sus ventanas, por lo cual éstas se encuentran protegidas, sin embargo, el alero no es tan amplio como en el caso de la fachada interna, así que, la ganancia de radiación es más grande. A diferencia de la fachada interior, la fachada externa presenta el mismo diseño a lo largo de toda la circunferencia: cuenta con un pequeño murete sobre el cual descansan grandes ventanales (Figura 4.8).



Figura 4.8. Fachada externa de las aulas. Fotografía del autor.

Para poder visualizar claramente la manera en que se relacionan las fachadas del edificio con la radiación, en la figura 4.9 se representaron sobre un corte arquitectónico de las aulas del tercer nivel del edificio, los ángulos de incidencia solar del mes más cálido (mayo) y el mes más frío (enero) del año en la Ciudad de México. Se consideraron, además, las horas con el ángulo más agudo para identificar la profundidad a la cual alcanza a llegar la radiación solar dentro de las aulas. En el corte está representada la sección oeste del conjunto, en la cual, el sol incide en las primeras horas de la mañana y las últimas horas de la tarde. Gracias al ancho del pasillo de circulación, esta fachada se encuentra protegida en los momentos más críticos de la mañana. Por el contrario, hacia el atardecer la radiación impacta en la fachada oeste, la cual a pesar de tener un remetimiento, cuenta con una penetración de sol bastante considerable, pues tal como se puede ver en la imagen, casi alcanza el otro lado del aula.

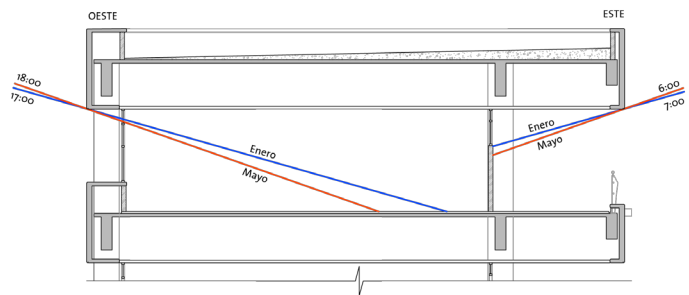


Figura 4.9. Corte arquitectónico con indicación de los ángulos solares en los meses de estudio.

A partir de este primer acercamiento al análisis del edificio, se puede prever que las mayores complicaciones se encontrarán sobre la fachada exterior, mientras que en la interior se tendrá que diferenciar entre las aulas con cerramiento de tablayeso y aquellas con cerramiento acristalado.

4.2.1.4 Materiales utilizados

La estructura del edificio (entrepiso, cubierta y columnas) es de concreto armado aparente. La fachada externa (Figura 4.10) cuenta con un murete bajo de 0.85 m de altura, construido con block sobre el cual se asientan las grandes ventanas con marco de aluminio de 3" y cristal claro de 9 mm de espesor. Las ventanas están divididas horizontalmente en dos franjas: la inferior está compuesta por 3 grandes fijos de 3x3 m y la superior por ventilas de 60 cm de alto fabricadas con cristal claro de 6 mm. En toda su circunferencia, el edificio cuenta con piezas prefabricadas de concreto de 15 cm de espesor que sobresalen de la estructura y funcionan como elementos sombreadores. Su textura final es rugosa y su color es salmón claro. En cuanto a la fachada interna, el cerramiento que delimita las aulas tiene dos variantes: en las aulas grandes se trata de un muro de tablayeso de 1.80 m de altura y ventilas de cristal en la parte superior. Para el caso de las aulas chicas se tiene un cancel de piso a techo con cristales esmerilados de 9 mm de espesor en la parte baja hasta una altura de 1.80 m y ventilas en la parte alta de 60 cm de alto fabricadas con cristal claro de 6 mm de espesor.

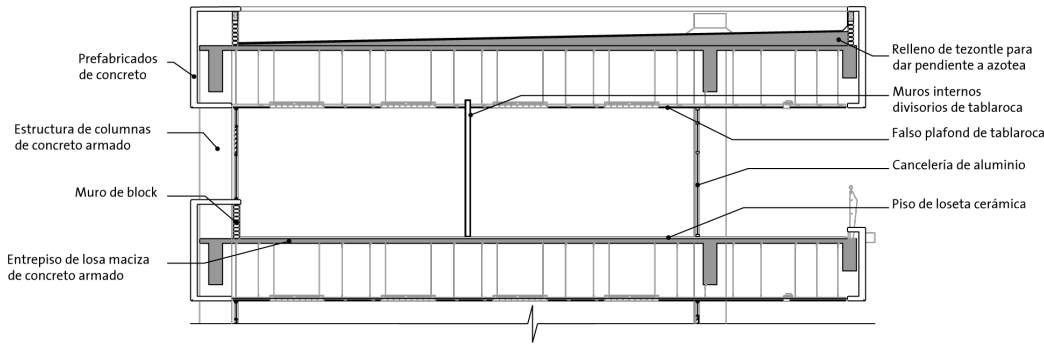


Figura 4.10. Corte arquitectónico con indicación de los materiales de construcción de las aulas.

Los acabados en piso son de loseta cerámica de 50x50 cm antiderrapante color salmón claro. Los muros divisorios son de tablayes de 10 cm y paneles de yeso de 1/2" de espesor. Presentan un acabado rugoso y el color final es blanco con un toque muy bajo de amarillo. La altura está determinada por la presencia de un falso plafón de tablayeso de 1/2" de espesor que está suspendido de la losa maciza y permite tener un espacio de aire de aproximadamente 1.20 m entre el plafón y la losa.

4.2.1.5 Aulas elegidas para su evaluación

Los espacios que se decidieron evaluar en este proyecto de investigación son las aulas, específicamente las que se encuentran en el tercer nivel del conjunto puesto que tienen una mayor superficie expuesta a la radiación solar y, por

tanto, son las que se estima presentarán las temperaturas más altas, lo cual podría perjudicar e incluso obstaculizar el correcto funcionamiento de las mismas. Dentro del tercer nivel de los edificios B, D, F, H y J se identificaron 4 tipos de aulas que presentan diferencias tanto en su tamaño como en su capacidad. En la tabla 4.1 se muestra un listado de las aulas presentes en cada edificio y el tamaño de cada una de ellas.

Tal como se estableció en la descripción del método, se seleccionaron cuatro aulas que estuvieran orientadas hacia un punto cardinal específico para poder hacer una comparativa entre ellas. Dado que no todas las aulas son iguales, se consideró que era importante elegir aulas de tamaños diferentes para tener un punto más de comparación entre aulas con dos fachadas y aulas con una sola.

B		D		F		H		J	
Salón	Tamaño	Salón	Tamaño	Salón	Tamaño	Salón	Tamaño	Salón	Tamaño
B-301	G	D-301	G	F-301	G	H-301	G	J-301	G
B-302	M	D-302	Ch	F-302	Ch	H-302	Ch	J-302	Ch
B-303	Ch	D-303	M	F-303	M	H-303	M	J-303	M
B-304	Ch	D-304	M	F-304	M	H-304	M	J-304	M
B-305	M	D-305	Ch	F-305	Ch	H-305	Ch	J-305	Ch
B-306	M	D-306	G	F-306	G	H-306	Ch	J-306	G
B-307	Ch	D-307	EP			H-307	M		
B-308	G	D-308	EP			H-308	G		
						H-309	G		
						H-310	M		
						H-311	Ch		
						H-312	Ch		
						H-313	M		
						H-314	M		
						H-315	Ch		
						H-316	G		

Código

G = Aulas grandes con cap. para 56 personas
M = Aulas medianas con cap. para 24 personas
Ch = Aulas chicas con cap. para 18 personas
EP = Aulas para exámenes profesionales

Tabla 4.1. Distribución de aulas en el tercer nivel por cada uno de los edificios.

Bajo estos criterios, las aulas que se eligieron para ser evaluadas son:

- Aula B-301 (Aula grande). Orientación Oeste.
- Aula F-302 (Aula chica). Orientación Norte.
- Aula F-303 (Aula mediana). Orientación Sur.
- Aula H-316 (Aula grande). Orientación Este.

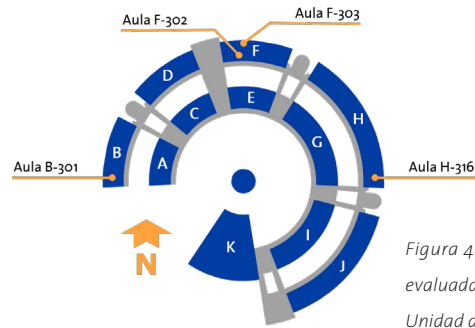
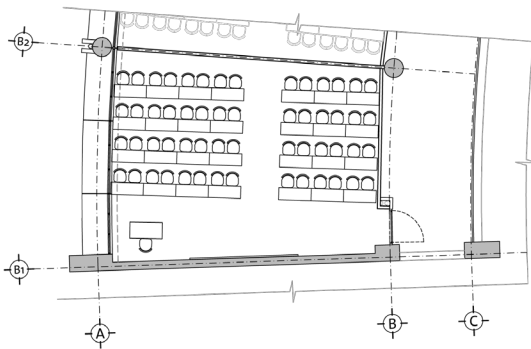


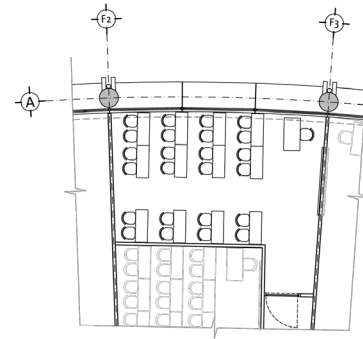
Figura 4.11. Ubicación de las aulas evaluadas dentro del conjunto de la Unidad de Posgrado.



AULA B-301. Orientación Oeste
Unidad de Posgrado
Edificio "B". Tercer nivel



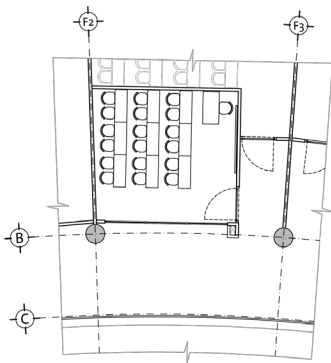
Figura 4.12. Planta arquitectónica del aula B-301.



AULA F-303. Orientación Norte
Unidad de Posgrado
Edificio "F". Tercer nivel



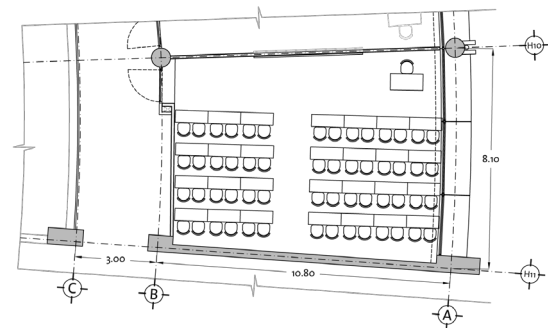
Figura 4.14. Planta arquitectónica del aula F-303.



AULA F-302. Orientación Sur
Unidad de Posgrado
Edificio "F". Tercer nivel



Figura 4.13. Planta arquitectónica del aula F-302.



AULA H-316. Orientación Este
Unidad de Posgrado
Edificio "H". Tercer nivel



Figura 4.15. Planta arquitectónica del aula H-316

4.2.2 Descripción de los usuarios

La Unidad de Posgrado cuenta dentro de sus instalaciones con una gran variedad de espacios, tales como: aulas, oficinas, cubículos para profesores, biblioteca, auditorio, cafetería, etc., por lo que se pueden encontrar diferentes tipos de usuario dentro del edificio (estudiantes, profesores, técnicos, administrativos, etc.). Sin embargo, dado que los espacios que serán evaluados son las aulas, del grupo de usuarios identificados, los únicos que son determinantes para la presente investigación son los estudiantes y los profesores.

De acuerdo con la ANUIES, la población de estudiantes de posgrado en toda la UNAM es de 26,146⁴⁸ alumnos. En cuanto a los posgrados de Arquitectura, Medicina, Artes Plásticas y Enfermería y Obstetricia que cuentan con alumnado dentro del edificio, las cifras son las siguientes:

Arquitectura	318 estudiantes
Medicina	8,547 estudiantes
Artes Plásticas	1358 estudiantes
Enfermería y Obstetricia	295 estudiantes

Los usuarios de los espacios que se están analizando cambian continuamente, puesto que dependen de los horarios de su programa de posgrado. Ningún grupo tiene un salón fijo y lo más probable es que los usuarios ocupen sólo por un semestre una determinada aula. En el caso de los profesores, algunos ya tienen un salón asignado para su materia. A pesar de que la población es muy variada, se podría decir que todos tienen características en común y que se pueden definir los rangos en que la mayoría de ellos se encuentran. A continuación se describirán los dos grupos que se tomaron en cuenta en la investigación:

48- "Anuario estadístico de educación superior". ANUIES, consultado 28 febrero, 2014. <http://www.anuies.mx/content.php?varSectionID=166>

-Profesores: La edad de los profesores es muy variable pero la mayoría se encuentra por arriba de los 30 años y algunos pueden llegar a tener 80 o más. Todos son académicos de la Universidad Nacional Autónoma de México, pudiéndose dedicar a la docencia y/o investigación de tiempo completo. Su escolaridad es de nivel posgrado. Su permanencia dentro del conjunto puede ser de dos tipos: una permanencia continua si es que todas o la mayor parte de sus actividades se dan en el edificio (dependiendo del número de horas de clase que tengan y si además están adscritos a otras dependencias o institutos); también puede tratarse de una permanencia intermitente, el cual es el caso de los profesores de asignatura quienes sólo están presentes durante las horas de sus clases y no cuentan con un cubículo de trabajo.

-Alumnos: La edad de los alumnos también tiene un rango amplio, comenzando desde los 23 años y hasta aproximadamente los 60⁴⁹. De acuerdo al Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), los programas de posgrado de las Facultades de Arquitectura y Medicina están inscritos en esta modalidad. Eso significa que todos sus alumnos podrían aspirar a una beca y dedicarse de tiempo completo a la realización del posgrado, sin embargo, muchos no permanecen en el edificio por la falta de bibliotecas y otros servicios, o porque necesitan acudir a laboratorios y aulas que se encuentran en otras áreas del campus o incluso, fuera de él, por lo que su estancia es predominantemente intermitente.

Como se ha podido observar, la presencia de los usuarios en el edificio es inconstante. Dicha situación no significa que las aulas estén vacías frecuentemente, simplemente quiere decir que existe una gran rotación de usuarios todo el tiempo. Las actividades en la Universidad comienzan a las siete de la mañana y finalizan a las diez de la noche, por tanto, se tomará todo este tiempo como el horario de uso de las aulas.

49- Universidad Nacional Autónoma de México, *El posgrado de la UNAM en cifras. Reporte de avances y perspectivas 2015* (México: UNAM, 2015), versión electrónica.

Respecto a las actividades, éstas son las propias del proceso de enseñanza-aprendizaje, dentro de las cuales se reconocen la lectura y escritura como las básicas. En cuanto a la impartición de clase y exposición de temas, se recurre al pizarrón y al proyector que se encuentra en cada una de las aulas. La iluminación es, entonces, un factor importante, ya que el usuario debe tener un control amplio para iluminar u oscurecer completamente el aula dependiendo de las actividades que el grupo vaya a realizar. La diversidad de necesidades no debería ser impedimento para crear un diseño que dé solución a ambas situaciones.

4.2.3 Factores climáticos

De acuerdo con la caracterización del clima que ofrece el INEGI, el caso de estudio se encuentra ubicado en un clima templado subhúmedo⁵⁰. Su código de acuerdo a la clasificación del Instituto basado en la corrección hecha por Enriqueta García en 1964 es Cw. La característica principal de este clima es la presencia de lluvias en verano. Sus temperaturas oscilan entre 3 y 18 °C en el mes más frío y presenta más de 10 °C en los meses cálidos. Su vegetación corresponde a la de bosque mixto y su topografía es de zona montañosa o llanura pero siempre con una altitud superior a los 1000 msnm.

A continuación se mostrarán las gráficas correspondientes a temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, las cuales fueron elaboradas con los datos registrados en la base de medición Pedregal (PED) de la Red de Meteorología y Radiación Solar (REDMET)⁵¹ que es un subsistema del Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT). Los datos corresponden a mediciones horarias por cada día del año 2013. Se eligió tomar los datos de esta base puesto que es la más cercana y con características

más similares al área de Ciudad Universitaria, lo cual permitirá tener una mayor precisión en los resultados que se obtengan del cálculo.



Figura 4.16. Mapa de los climas del Distrito Federal, intervenido para mostrar la ubicación de la Unidad de Posgrado. Fuente: <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/clima.aspx?tema=me&e=09>

50- "Clima del Distrito Federal", INEGI, consultada 28 septiembre, 2013, <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/clima.aspx?tema=me&e=09>

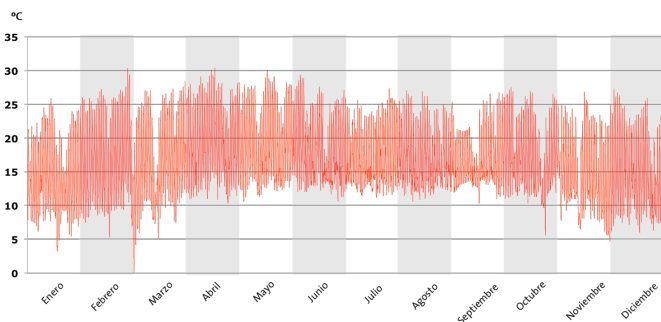
51- "Bases de datos – Red de Meteorología y Radiación Solar (REDMET)", SIMAT, consultada 1 octubre, 2013, <http://www.aire.df.gob.mx/default.php?opc=%27aKBi%27>

4.2.3.1 Temperatura

El American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) define la temperatura como:

“Medición de calor o frío con respecto a un cero arbitrario o al cero absoluto. Las temperaturas se indican en escalas establecidas, tales como Kelvin y Rankine para temperaturas absolutas, y Celsius y Fahrenheit para temperaturas ordinarias”.⁵²

En la definición que propone el ASHRAE es importante hacer notar una situación ligada al criterio que se toma para determinar el grado de “calor” o “frío”. En este caso se propone que existen dos posibilidades: la primera es tomar como parámetro un punto arbitrario mientras que en la segunda se hace referencia al cero absoluto con escalas establecidas a partir de propiedades físicas. Ésta última será la referencia que se tomará para la elaboración de los cálculos térmicos. En México se utiliza la escala de grados centígrados para hacer las mediciones de temperatura, por tanto, será la unidad que se utilizará en todo momento cuando se expresen datos referidos a este factor.



Gráfica 4.1. Temperatura anual en 2013 registrada en la estación Pedregal (PED) del REDMET. Fuente: Elaboración propia con información de la Base de Datos de REDMET.

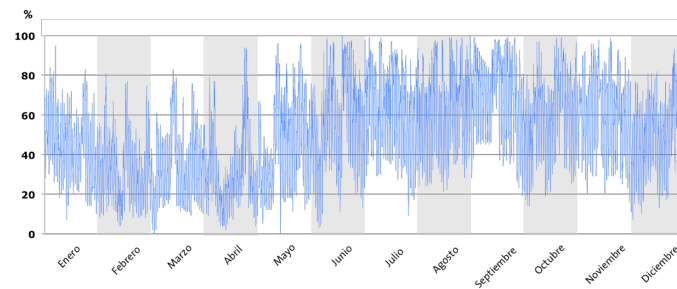
52- “Temperature”, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, consultado 5 marzo, 2014, <http://wiki.ashrae.org/index.php/Temperature>

En la gráfica 4.1 pueden verse las fluctuaciones que presenta la temperatura a lo largo del año. Tal como establece la caracterización del INEGI, ésta se mantiene relativamente constante. Se puede observar que los meses de invierno son los que presentan diferencias de temperatura más amplias entre la noche y el día. Hacia el final de la primavera (21 de marzo al 21 de junio), verano (21 de junio al 23 de septiembre) y buena parte del otoño (23 de septiembre al 21 de diciembre) esta diferencia se reduce, en gran parte, por la presencia de las lluvias, las cuales contribuyen a que no se eleve demasiado la temperatura. Todos los datos registrados a lo largo del año se encuentran dentro del rango de los 5 a los 30 °C. Puede apreciarse que en muy pocas ocasiones se superaron estos límites.

4.2.3.2 Humedad

El ASHRAE ofrece la siguiente definición para humedad relativa:

“Relación existente entre la presión parcial o la densidad de vapor de agua y la presión de saturación o densidad, respectivamente, a la misma temperatura de bulbo seco y la presión barométrica del aire ambiente”.⁵³



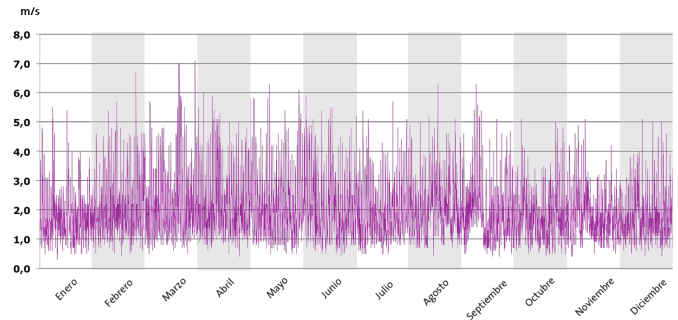
Gráfica 4.2. Humedad relativa anual en 2013 registrada en la estación Pedregal (PED) del REDMET. Fuente: Elaboración propia con información de la Base de Datos de REDMET.

53- “Relative humidity”, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, consultado 5 marzo, 2014, http://wiki.ashrae.org/index.php/Relative_humidity

En la gráfica 4.2 resulta muy evidente el aumento que se da en la humedad relativa en los meses de verano y una parte del otoño que corresponden a la temporada de lluvias. En los meses de invierno y primavera, los niveles de humedad se mantienen en porcentajes que en gran parte del tiempo se podrían considerar como bajos, si tomamos en cuenta las recomendaciones que hacen los diferentes investigadores del confort, quienes sugieren tener una humedad mínima de 20%⁵⁴. Sin embargo, durante los meses de lluvia, las mediciones muestran de manera predominante momentos de altos niveles de humedad que en repetidas ocasiones llegan al punto máximo de saturación.

4.2.3.3 Viento

En cuanto a la gráfica del viento se puede ver que la mayor parte de las velocidades que se presentan en la zona del Pedregal se desarrollan en el rango de 1 a 4 m/s. En este caso muy particular es importante poder diferenciar de manera detallada al momento de hacer el cálculo cuáles son las velocidades diurnas, que pueden variar drásticamente de las nocturnas puesto que, además de generar una variación en la temperatura interior del edificio también podría tener repercusiones en la comodidad de los usuarios. Se recomienda que en espacios interiores la velocidad no supere los 1,5 m/s⁵⁵, puesto que a esta velocidad los papeles y algunos objetos podrían ser arrastrados por la corriente, lo cual no sería adecuado dentro de un salón de clases.



Gráfica 4.3. Velocidad del viento anual en 2013 registrada en la estación Pedregal (PED) del REDMET. Fuente: Elaboración propia con información de la Base de Datos de REDMET.

4.2.3.4 Radiación solar

Además de analizar los componentes básicos del clima (temperatura, humedad relativa y viento) es importante conocer los ángulos de incidencia del sol durante las distintas épocas del año. Para determinar tanto la altura solar (A) como el azimut solar (Az) existen diferentes métodos de proyección, de los cuales uno de los más utilizados es el de la gráfica solar ortográfica. En este tipo de gráfica se muestran tanto la altura como el azimut en dos esquemas separados. En ella se representan todos los meses del año y horas del día, por lo cual es muy sencillo determinar la posición exacta del sol en cualquier momento.

Dado que se determinó que mayo y enero son los meses más críticos por contar con las temperaturas más altas y bajas, respectivamente, se presentarán a continuación dos gráficas solares en las cuales se indica la posición del sol para estos dos meses (Figura 4.17). Ambas muestran al sol justo en el cenit, es decir, a las 12 del día.

54- Apuntes del curso "Sistemas pasivos de climatización" durante el semestre 2014-2 con el Dr. José Diego Morales Ramírez

55- Victor Fuentes, Ventilación natural. Cálculos básicos para arquitectura. (México: Universidad Autónoma Metropolitana, 2003). 30-31.

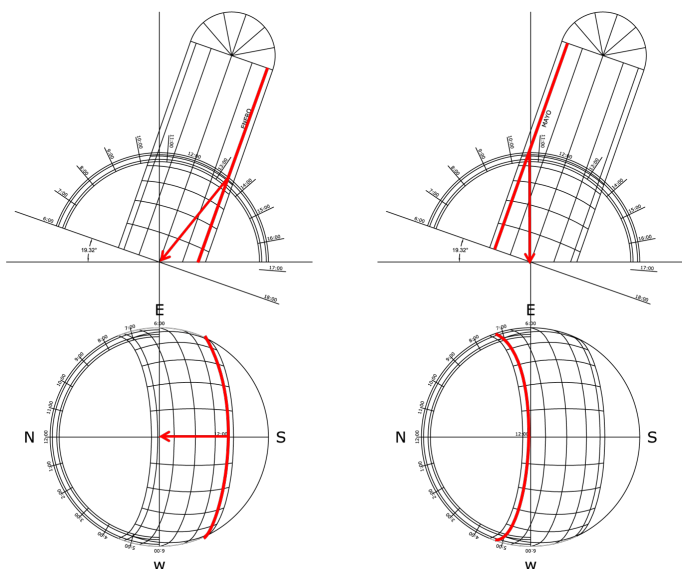


Figura 4.17. Gráficas solares ortográficas para la Ciudad de México que indican la incidencia solar en los meses de enero (izquierda) y mayo (derecha).

Puede apreciarse que durante el mes de mayo, cuando el sol está en el cenit, éste cae casi a plomo sobre la Tierra, lo que implica una mayor ganancia de calor puesto que el ángulo es muy cercano a la perpendicular. El recorrido que sigue durante el día y la tarde hace que su incidencia en las fachadas sea casi paralela, lo cual permite que la ganancia de calor no sea completa. Sin embargo, en las primeras y las últimas horas del día se puede anticipar la necesidad de parasoles en el caso de espacios con orientación este u oeste para evitar que los rayos penetren al interior de los espacios. Debido a la inclinación que presenta el sol durante este mes, los días son más largos, por lo que se cuenta con más radiación e iluminación.

Para el caso del mes de enero, se tiene que el ángulo de incidencia es de aproximadamente 45° , lo cual permite que el sol penetre en el interior de los edificios, siempre y cuando no existan aleros que lo impidan. Ya que se trata del mes más frío, es adecuado que el sol pueda penetrar, sin embargo, depende mucho de las actividades que se realicen al interior, puesto que para algunas de ellas, será molesta la presencia de los

rayos solares. Respecto a mayo, la ganancia calórica disminuye en la cubierta pero aumenta en los muros y, al contrario de dicho mes, enero cuenta con días más cortos por lo que existe menor disponibilidad de luz y calor.

En la tabla 4.2 se encuentran relacionados los datos de radiación solar global en la Ciudad de México para los dos meses que se evaluarán. Los datos se obtuvieron con el software diseñado por el Arq. Gabriel Balderas llamado "Solar"⁵⁶. Se puede notar en ella que los valores de radiación son más altos durante mayo, la época de primavera. Considerando los agudos ángulos de inclinación del sol durante el mes de enero y el bajo nivel de radiación se explica la presencia de las temperaturas más bajas durante este mes.

Datos de radiación solar expresados en W/m ²		
Hora	Enero	Mayo
06:00	-	53.0
07:00	63.0	210.0
08:00	225.0	375.0
09:00	388.0	526.0
10:00	524.0	646.0
11:00	613.0	723.0
12:00	645.0	750.0
13:00	613.0	723.0
14:00	524.0	646.0
15:00	388.0	526.0
16:00	225.0	375.0
17:00	63.0	210.0
18:00	-	53.0

Tabla 4.2. Datos de radiación solar para la Ciudad de México. Elaboración propia con información del software Solar del Arq. Gabriel Balderas.

De acuerdo con los datos climáticos mostrados, se puede observar que en la Ciudad de México existe una diferencia significativa de temperaturas entre la primavera y el invierno, por lo cual, se debe evaluar el edificio durante estas

56- Material didáctico del curso "Cálculo térmico en edificios" durante el semestre 2014-1 con el Dr. José Diego Morales Ramírez.

dos épocas para asegurar que las aulas respondan bien ante ambas circunstancias.

4.3 Evaluación diagnóstica térmica

La evaluación diagnóstica térmica se llevó a cabo utilizando el método matemático del software TRNSYS adecuado por el Dr. José Diego Morales Ramírez al Sistema Internacional de unidades. Este método evalúa las cargas térmicas presentes en el edificio y permite tener una gran precisión en cuanto al conocimiento del impacto que cada una de ellas tiene en la determinación de la temperatura interna.

El objetivo de esta etapa es mostrar en conjunto los resultados de las cuatro aulas para los dos periodos de estudio indicados. Al confrontar las distintas temperaturas obtenidas para cada una de ellas, se podrá determinar cuál de las orientaciones tiene el mejor desempeño de acuerdo con una serie de condiciones establecidas previamente. Por este motivo, las gráficas presentadas mostrarán los resultados de las cuatro orientaciones de manera simultánea. Primero se analizará la situación de las aulas para el mes de enero y posteriormente para mayo. En cada caso se muestra una tabla con las temperaturas internas que alcanzan todas las aulas durante cada hora por 24 horas. Al final de la misma se incluye un resumen con la máxima, media y mínima temperatura alcanzada en cada caso. De manera paralela, se incluye una gráfica donde se puede ver el desempeño de las aulas y su posición respecto al rango de confort. También se elaboró un gráfico en el que se pueden observar los conceptos evaluados por aula donde se muestra cuáles de ellos representaron las mayores ganancias y las mayores pérdidas calóricas.

El método utilizado para la elaboración del diagnóstico térmico requiere que se tomen ciertos criterios respecto al horario de uso del espacio, la ocupación, los equipos eléctricos presentes y la ventilación. De acuerdo con estos factores, a continuación se enumeran las consideraciones hechas en la realización del cálculo térmico de todas las aulas.

-El periodo de cálculo térmico se realizó por 24 horas continuas.

-Se consideró un horario de uso posible de las 7 am a las 10 pm.

-Todas las aulas se calcularon a su máxima capacidad. Para las aulas B-301 y H-316 se tomaron en cuenta 57 personas presentes. Para el aula F-303, 25 personas y para el aula F-302, 19 personas. Las cantidades expresadas se corresponden con el número de alumnos indicados en proyecto y un profesor.

-En las aulas B-301, F-303 y H-316 que cuentan con fachada hacia la parte externa, se consideró la ventilación en 2/3 partes, ya que una de las persianas debe permanecer cerrada cuando se hacen presentaciones con el proyector para oscurecer el espacio. En el aula F-302 se consideró la ventilación al 100% durante todo el tiempo, ya que en ella no hay proyector. En el periodo cálido, la ventilación se incluyó desde las 9:00 hasta las 21:00 horas por ser el periodo donde se presentan temperaturas más altas, suponiendo que la ventilación podría ayudar a disminuir la temperatura. En el periodo frío, ésta se utilizó únicamente cada 2 horas puesto que la temperatura ambiente es muy baja y el uso de la ventilación provocaría un fuerte descenso, no deseable, en la temperatura interna.

-Respecto al uso de equipos eléctricos, se consideró que todas las lámparas están encendidas todo el tiempo, así como el proyector. Respecto a equipos adicionales, sólo se consideró un número de laptops que se correspondiera con el número de contactos presentes en el aula, ya que esta cifra puede ser muy variable.

En la tabla 4.3 se muestra el resumen de las consideraciones descritas anteriormente:

Enero	Usuarios	Lámparas	Proyector	Laptops	Ventilación	Horario de ventilación
B-301	57	8	1	11	66%	9:00, 12:00, 15:00 y 18:00
F-302	19	4	1	4	33%	
F-303	25	4	1	7	66%	
H-316	57	8	1	11	66%	

Mayo	Usuarios	Lámparas	Proyector	Laptops	Ventilación	Horario de ventilación
B-301	57	8	1	11	66%	Desde las 9:00 hasta las 21:00
F-302	19	4	1	4	100%	
F-303	25	4	1	7	66%	
H-316	57	8	1	11	66%	

Tabla 4.3. Consideraciones hechas para el cálculo térmico por aula y por mes.

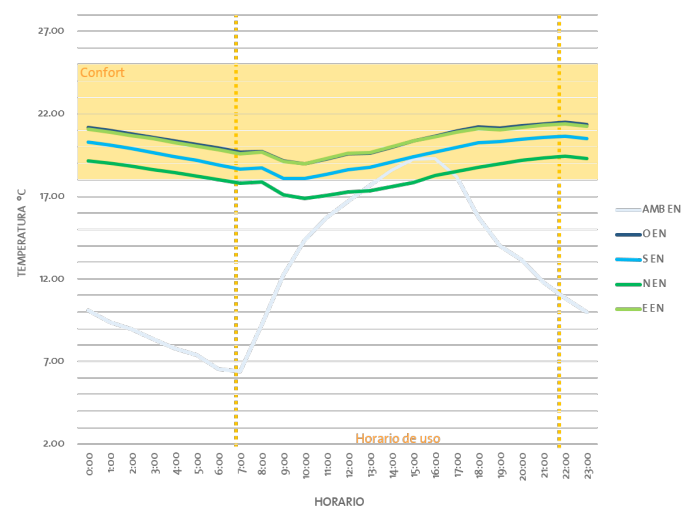
En cuanto a los datos de temperatura, humedad relativa y viento, se utilizaron las medianas obtenidas de los datos meteorológicos medidos por la estación Pedregal (PED) de la REDMET⁵⁷ que abarcan el periodo de 1998 a 2014.

4.3.1 Resultados del mes de enero

Para el mes de enero, el periodo más frío en la Ciudad de México, la mayor parte del tiempo las aulas se encontraron en el rango de confort, sin embargo, las temperaturas estuvieron muy cercanas al límite inferior (Gráfica 4.4). La única aula que se encontró por nueve horas continuas por debajo del nivel de confort es el aula norte debido a que su única fachada no recibe radiación en ningún momento del día y su única fuente de ganancia calórica por conducción es la cubierta.

ENERO *					
Hora	AMB	O	S	N	E
0:00	10.10	21.17	20.30	19.16	21.07
1:00	9.40	20.99	20.10	19.00	20.89
2:00	8.95	20.79	19.88	18.82	20.69
3:00	8.35	20.59	19.66	18.63	20.49
4:00	7.80	20.37	19.42	18.44	20.27
5:00	7.40	20.15	19.17	18.23	20.05
6:00	6.55	19.92	18.92	18.02	19.82
7:00	6.40	19.69	18.66	17.80	19.59
8:00	9.25	19.72	18.74	17.87	19.68
9:00	12.25	19.14	18.10	17.10	19.13
10:00	14.35	18.96	18.09	16.87	18.98
11:00	15.70	19.25	18.33	17.05	19.28
12:00	16.70	19.58	18.61	17.26	19.63
13:00	17.65	19.60	18.76	17.32	19.64
14:00	18.60	19.98	19.09	17.58	20.00
15:00	19.25	20.36	19.41	17.85	20.35
16:00	19.30	20.66	19.69	18.25	20.60
17:00	18.20	20.98	19.99	18.52	20.88
18:00	15.75	21.23	20.24	18.78	21.12
19:00	14.00	21.15	20.31	18.99	21.05
20:00	13.15	21.29	20.46	19.17	21.19
21:00	11.80	21.40	20.57	19.32	21.30
22:00	10.85	21.50	20.66	19.44	21.40
23:00	10.00	21.34	20.49	19.31	21.24
MAX	19.30	21.50	20.66	19.44	21.40
MIN	12.57	20.41	19.49	18.28	20.35
MIN	6.40	18.96	18.09	16.87	18.98

* Valores expresados en °C

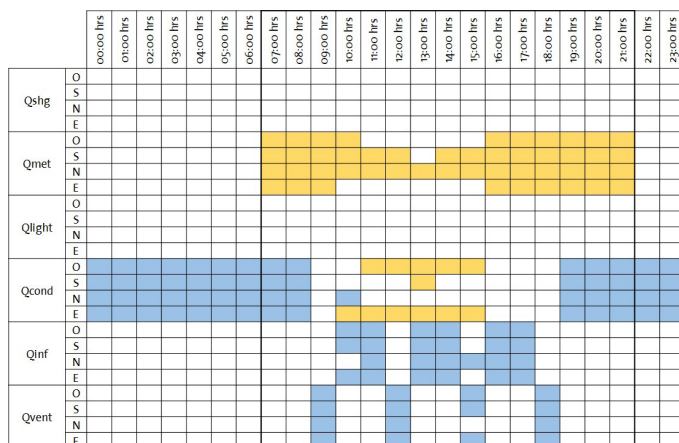


Gráfica 4.4. Valores de temperatura exterior e interior para todas las aulas en enero.

A simple vista podría parecer que, salvo el aula Norte, el resto de las aulas no tiene problemas para encontrarse dentro del rango de confort. Sin embargo, es importante analizar de manera más profunda los resultados para identificar cuáles son los factores que representan la mayor ganancia calórica y cuáles son los factores de mayor pérdida. En la gráfica 4.5 se pueden observar dichos factores por cada hora. Es importante

57- "Bases de datos - Red de Meteorología y Radiación Solar (REDMET)", SIMAT, consultada 1 octubre, 2013, <http://www.aire.df.gob.mx/default.php?opc=%27aKBi%27>

hacer notar que los conceptos que más afectaron al confort, en uno y otro caso, se repiten de manera constante en todas las aulas salvo pequeñas variaciones.



Gráfica 4.5. Factores del cálculo térmico que representaron las mayores ganancias calóricas (naranja) y las mayores pérdidas (azul) por cada hora para el mes de enero.

El concepto que mayor ganancia calórica representó para las aulas es el denominado Q_{met} (calor producido por la presencia de personas). Fuera del horario de uso el aula sólo desprende calor, lo cual resulta normal puesto que dejan de existir ganancias a través de los usuarios, el equipo eléctrico y la radiación. Los únicos conceptos que intervienen durante este tiempo son la conducción y la infiltración. Sin embargo, no hay que perder de vista que, al ser las personas la principal fuente de calor, si el aula estuviera vacía por largos periodos de tiempo o contara con pocos usuarios, la temperatura interna no se elevaría lo suficiente e incluso podría tener pérdidas considerables.

Para este mes, las aulas este y oeste tuvieron el mejor desempeño al presentar las temperaturas más altas, ubicándose de manera más cercana en el punto medio del rango de confort. Su comportamiento es muy similar debido a que sus características arquitectónicas son prácticamente las mismas. A pesar de que su orientación sea distinta, su

intercambio de calor con el medio se lleva a cabo de la misma manera, ya que sus fachadas se encuentran protegidas la mayor parte del tiempo, de la radiación solar directa.

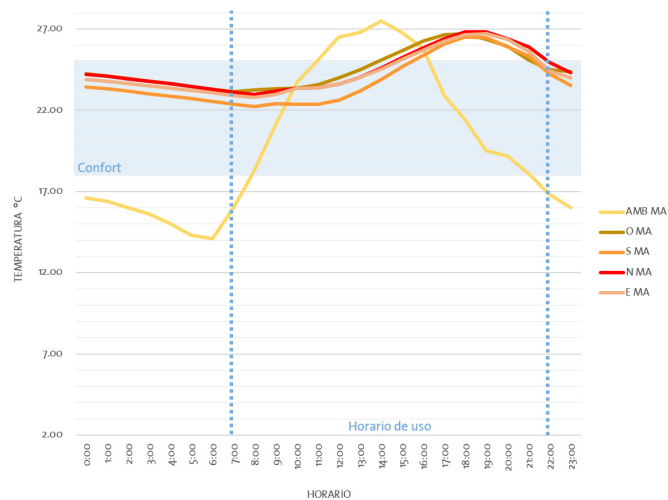
Como ya se indicó, el aula norte fue la que tuvo el peor desempeño con las temperaturas más bajas y es la única que obtuvo horas de uso fuera del rango de confort. Esta aula, al igual que el resto, obtuvo su mayor pérdida calórica a través de la envolvente, principalmente mediante las ventanas que, después de la cubierta, representan la mayor área de contacto con el ambiente exterior. Su alto índice de transmitancia térmica permite que el calor se pierda fácilmente. Los cerramientos acristalados podrían ser una muy buena fuente de ganancia calórica siempre y cuando estén expuestos a la radiación solar, la cual no es la situación de esta aula, por el contrario, todo el tiempo se encuentra bajo la sombra. En este caso en específico, la orientación jugó un papel fundamental para alejar al aula del rango de confort.

4.3.2 Resultados del mes de mayo

Para el caso del mes de mayo, todas las aulas tuvieron en general un desempeño muy homogéneo, aunque no tan adecuado, ya que existe un momento de la tarde en el cual todas salen del rango de confort entre 6 y 8 horas dependiendo de la orientación (Gráfica 4.6). La primer aula en sobrepasar el límite es la oeste a las 14:00 horas, alcanza su máxima temperatura a las 18:00 y vuelve al rango de confort a las 22:00. El aula sur sale del rango de confort a las 16:00, alcanza el máximo a las 18:00 horas y regresa al confort a las 22:00 horas. Las aulas norte y este salen del confort a las 15:00, alcanzan el máximo a las 19:00 y regresan al confort a las 22:00 horas. Como se ha podido observar, todas las aulas regresan al rango de confort a las 22:00 horas, momento en que finalizan las actividades.

MAYO *					
Hora	AMB	O	S	N	E
0:00	16.60	24.25	23.44	24.22	23.88
1:00	16.40	24.10	23.31	24.09	23.77
2:00	16.00	23.95	23.17	23.94	23.64
3:00	15.60	23.80	23.02	23.79	23.50
4:00	15.00	23.64	22.87	23.63	23.36
5:00	14.30	23.47	22.71	23.47	23.22
6:00	14.10	23.29	22.55	23.30	23.07
7:00	16.00	23.14	22.37	23.12	22.90
8:00	18.30	23.24	22.22	22.98	22.78
9:00	21.10	23.32	22.40	23.17	22.98
10:00	23.70	23.36	22.37	23.36	23.37
11:00	25.10	23.57	22.37	23.39	23.41
12:00	26.50	23.98	22.63	23.60	23.61
13:00	26.80	24.50	23.18	24.04	24.03
14:00	27.50	25.10	23.88	24.59	24.54
15:00	26.80	25.67	24.66	25.22	25.14
16:00	25.80	26.25	25.38	25.82	25.70
17:00	22.90	26.65	26.08	26.42	26.27
18:00	21.40	26.71	26.52	26.81	26.66
19:00	19.50	26.37	26.47	26.83	26.72
20:00	19.20	25.93	25.92	26.40	26.36
21:00	18.10	25.08	25.34	25.91	25.63
22:00	16.80	24.50	24.24	24.96	24.44
23:00	16.00	24.38	23.54	24.33	23.98
MAX	27.50	26.71	26.52	26.83	26.72
MED	19.98	24.51	23.78	24.47	24.29
MIN	14.10	23.14	22.22	22.98	22.78

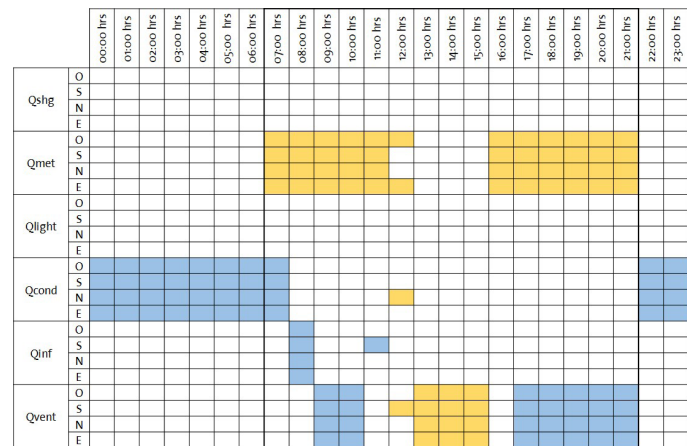
*Valores expresados en °C



Gráfica 4.6. Valores de temperatura exterior e interior para todas las aulas en mayo.

Respecto a los conceptos que representaron las mayores ganancias térmicas, se encuentran el Q_{met} y el Q_{vent} , el calor adquirido por presencia de personas y por ventilación, respectivamente. En las primeras horas de actividades, las personas aportan una gran cantidad de calor, posteriormente

las aulas aumentan su temperatura gracias al calor que aporta la ventilación, puesto que la temperatura externa es superior a la interna. A partir de las 16:00 horas, la presencia de las personas vuelve a ser la mayor aportación calórica. Por su parte, durante el horario de uso la pérdida más significativa, paradójicamente, resulta ser también la ventilación. Existe un fenómeno interesante entre las 11:00 y las 16:00 horas, ya que a diferencia del mes de enero, en mayo ninguno de los conceptos representa pérdidas calóricas, por el contrario, todas son ganancias. Esta es la razón por la cual en la tarde las aulas se salen del rango de confort.



Gráfica 4.7. Factores del cálculo térmico que representaron las mayores ganancias calóricas (naranja) y las mayores pérdidas (azul) por cada hora para el mes de mayo.

En general, todas las aulas tienen un desempeño muy similar, la diferencia entre una y otra es mínima. Sin embargo, se puede notar que el aula norte es aquella que alcanza la temperatura más alta de todas con 26.83 °C, es decir, 1.83 °C por arriba de la zona de confort. La razón de que el comportamiento de las aulas sea tan semejante vuelve a ser la radiación. Debido a que los ángulos solares durante esta época del año son muy altos, tan sólo en las dos primeras y las dos últimas horas del día la radiación incide directamente sobre las fachadas. El resto del tiempo éstas intercambian calor con el ambiente bajo la sombra de la misma manera.

En términos generales, se podría decir que el aula con el mejor desempeño es el aula este, la cual, a pesar de que también se sale del rango de confort, presenta de manera continua las temperaturas más bajas.

4.3.3 Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en la fase de diagnóstico térmico, en la que se evaluaron cuatro aulas de la Unidad de Posgrado de la UNAM donde se les consideró tal cual fueron diseñadas a su máxima capacidad y siendo utilizadas todo el día, se llegó a las siguientes conclusiones:

-El desempeño térmico en general de las aulas es deficiente porque la envolvente del edificio no es capaz de mantener las condiciones interiores de temperatura y se sincroniza en gran parte del tiempo con la temperatura exterior, en lugar de mantener o perder calor según lo requiera.

-Dado que los materiales de todas las aulas son los mismos y las áreas expuestas al ambiente son muy similares respecto de su espacio interno, la selección de éstos representa el factor más importante en la determinación de la temperatura interna tanto para enero como para mayo.

-Se debe hacer una revisión más puntual de las ventanas en cuanto a materiales y diseño, ya que en todos los casos representaron el área del aula que más pérdida de calor por conducción presentó.

-La época más crítica es la invernal porque las aulas se encuentran la mayor parte del tiempo en el límite inferior del rango de confort y su mayor aportación calórica son las personas. Si las aulas no fueran ocupadas todo el tiempo a su máxima capacidad, la temperatura interna descendería considerablemente y, de manera muy probable, las mantendría fuera del rango de confort.

-Por su parte, para la primavera casi toda la tarde se

sobrepasa el límite superior de confort. La ventilación es un elemento de gran peso debido a que en las primeras y últimas horas de uso representa la mayor pérdida de calor, mientras que en las últimas horas de la mañana y las primeras horas de la tarde, cuando se alcanzan las máximas temperaturas en el exterior, representa las mayores ganancias. Será importante, entonces, generar una estrategia de ventilación que permita contrarrestar esta situación.

-Al evitarse la radiación directa sobre las fachadas mediante el uso de aleros y volados se reduce al mínimo la diferencia entre una orientación y otra en el periodo primaveral, puesto que a la sombra, todas las fachadas intercambian calor con el ambiente exactamente de la misma manera.

-De acuerdo con el punto anterior, los materiales fueron un elemento determinante para la pérdida de calor y tuvieron un mayor impacto en comparación con la orientación.

-Al contrario de lo que sucede en primavera, la radiación en invierno sobre las distintas fachadas genera una polarización en cuanto al desempeño de las aulas, haciendo que la diferencia de temperatura sea mucho más notoria.

-Si bien hacer un análisis para estos dos periodos del año: el más frío y el más cálido, es importante, los resultados que se obtuvieron subrayan la necesidad de prestar mayor atención a la temporada invernal, en la que la ganancia de calor es muy baja y lenta.

-La presencia de usuarios, el uso de la iluminación artificial y de equipos eléctricos representaron en todos los casos, la mayor cantidad de ganancia de calor.

-Las orientaciones este y oeste fueron las mejores para el invierno por ser las que ganan más calor con mayor rapidez. En el caso de la orientación norte, que fue la peor en invierno, debido a la falta de radiación, su desempeño está determinado única y exclusivamente por la transmitancia de los materiales

y la radiación que incide en la cubierta. Por ello es importante hacer una correcta selección de los mismos.

-Si bien los elementos de concreto en las primeras horas de la mañana representaron pérdidas calóricas importantes para todas las aulas (B-301, F-302, F-303 y H-316), requirieron en promedio 3.5 horas para convertirse en los elementos que, posteriormente, aportaron la mayor cantidad de calor. En este caso, la cubierta fue el componente con mayor aportación debido a que es un elemento de gran peralte por la presencia del relleno, impermeabilizante, entortado y enladrillado. Por el contrario, las ventanas, puertas y muros de tablayeso son los elementos con la transmitancia térmica más alta.

4.4 Evaluación diagnóstica lumínica

El desarrollo de la evaluación diagnóstica lumínica se llevó a cabo con la ayuda de software especializado en el tema. Se elaboró un modelo tridimensional en el programa Sketchup (Figura 4.18) que posteriormente fue insertado en el programa Ecotect. Dicho software cuenta con un plug-in que permite ligar la información introducida con el software Radiance y obtener las evaluaciones a través de Ecotect. Pese a que sólo se evaluó el interior de las cuatro aulas propuestas, se decidió elaborar el volumen de todo el conjunto puesto que el contexto tiene un papel importante en las reflexiones u obstrucciones de luz que llega al interior.

De acuerdo con las fases de experimentación propuestas, los primeros resultados mostrados en la evaluación diagnóstica lumínica serán los pertenecientes al análisis por separado de cada aula. Se mencionará, además, cuáles son los aspectos que perjudican o benefician a la generación del confort interno. Al igual que en la evaluación diagnóstica térmica, se tomaron criterios para elaboración de las simulaciones, los cuales se enumeran a continuación:

-La fecha y horas de cálculo consideradas son: el 21 de septiembre a las 9:00 y las 15:00 horas tal cual se indica en los requerimientos del apartado de luz natural de la certificación LEED v4⁵⁸.

-El cielo de diseño para ambas horas se estableció en 9400 luxes con un cielo despejado de acuerdo con el sitio web *Design sky Illuminance Calculator*⁵⁹ del Dr. Andrew Marsh, creador del software Ecotect en el cual se llevaron a cabo las simulaciones lumínicas con el plug-in de Radiance.

-En el modelo tridimensional no se incluyeron los elementos del contexto inmediato porque no se encuentran lo suficientemente cerca como para tener una afectación importante en el nivel de iluminación interno.

-La evaluación dentro de las aulas se realizó mediante un plano horizontal cuadriculado que se colocó a 72 cm del piso terminado, la cual es la altura de las mesas de trabajo.

-Se asignó un índice de reflectividad a cada superficie dentro del aula basado en su color y textura. En la tabla 4.4 se indican los índices de los distintos materiales utilizados dentro de la simulación:

	Reflectividad		Reflectividad		Reflectividad
Azotea	35 %	Piedra	40 %	Mobiliario	75 %
Cancelería	80 %	Piso	60 %	Muros	75 %
Concreto	30 %	Pizarrones	90 %	Tablaroca	80 %
Cristal	8 %	Prefabricados	50 %	Puertas elevador	80 %
Esmerilado	5 %	Puertas	80 %		

Tabla 4.4. Índices de reflectividad para los materiales utilizados en las aulas.

58- "Daylight", United States Green Building Council, consultado 22 mayo, 2014. <http://www.usgbc.org/credits/healthcare/v4-draft/eqc-o>

59- "Design sky illuminance calculator", Dr. Andrew Marsh, consultado 20 marzo, 2015. <http://wiki.naturalfrequency.com/files/wiki/daylight/design-sky.swf>

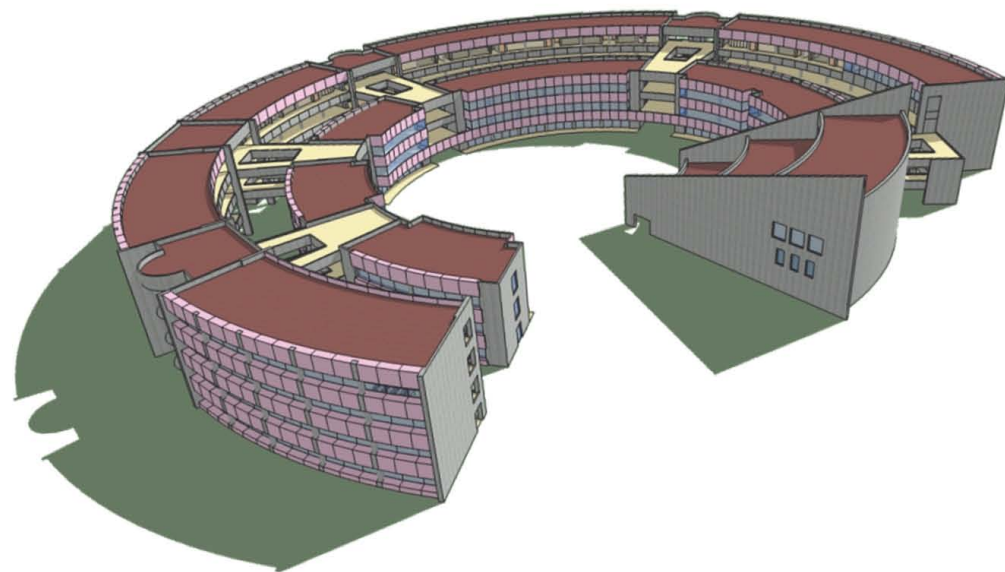


Figura 4.18. Modelo tridimensional del conjunto arquitectónico de la Unidad de Posgrado.

Las imágenes que se presentan como resultado de la evaluación, muestran una cuadrícula que mide 40 x 40 cm, con el objetivo de hacer mucho más fácil la lectura e interpretación de los datos. El software permite visualizar el valor de cada nodo y obtener mínimos, medios y máximos de iluminación.

4.4.1 Resultados del análisis a las 9:00 horas del 21 de septiembre

En los resultados que se obtuvieron de las simulaciones para las 9:00 horas se observó que el desempeño general de las aulas fue bueno, ya que en todas se superó el nivel mínimo de iluminación requerido establecido en 400 luxes. En la tabla 4.5 se muestra el resumen de los niveles de iluminación máximo, promedio y mínimo que se obtuvieron por aula:

Evaluación diagnóstica (09:00 horas) *			
09:00	MAX	MED	MIN
B-301	3,797.13	2,278.11	759.09
F-302	2,388.62	1,719.33	1,050.04
F-303	3,403.23	2,570.21	1,737.18
H-316	3,797.07	2,135.04	473.00

* Valores expresados en luxes

Tabla 4.5. Niveles de iluminación obtenidos por aula a las 9:00 horas.

Se puede observar en la tabla 4.5 que los valores medios se encuentran alrededor de los 2000 luxes, lo cual representa un resultado bastante favorable considerando que el nivel mínimo debe ser de 400. Por otro lado, aun el aula que obtuvo el valor más bajo a nivel global estuvo por encima de este valor.

En seguida se muestran las imágenes con los resultados obtenidos correspondientes a cada una de las aulas. En todas es notorio que la distribución de la luz es más intensa junto a las ventanas y disminuye a medida que se aleja de ellas. También se puede notar que los niveles más altos se corresponden con la dirección que presenta el sol en ese momento del día.

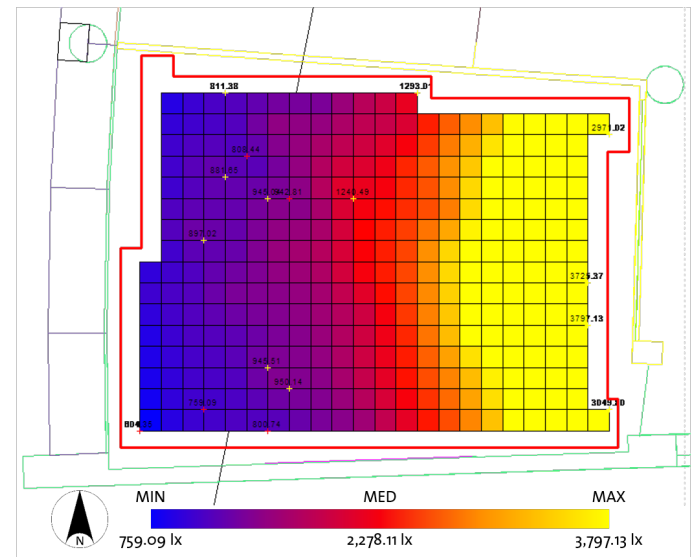


Figura 4.19. Nivel de iluminación en el aula B-301 (orientación oeste) a las 9:00 horas.

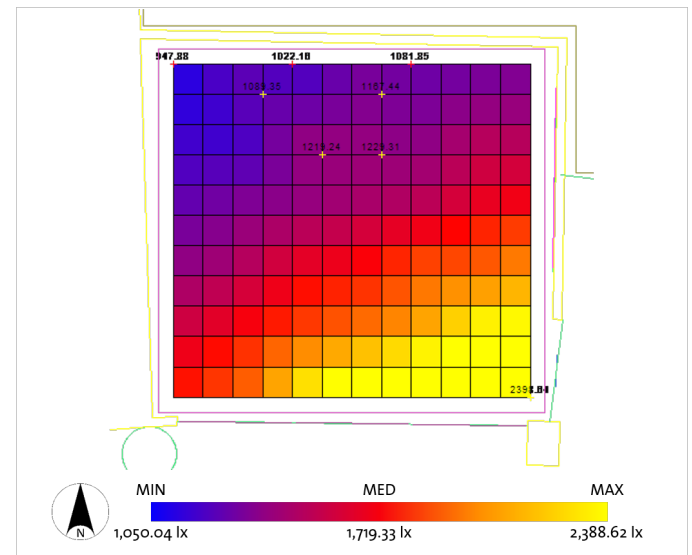


Figura 4.20. Nivel de iluminación en el aula F-302 (orientación sur) a las 9:00 horas.

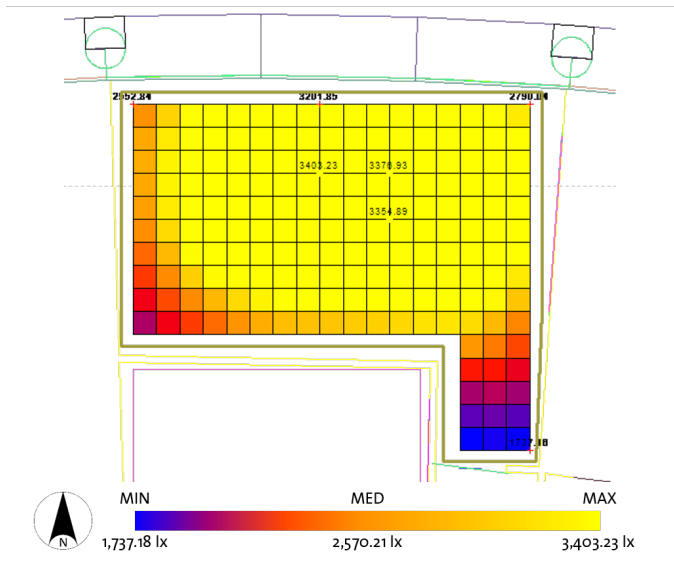


Figura 4.21. Nivel de iluminación en el aula F-303 (orientación norte) a las 9:00 horas.

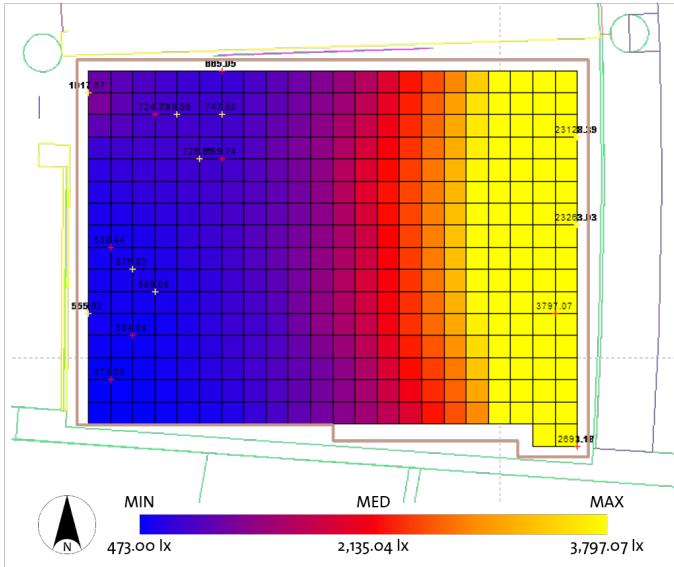


Figura 4.22. Nivel de iluminación en el aula H-316 (orientación este) a las 9:00 horas.

4.4.2 Resultados del análisis a las 15:00 horas del 21 de septiembre

En cuanto a los resultados que se obtuvieron de las simulaciones para las 15:00 horas se observó que el desempeño general de las aulas también fue bueno, ya que en todas se alcanzó el nivel mínimo de iluminación requerido establecido en 400 luxes. En la tabla 4.6 se muestra el resumen de los niveles de iluminación máximo, promedio y mínimo que se obtuvieron por aula:

Evaluación diagnóstica (15:00 horas) *			
15:00	MAX	MED	MIN
B-301	2,816.19	2,140.16	1,464.12
F-302	2,398.64	1,673.26	947.88
F-303	2,649.97	1,551.70	453.42
H-316	3,347.76	2,203.63	1,059.50

* Valores expresados en luxes

Tabla 4.6. Niveles de iluminación obtenidos por aula a las 15:00 horas

En la tabla 4.6 se puede notar que los valores oscilan alrededor de los 1800 luxes, es decir, son un poco más bajos que los obtenidos a las 9:00 horas, sin embargo, tienen un nivel bastante bueno pues superan hasta en 4 veces el mínimo necesario. Igualmente los niveles mínimos siempre se encuentran por arriba del límite establecido. En seguida se muestran las imágenes con los resultados obtenidos correspondientes a cada una de las aulas.

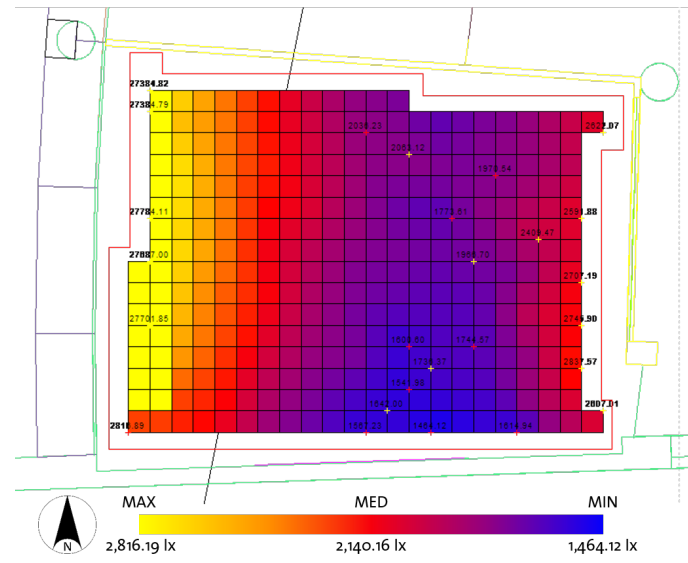


Figura 4.23. Nivel de iluminación en el aula B-301 (orientación oeste) a las 15:00 horas

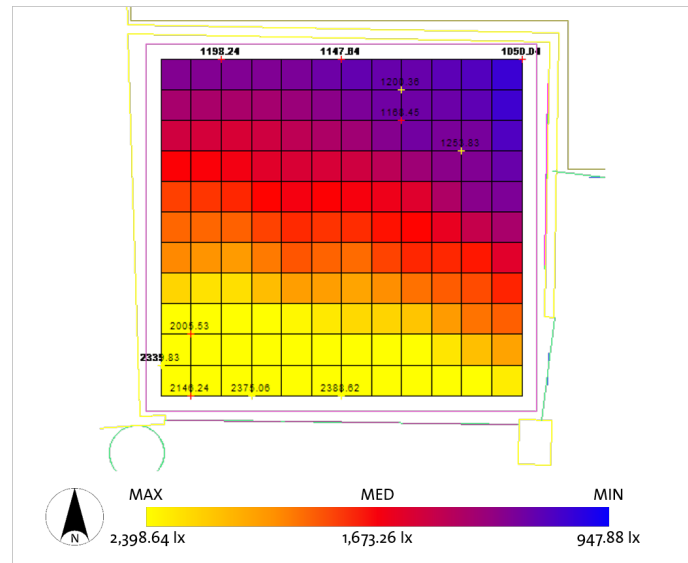


Figura 4.24. Nivel de iluminación en el aula F-302 (orientación sur) a las 15:00 horas.

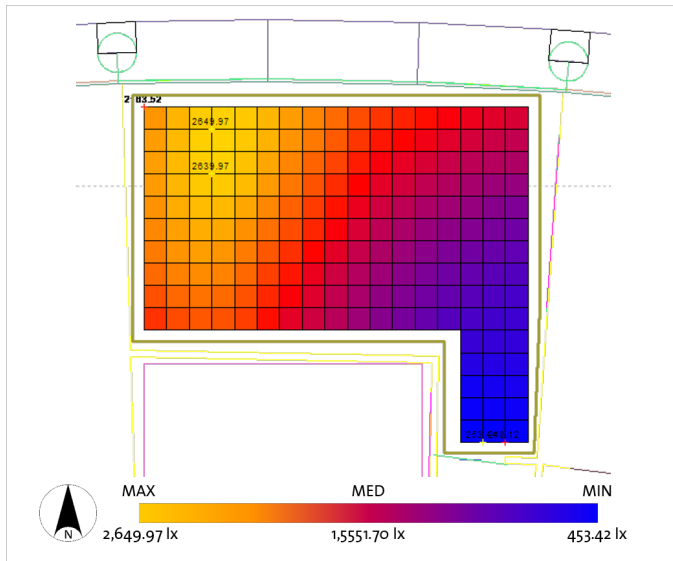


Figura 4.25. Nivel de iluminación en el aula F-303 (orientación norte) a las 15:00 horas.

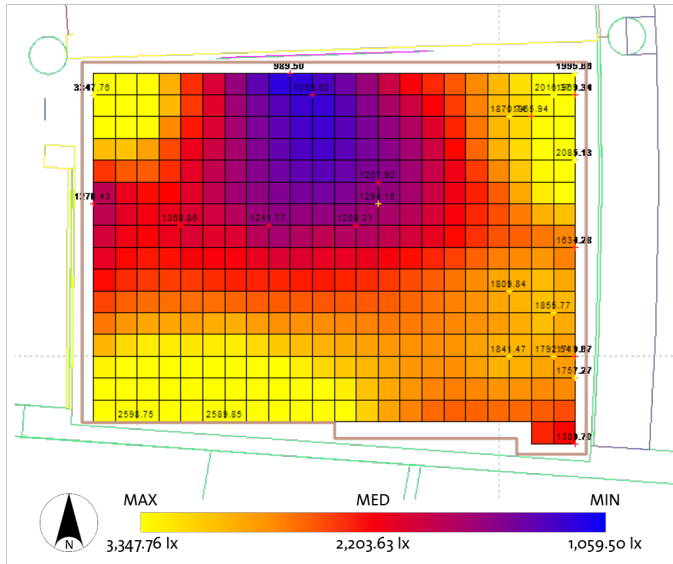


Figura 4.26. Nivel de iluminación en el aula H-316 (orientación este) a las 15:00 horas.

4.4.3 Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en la fase de experimentación, en la que se evaluaron cuatro aulas de la Unidad de Posgrado de la UNAM donde se les consideró tal cual fueron diseñadas a su máxima capacidad y siendo utilizadas todo el día, se llegó a las siguientes conclusiones:

- El desempeño lumínico de las aulas en general es eficiente puesto que en todas se alcanzan los niveles mínimos de iluminación en las dos horas estudiadas para el 21 de septiembre.

- La razón principal de la eficiencia del edificio en el aspecto lumínico es que se encuentra aislado y no tiene elementos colindantes que pudieran evitar la entrada de luz.

- Para el caso de la iluminación, el tipo de vidrio utilizado es el adecuado porque cuenta con una alta transmisión de luz visible.

- El área de ventana existente en las aulas es adecuada para asegurar una buena iluminación de manera uniforme dentro del espacio.

- Los colores elegidos son los adecuados y logran contrarrestar los posibles efectos negativos que pudiera tener la textura rugosa presente en algunos muros.

- Las primeras y últimas horas de uso, tanto en invierno como en primavera representan una incidencia solar hacia el interior de las aulas oeste, norte y este no deseada.

- Pese a que el nivel de iluminación es bueno, es muy importante revisar y analizar el trazo de la gráfica solar en las aulas para verificar que la radiación no está incidiendo sobre el rostro de las personas o sobre el pizarrón, lo cual sería molesto y provocaría muchos reflejos.

4.5 Conclusiones generales de la evaluación diagnóstica

Con base en los resultados que se obtuvieron en la etapa de diagnóstico se puede afirmar que el desempeño general del edificio en el aspecto térmico es muy deficiente, mientras que en el aspecto lumínico es satisfactorio pero presenta ciertas problemáticas que deberán ser atendidas. En ambos casos, uno de los factores clave para entender el comportamiento de las aulas tiene que ver con la manera en que las fachadas reciben la radiación solar. Si bien el remetimiento de la fachada exterior y los pasillos que sirven como enormes voladizos evitan que haya una incidencia directa del sol, existen horas problemáticas para todas las aulas en las que se genera una penetración no deseada al interior de las mismas. Partiendo de que todas tienen una posición diferente respecto al recorrido del sol, cada orientación presenta una problemática particular, por lo que es importante mostrar en planta y corte la manera en que el sol está incidiendo en cada una.

Como se puede ver en la figura 4.27, durante enero las horas más problemáticas para la orientación oeste son las horas de la tarde desde las 13:00 hasta las 17:00 horas. En un primer momento, el muro cabecero de concreto del edificio sirve para obstruir la radiación que entra a las 13:00 horas, sin embargo, ésta va aumentando hasta que a las 17:00 horas más de la mitad del aula cuenta con una radiación no deseada.

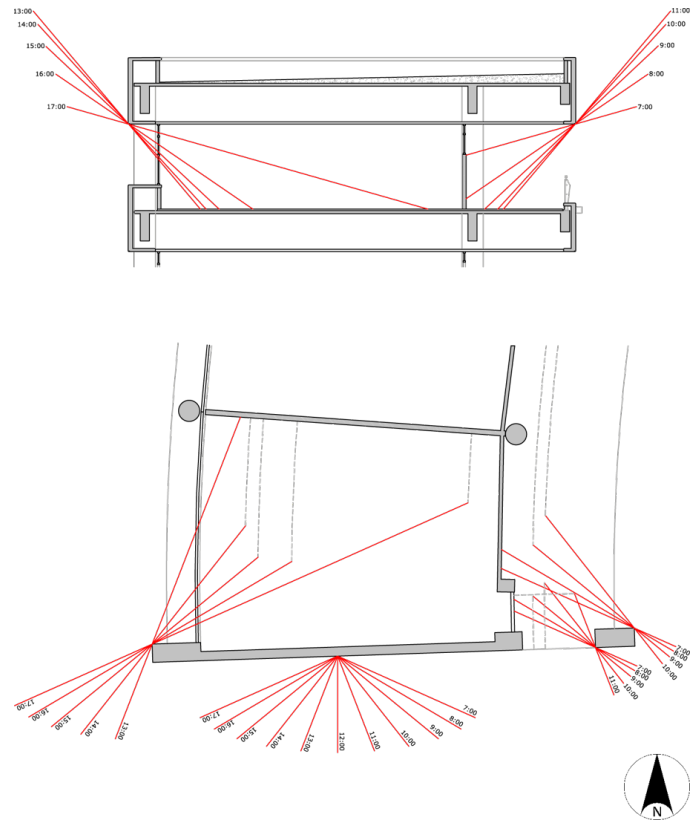


Figura 4.27. Corte y planta del aula B-301 (orientación oeste) con la incidencia solar por hora en enero.

En cuanto a las aulas Norte y Sur, la incidencia solar en las fachadas no representa un problema para la situación lumínica pero sí para la cuestión térmica. Es evidente que durante enero la orientación norte no tiene radiación en ninguna hora del día y eso representa una pérdida de calor importante puesto que depende únicamente de la radiación que gana por la cubierta y las propiedades térmicas de los materiales.

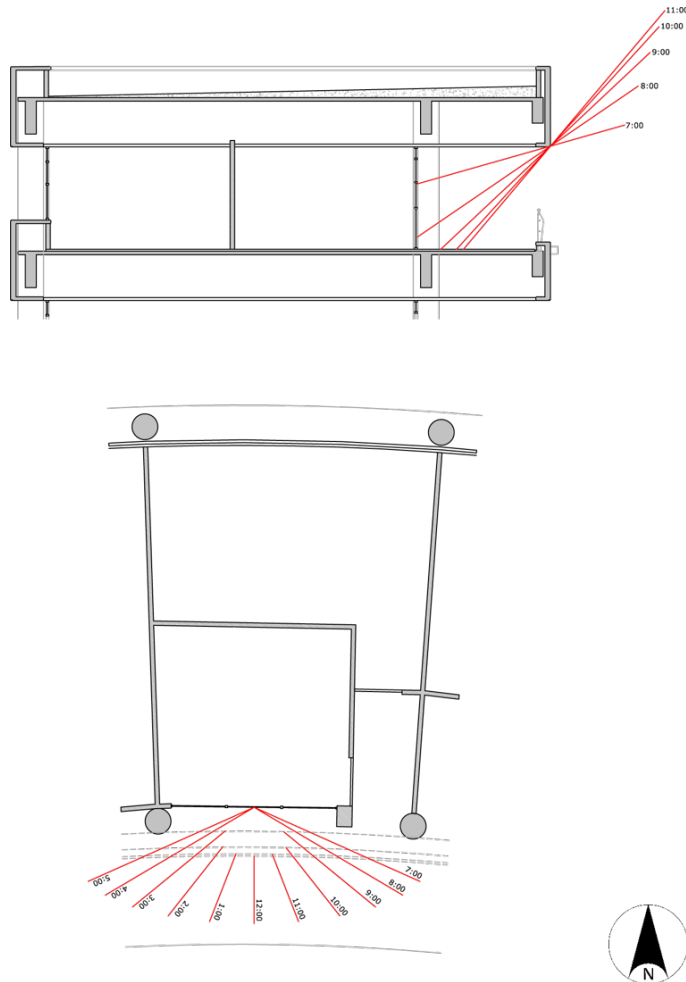


Figura 4.28. Corte y planta de las aulas F-303 y F-302 (orientación sur y norte respectivamente) con la incidencia solar por hora en enero.

La orientación este tiene un comportamiento igual pero de sentido contrario al aula oeste. Mientras el sol representa un problema para esta orientación durante la mañana, en la oeste está controlado. Durante la tarde la situación se invertirá por completo y será más favorable para la orientación este.

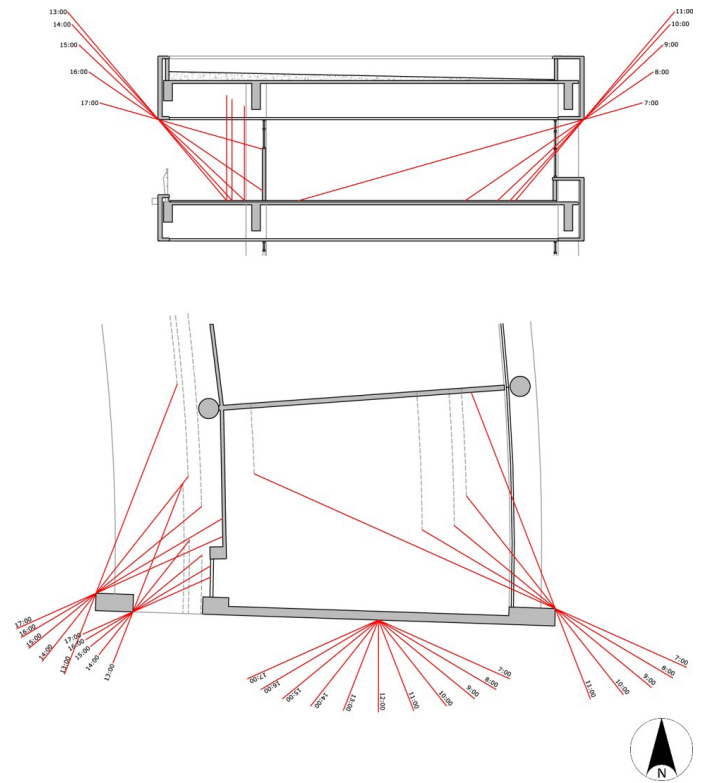


Figura 4.29. Corte y planta del aula H-316 (orientación este) con la incidencia solar por hora en enero.

A continuación se muestran las gráficas de las aulas para el mes de mayo:

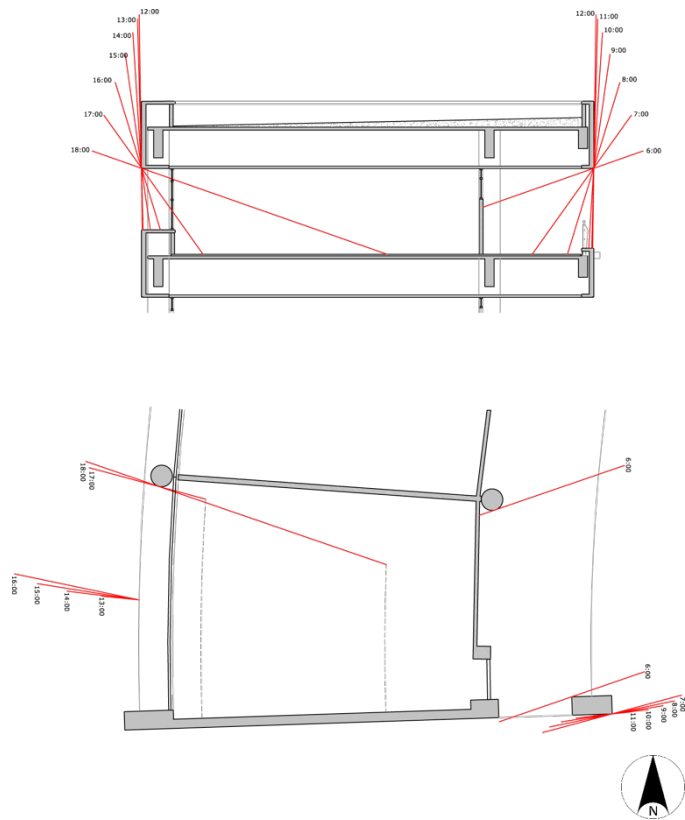


Figura 4.30. Corte y planta del aula B-301 (orientación oeste) con la incidencia solar por hora en mayo.

Durante mayo, el aula oeste presenta una problemática menor en comparación con el mes de enero y la única hora que es realmente crítica son las 18:00 horas. A pesar de que a las 17:00 horas existe una penetración de radiación en el aula, ésta es una franja mínima. Sin embargo, a las 18:00 horas, se tiene radiación sobre más de la mitad del aula con reflejos sobre el pizarrón.

En cuanto a las orientaciones norte y sur, para el mes de mayo se presenta el fenómeno opuesto a lo que sucedía

en enero. Ahora la radiación se concentra en la fachada Norte y el aula Sur prácticamente nunca la recibe. Las horas problemáticas para esta fachada son las 6:00 y las 18:00 horas. Sin embargo, se podría considerar que sólo las 18:00 deben ser atendidas, ya que a las 6:00 horas, el aula está fuera de uso. En la tarde, la radiación estaría incidiendo sobre el escritorio del profesor y parte del pizarrón.

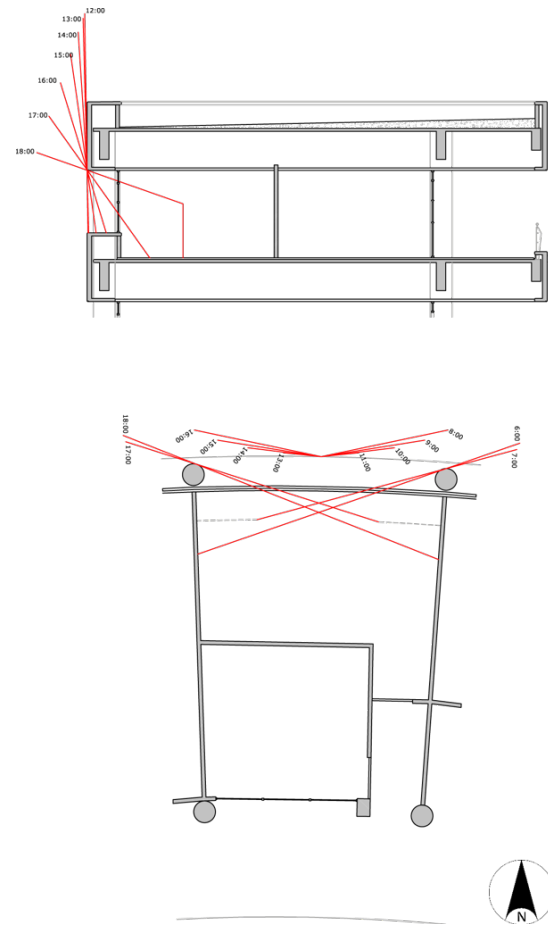


Figura 4.31. Corte y planta del aula F-303 y F-302 (orientación sur y norte respectivamente) con la incidencia solar por hora en mayo.

Para el aula este podría decirse incluso que no existe ningún problema puesto que el horario crítico son las 6:00 am, horario fuera de uso del edificio. A las 7:00 horas, a pesar de que hay penetración de radiación al interior, ésta es muy pequeña y no genera ningún conflicto en el confort visual.

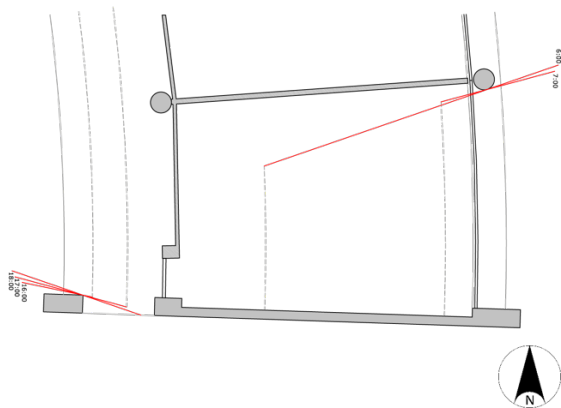
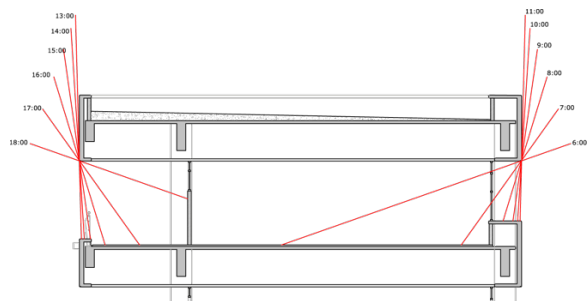


Figura 4.32. Corte y planta del aula H-316 (orientación este) con la incidencia solar por hora en mayo.

Para ilustrar la manera en que la radiación penetra hacia la parte interna del aula, a continuación se incluyen unas imágenes obtenidas del modelo tridimensional elaborado en el software *Sketchup*. En ellas se muestra la simulación de sombras que realiza el programa para poder visualizar qué tanto incide la radiación solar en el interior. Las dos imágenes pertenecen al aula B-301 (orientación oeste) durante enero y mayo respectivamente.

Ambas imágenes se generaron a la misma hora en las dos épocas del año estudiadas. Es evidente que el ángulo, la altura, la penetración y la intensidad de la radiación cambia, sin embargo, ambas tienen la misma problemática: presentan una incidencia solar no deseada.

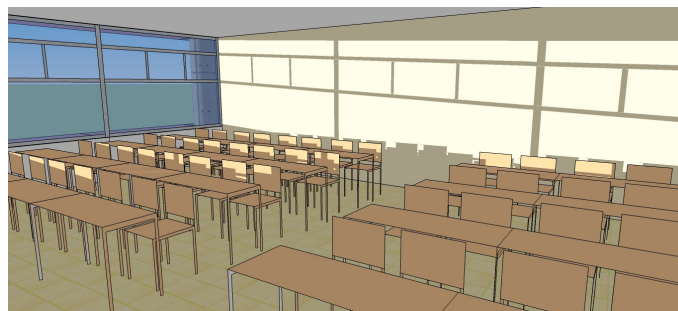


Figura 4.33. Simulación de sombras del aula B-301 para el mes de enero a las 17:00 horas.

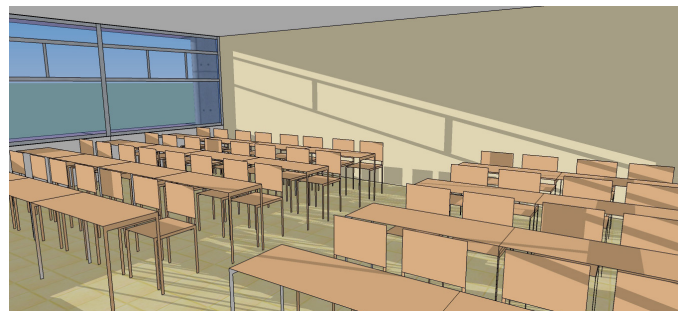


Figura 4.34. Simulación de sombras del aula B-301 para el mes de mayo a las 17:00 horas.

CAPÍTULO 5

Propuesta de intervención

La propuesta de adecuación térmica y lumínica que se muestra a continuación, se deriva de los resultados obtenidos en la etapa experimental en la que se evaluaron cuatro aulas de la Unidad de Posgrado de la UNAM en estos dos aspectos. Al elaborar la propuesta se buscó integrarlos de manera paralela, con el objetivo de que se pudiera obtener una sola intervención que cumpliera con el confort tanto térmico como lumínico. A continuación se presentan las premisas que se siguieron en la generación de la propuesta.

-Ya que la mayor parte del tiempo las fachadas se encuentran bajo la sombra, la radiación no se podría considerar como un posible factor para poder aumentar la temperatura interna. Por tanto, la propuesta tendría que enfocarse principalmente en las propiedades térmicas de los materiales seleccionados para los cerramientos de las aulas.

-De manera específica, se tendrá que considerar la posibilidad de sustituir las ventanas actuales por unas que tengan mejores propiedades térmicas sin sacrificar las propiedades ópticas, puesto que se debe conservar el nivel de iluminación que se tiene actualmente.

-A pesar de que se trata de un porcentaje menor, se debe realizar una propuesta de intervención para evitar la incidencia no deseada del sol hacia el interior de las aulas.

-Dado que la presencia de personas representa la mayor ganancia calórica para las aulas, la propuesta de adecuación para el periodo invernal se realizará considerando una ocupación al 50% de las mismas. Con ello se pretende lograr

que las aulas sigan estando dentro del rango de confort aun cuando haya intervalos de tiempo donde no se utilicen o tenga un número bajo de usuarios.

Tomando como punto de partida las premisas anteriores, la propuesta ataca cinco puntos que se determinaron como críticos y en los cuales se deben hacer modificaciones:

-Muros. Los muros de tablayeso presentan una menor capacidad aislante que los muros de materiales pétreos debido a su bajo nivel de masa. Sin embargo, en este caso no sería factible sustituir todos los muros de tablayeso por muros de block macizo, porque los tiempos de remodelación y el trabajo que implicaría, la hacen una solución poco viable. Sin embargo, al colocar aislamiento en ellos, sus capacidades térmicas se ven beneficiadas y pueden cumplir con su cometido de una manera mucho más eficiente.

-Ventanas. Debido a que las ventanas son el área más problemática de las aulas, en la temporada invernal por ser la superficie que más calor pierde, se debe considerar la colocación de un material o sistema que cuente con una menor transmitancia térmica.

-Ventilación. Representa uno de los factores más importantes para aumentar o disminuir la temperatura. En la propuesta, se realizó un análisis de los horarios y áreas de ventana abiertas que se deben tener para lograr un adecuado control térmico interno. Por otro lado, es importante separarlo en ventilación invernal y ventilación primaveral, ya que cada una tiene condiciones muy diferentes y particulares.

- Colores y texturas. Estos dos aspectos son los únicos que no requieren ningún tipo de modificación, ya que los existentes son adecuados. Sin embargo, será necesario hacer recomendaciones para que sean tomadas en cuenta si en un futuro se desean hacer modificaciones.

- Dispositivos sombreadores. Como se tuvo oportunidad de observar en las gráficas solares, se debe controlar la penetración de radiación al interior de las aulas, por lo cual se deben analizar y evaluar la presencia de dispositivos que impidan la radiación directa.

5.1 Propuesta de adecuación de las aulas

Una vez que se exploraron diversas alternativas para dar solución a cada uno de los puntos descritos anteriormente, se eligió sólo una de las opciones para ser implementada y cumplir con el objetivo de climatizar las aulas de manera pasiva y aprovechar al máximo la luz natural. En la tabla 5.1 se presenta un resumen donde se describe la acción a tomar dependiendo de la orientación y del factor que debe modificarse. Más adelante se incluye una explicación detallada de la propuesta para cada caso.

	NORTE F-303	SUR F-302	ESTE H-316	OESTE B-301
Muros	Colocar aislamiento en los muros de tablaroca a base de colchoneta de fibra de vidrio de 10 cm			
Plafones	Se debe colocar aislamiento de fibra de vidrio de 10 cm de espesor.	Sin ningún cambio.		
Ventanas	Cambiar los cristales existentes por policarbonato sólido de 6 mm.		Cambiar la ventanería existente por sistema duovent de dos cristales filtrazol AP gris de 6 mm y una cámara de aire de 12.7 mm.	
	Las ventanas de persiana se deben sustituir por ventanas corredizas o de proyección que permitan cerrar herméticamente.			
Puerta	Se debe cambiar por una puerta con aislamiento interno de fibra de vidrio.	Se conserva la existente.		
Ventilación invierno	Sólo 1/9 parte a las 9:00, 12:00, 15:00, 18:00 y 21:00 horas.		Sólo 1/6 parte a las 9:00, 12:00, 15:00, 18:00 y 21:00 horas.	
	Se debe verificar que fuera del horario de uso permanezcan cerradas.			
Ventilación primavera	Sólo 1/9 parte de las 10:00 a las 21:00 horas. Sólo 2/3 partes de 22:00 a 9:00 horas del día siguiente.	Sólo 1/8 parte de las 10:00 a las 16:00 horas, de las 17:00 a las 9:00 horas del día siguiente 3/4 partes.	Sólo 1/8 parte de las 7:00 a las 21:00 horas. De las 22:00 a las 6:00 horas del día siguiente, el 50%.	A las 7:00 el 100%. De las 8:00 a las 21:00 horas, 1/9. De las 22:00 a las 7:00 horas del día siguiente, el 50%.
	Se debe verificar que fuera del horario de uso permanezcan abiertas tal como se indica en cada caso.			
Colores	Se pueden conservar los existentes, si se modificaran deberían ser claros o tener una reflectividad mínima de 0.75 como lo tiene actualmente.			
Dispositivos sombreadores	Se utilizará un vidrio de control solar.	No se requieren	Se utilizará un vidrio de control solar.	

Tabla 5.1. Propuesta de intervención por aula y factor a modificar

Muros

Ya que los muros son de tablayeso, se debe colocar aislamiento en ellos a base de colchonetas de fibra de vidrio de 10 cm de espesor. Con ello se logra reducir el valor “U” del material (coeficiente de transmitancia térmica) de 2.77 a 0.37, es decir, se aumenta en más de 7 veces su capacidad de aislamiento.

Plafones

Este concepto únicamente aplica para el aula F-303 con orientación norte, ya que en la época invernal presenta temperaturas muy bajas y requiere una mayor capacidad para conservar el calor interno. Se propone colocar un aislamiento de fibra de vidrio de 10 cm en todo el plafón para reducir el factor U de la cubierta. En el resto de aulas no es necesario colocarlo.

Ventanas

Las ventanas actuales de persianas de vidrio son ineficientes ya que no permiten un sellado hermético. Estas deben sustituirse por ventanas corredizas o de proyección. En el caso de los vidrios, se debe optar por un sistema duoyent de dos cristales de 6 mm con una cámara intermedia de aire de 12.7 mm para las fachadas externas de las orientaciones este y oeste, con lo cual se reduciría la “U” de 6.89 a 2.69, es decir, disminuye 2.5 veces. En el caso de las fachadas sur y norte, requieren una capacidad de aislamiento aún mayor, por lo que en este caso no se optará por un sistema duoyent sino por un sistema sencillo de una sola hoja de policarbonato sólido de 6 mm, con lo que se reduce la “U” de 6.89 a 0.96, es decir, más de 7 veces. Ciertamente la decisión de colocar policarbonato sólido en todas las ventanas representaría una ventaja enorme para el comportamiento térmico de las aulas, sin embargo, tendría que hacerse una valoración del costo, porque se requeriría colocar láminas de policarbonato sólido de control solar. Por tanto, se dejan abiertas las dos opciones.

Puertas

Al igual que la intervención en los plafones, el cambio de puerta sólo aplica para la orientación norte, puesto que la puerta actual tiene una transmitancia térmica muy alta. Al colocar aislamiento en la parte central de la puerta, se reduce su valor U de 7.14 a 0.78.

Ventilación

En cuanto a la ventilación, ésta se dividió para mostrarla en las dos épocas del año analizadas puesto que cada una tiene consideraciones particulares y requiere de estrategias muy distintas.

- Ventilación en invierno. En esta época, la ventilación es un factor que mal aplicado podría representar una pérdida enorme de calor para las aulas, sin embargo, no se puede omitir, ya que es necesaria para el bienestar de los usuarios dentro del espacio y asegurar los cambios de aire requeridos. Por ello, se propone que cada tres horas se abran las ventanas por periodos de una hora, permitiendo que el aula se ventile pero no pierda tanto calor. De esta manera, los horarios de apertura de ventanas serían a las 9:00, 12:00, 15:00, 18:00 y 21:00 horas. Es importante recalcar que el área de ventana que debe permanecer abierta no se refiere a todas las ventanas presentes en el salón. En el caso de la orientación norte sólo debe ser 1/9 del área total, es decir, una de las ventilas. Para las orientaciones sur, este y oeste, se debe abrir sólo 1/6, lo cual corresponde a una de las ventilas en la fachada interna y una en la fachada externa. Fuera del horario de uso, es muy importante que las ventanas permanezcan cerradas para evitar la pérdida de calor.

- Ventilación en primavera. El viento se utilizará para disminuir las altas temperaturas internas a manera de prevención. Como se pudo observar en la etapa diagnóstica, la tarde es el momento más crítico en que se alcanzan las temperaturas más altas. Por ello, se debe ventilar en horas

tempranas donde la temperatura externa es más baja que la interior y permite refrescar las aulas. En el aula norte se debe mantener una ventilación de 10:00 a 21:00 horas de 1/9 parte del total, esto quiere decir, una sola ventila. Posteriormente, de las 22:00 a las 9:00 horas del día siguiente se debe dejar de manera continua 2/3 partes de la ventilación. El aula sur debe estar ventilada en 1/8 de las 10:00 a las 16:00 horas, mientras que, de las 17:00 hasta las 9:00 horas del día siguiente deberán estar abiertas $\frac{3}{4}$ partes. El aula este, por su parte, debe tener 1/8 de la ventilación de las 7:00 a las 21:00 horas y de las 22:00 a las 6:00 horas del día siguiente debe tener el 50%. En el aula oeste, a las 7:00 horas se debe contar con una ventilación total del 100% mientras que de las 8:00 a las 21:00 horas debe tener 1/9 parte, de las 22:00 a las 7:00 horas del día siguiente debe estar al 50%. Es necesario hacer énfasis en la importancia de que las ventanas permanezcan abiertas, tal como se indica, fuera del horario de uso para reducir la temperatura interna en el transcurso de la noche.

Para este caso específico de la ventilación, tendría que someterse a consideración el implemento de un sistema mecánico que abra y cierre de manera automática las ventanas puesto que, como cada una requiere condiciones distintas, la operación directa por parte de los usuarios sería compleja y deficiente afectando el resultado en las temperaturas internas.

Colores y texturas

De acuerdo con los resultados obtenidos en la simulación, se determinó que tanto los colores como las texturas aplicados en las aulas son adecuados para éstas, por lo cual no se hace una propuesta de cambio. Sólo se recomienda que, si en un futuro se contempla la posibilidad de sustituirlos, el índice mínimo de reflectividad que debe presentar la superficie debe ser igual o mayor a 0.75 para garantizar que los niveles continúen siendo semejantes a los actuales. Aunque la reflectividad es una propiedad de las superficies determinada por su color y textura y ya se ha establecido un nivel mínimo de 0.75, es importante mencionar que las superficies deben ser de preferencia lisas

para que permitan un correcto rebote y distribución uniforme de la luz dentro del espacio.

Dispositivos sombreadores

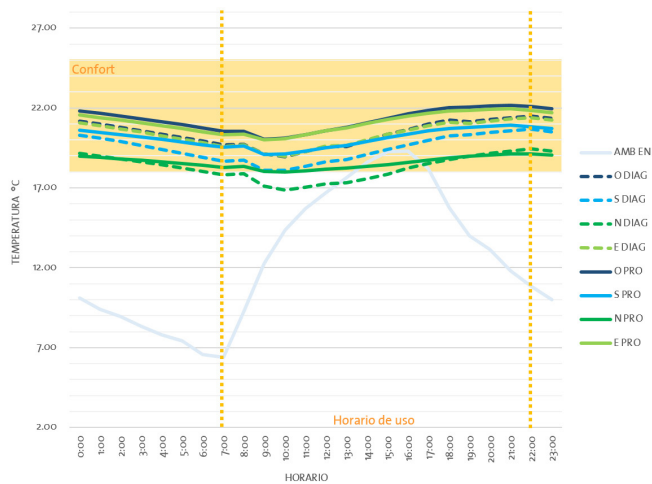
En este rubro vale la pena recordar que los remetimientos y pasillos del edificio están fungiendo ya como sombreadores. El único problema que se debe resolver es la incidencia directa de la radiación sobre la cara de los usuarios o sobre el pizarrón. Para este caso, en el sistema duovent, o el policarbonato sólido, se tendrán que considerar placas de control solar. Por la geometría y configuración del edificio, las primeras y últimas horas de sol tienen una fuerte penetración del mismo hacia el interior de las aulas. De acuerdo con estas características, si se optara por un sistema de partesoles o louvers se tendría que cubrir prácticamente toda la ventana, lo cual afectaría el nivel de iluminación interno y cambiaría de manera radical la fachada. Por ello, la mejor opción sería el vidrio de control solar, con lo cual se reduce el impacto de la radiación directa y, a pesar de que se disminuye un poco la transmisión de luz visible, ésta reducción representa un porcentaje mínimo que no afecta el nivel de iluminación final.

5.2 Evaluación térmica de la propuesta

Después de haber realizado los cambios descritos en el subcapítulo anterior, se realizó de nuevo el cálculo de las aulas para poder observar el comportamiento térmico que tendrían en los meses de enero y mayo. A continuación se muestran las gráficas con las temperaturas obtenidas.

5.2.1 Resultados obtenidos para enero

La gráfica 5.1 contiene una comparativa de los resultados obtenidos tanto en la fase diagnóstica como en la evaluación de la propuesta para el mes de enero. Se presentan las temperaturas de las cuatro aulas al mismo tiempo para que se pueda comparar el desempeño entre ellas antes y después de la propuesta.



Gráfica 5.1. Comportamiento térmico de las aulas durante enero después de aplicar los criterios de la propuesta.

En este mes, las primeras horas tienen temperaturas bajas, sin embargo, se van incrementando a lo largo del día de manera continua, existiendo un margen de variación mínimo en el periodo de 24 horas. La velocidad con que se gana calor durante el día es un poco más rápida que aquella con la que se pierde durante la noche, sin embargo, se puede decir que tiene una gran estabilidad dado que la diferencia es muy poca.

En la tabla 5.2 se muestran los datos de temperatura interior de todas las aulas. Cada celda está rellena con un color que permite identificar cuando el aula tiene una temperatura dentro del rango de confort, por abajo o por arriba de éste. El color azul indica una temperatura baja, el amarillo una temperatura de confort y el naranja una temperatura alta.

Hora	ENERO DIAGNÓSTICO *					ENERO PROPUESTA *				
	AMB	O	S	N	E	O	S	N	E	
0:00	10.10	21.17	20.30	19.16	21.07	21.81	20.60	18.98	21.55	
1:00	9.40	20.99	20.10	19.00	20.89	21.65	20.48	18.90	21.40	
2:00	8.95	20.79	19.88	18.82	20.69	21.49	20.34	18.81	21.24	
3:00	8.35	20.59	19.66	18.63	20.49	21.32	20.19	18.72	21.07	
4:00	7.80	20.37	19.42	18.44	20.27	21.13	20.03	18.62	20.88	
5:00	7.40	20.15	19.17	18.23	20.05	20.95	19.87	18.51	20.70	
6:00	6.55	19.92	18.92	18.02	19.82	20.75	19.71	18.40	20.51	
7:00	6.40	19.69	18.66	17.80	19.59	20.55	19.54	18.29	20.31	
8:00	9.25	19.72	18.74	17.87	19.68	20.54	19.62	18.34	20.36	
9:00	12.25	19.14	18.10	17.10	19.13	20.03	19.08	18.02	20.02	
10:00	14.35	18.96	18.09	16.87	18.98	20.11	19.12	18.00	20.09	
11:00	15.70	19.25	18.33	17.05	19.28	20.32	19.31	18.07	20.31	
12:00	16.70	19.58	18.61	17.26	19.63	20.57	19.53	18.16	20.58	
13:00	17.65	19.60	18.76	17.32	19.64	20.78	19.67	18.22	20.75	
14:00	18.60	19.98	19.09	17.58	20.00	21.07	19.92	18.33	21.03	
15:00	19.25	20.36	19.41	17.85	20.35	21.37	20.15	18.46	21.29	
16:00	19.30	20.66	19.69	18.25	20.60	21.62	20.35	18.60	21.49	
17:00	18.20	20.98	19.99	18.52	20.88	21.85	20.56	18.73	21.68	
18:00	15.75	21.23	20.24	18.78	21.12	22.01	20.73	18.86	21.83	
19:00	14.00	21.15	20.31	18.99	21.05	22.06	20.78	18.97	21.85	
20:00	13.15	21.29	20.46	19.17	21.19	22.13	20.87	19.06	21.92	
21:00	11.80	21.40	20.57	19.32	21.30	22.17	20.94	19.14	21.97	
22:00	10.85	21.50	20.66	19.44	21.40	22.09	20.83	19.12	21.83	
23:00	10.00	21.34	20.49	19.31	21.24	21.95	20.72	19.05	21.70	
MAX	19.30	21.50	20.66	19.44	21.40	22.17	20.94	19.14	21.97	
MED	12.57	20.41	19.49	18.28	20.35	21.26	20.12	18.60	21.10	
MIN	6.40	18.96	18.09	16.87	18.98	20.03	19.08	18.00	20.02	

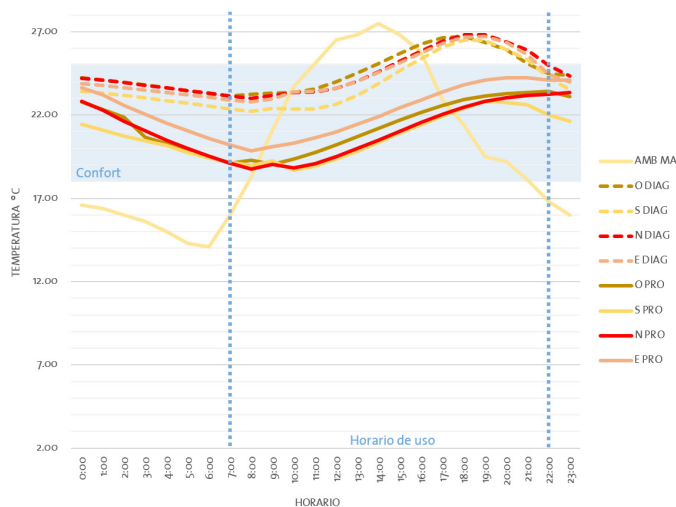
*Valores expresados en °C

Tabla 5.2. Comparativa de las temperaturas interiores obtenidas en la evaluación diagnóstica y la propuesta para todas las aulas en el mes de enero.

Si comparamos las temperaturas de la evaluación diagnóstica y la propuesta podremos observar que en ésta última todas las aulas se encuentran en el rango de confort y sus temperaturas son, en la mayoría de los casos, superiores a las obtenidas en la evaluación diagnóstica. En este punto, cabe recordar que las aulas se recalcularon tomando sólo el 50% de su capacidad total, por lo que si hubiera más personas en el espacio, las temperaturas podrían ser aún más altas, beneficiando así al confort térmico. Dado que las intervenciones que se propusieron para el edificio sólo están relacionadas con los materiales, cerramientos y estrategias de ventilación para el espacio, los resultados corroboran una parte de la hipótesis respecto al uso de la climatización pasiva para la creación de confort al interior de los espacios.

5.2.2 Resultados obtenidos para mayo

En el segundo periodo de estudio correspondiente al mes de mayo se logró que, con los cambios realizados, la temperatura se mantuviera todo el tiempo dentro del rango de confort tal como se muestra en la gráfica 5.2.



Gráfica 5.2. Comportamiento térmico de las aulas durante mayo después de aplicar los criterios de la propuesta.

En este periodo, dado que se identificó la necesidad de aplicar de manera mucho más consistente y puntual la ventilación, los aumentos y descensos de temperatura, a diferencia de enero, tienen una variación mucho más amplia, puesto que durante el día se gana una enorme cantidad de calor que debe liberarse en la noche.

En la tabla 5.3 que muestra la comparativa de las temperaturas de la evaluación diagnóstica y la propuesta para mayo se puede observar que, después de aplicar los cambios propuestos, todas las aulas se encuentran en confort en todo momento y disminuyen de manera considerable todas las temperaturas en general, lo cual permite tener un margen más amplio en cuanto a la ocupación del espacio, así como para modificar la ventilación según sean las necesidades de los usuarios.

Hora	MAYO DIAGNÓSTICO *					MAYO PROPUESTA *			
	AMB	O	S	N	E	O	S	N	E
0:00	16.60	24.25	23.44	24.22	23.88	22.78	21.44	22.83	23.65
1:00	16.40	24.10	23.31	24.09	23.77	22.32	21.08	22.28	23.20
2:00	16.00	23.95	23.17	23.94	23.64	21.87	20.75	21.63	22.59
3:00	15.60	23.80	23.02	23.79	23.50	20.65	20.46	21.05	22.04
4:00	15.00	23.64	22.87	23.63	23.36	20.27	20.16	20.48	21.50
5:00	14.30	23.47	22.71	23.47	23.22	19.87	19.73	20.01	21.05
6:00	14.10	23.29	22.55	23.30	23.07	19.48	19.44	19.52	20.58
7:00	16.00	23.14	22.37	23.12	22.90	19.11	19.19	19.12	20.19
8:00	18.30	23.24	22.22	22.98	22.78	19.30	18.95	18.76	19.84
9:00	21.10	23.32	22.40	23.17	22.98	19.05	19.24	19.04	20.10
10:00	23.70	23.36	22.37	23.36	23.37	19.37	18.69	18.84	20.33
11:00	25.10	23.57	22.37	23.39	23.41	19.75	18.92	19.09	20.62
12:00	26.50	23.98	22.63	23.60	23.61	20.21	19.34	19.50	20.99
13:00	26.80	24.50	23.18	24.04	24.03	20.69	19.83	19.99	21.43
14:00	27.50	25.10	23.88	24.59	24.54	21.19	20.35	20.50	21.91
15:00	26.80	25.67	24.66	25.22	25.14	21.68	20.90	21.02	22.42
16:00	25.80	26.25	25.38	25.82	25.70	22.16	21.42	21.54	22.91
17:00	22.90	26.65	26.08	26.42	26.27	22.58	21.94	22.03	23.39
18:00	21.40	26.71	26.52	26.81	26.66	22.92	22.38	22.47	23.80
19:00	19.50	26.37	26.47	26.83	26.72	23.13	22.83	22.81	24.10
20:00	19.20	25.93	25.92	26.40	26.36	23.28	22.76	23.03	24.25
21:00	18.10	25.08	25.34	25.91	25.63	23.35	22.61	23.19	24.24
22:00	16.80	24.50	24.24	24.96	24.44	23.42	21.99	23.25	24.08
23:00	16.00	24.38	23.54	24.33	23.98	23.09	21.61	23.33	24.11
MAX	27.50	26.71	26.52	26.83	26.72	23.42	22.83	23.33	24.25
MED	19.98	24.51	23.78	24.47	24.29	21.31	20.67	21.05	22.22
MIN	14.10	23.14	22.22	22.98	22.78	19.05	18.69	18.76	19.84

* Valores expresados en °C

Tabla 5.3. Comparativa de las temperaturas interiores obtenidas en la evaluación diagnóstica y la propuesta para todas las aulas en el mes de mayo.

5.3 Evaluación lumínica de la propuesta

Como se pudo observar en la etapa de evaluación diagnóstica, a diferencia del comportamiento térmico, el desempeño de las aulas fue satisfactorio en el aspecto lumínico. Todas alcanzaron los niveles adecuados de iluminación sin importar su orientación. Dentro de la propuesta de adecuación de las aulas, las principales modificaciones planteadas se enfocaron a resolver el problema térmico para lo cual se está considerando realizar cambios en algunos materiales. En cuanto a la parte lumínica, lo que corresponde será evaluar si dichos cambios no alteran el desempeño lumínico y permiten seguir teniendo la misma cantidad de luxes al interior.

Dado que los colores y texturas del espacio no cambiarán, la única modificación importante que podría tener algún efecto sería el cambio del cristal claro en las ventanas por el sistema duovent. También se debe evaluar el desempeño del policarbonato para el caso de las aulas norte y sur. En este caso, la propiedad más importante a tener en cuenta es la transmisión de luz visible. En el cristal claro de 6 mm que es el material original de las ventanas, su índice es de 0.8 mientras que tanto para el sistema duovent también es de 0.8 y para el policarbonato de 0.82, es decir, los valores son los mismos e incluso un poco más altos. A pesar de ello, se debe realizar de nuevo la simulación para comprobar que realmente se está cumpliendo puesto que se está optando por utilizar placas de vidrio o policarbonato de control solar, según sea el caso. A continuación se incluyen las imágenes de la simulación realizada para las 9:00 horas.

5.3.1 Resultados obtenidos para las 9:00 horas del 21 de septiembre

Los resultados de la evaluación lumínica de la propuesta para las 9:00 horas fueron adecuados ya que en todas las aulas se superó el nivel mínimo de luxes requeridos.

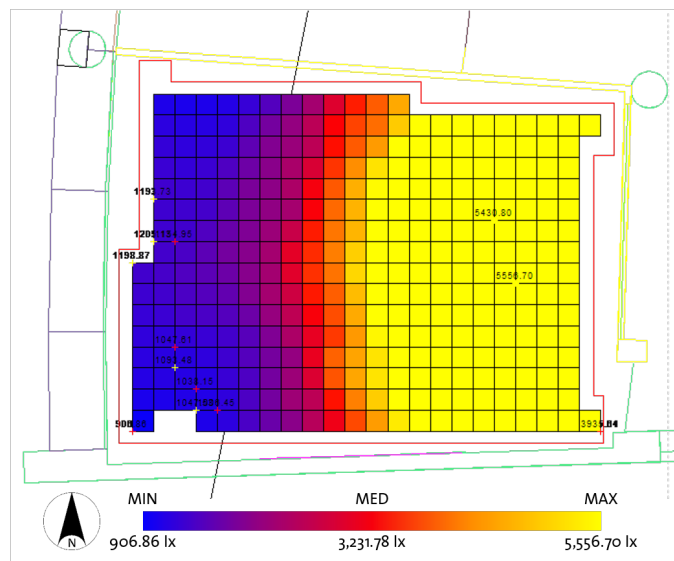


Figura 5.1. Nivel de iluminación en el aula B-301 (orientación oeste) a las 9:00 horas después de incluir la propuesta.

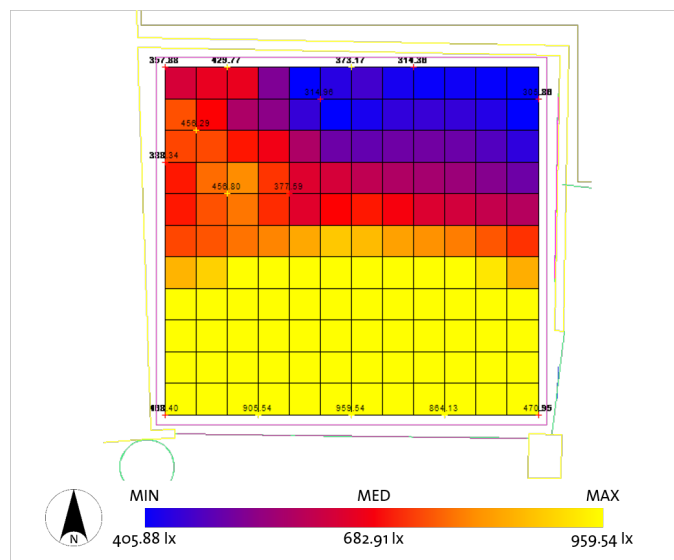


Figura 5.2. Nivel de iluminación en el aula F-302 (orientación sur) a las 9:00 horas después de incluir la propuesta.

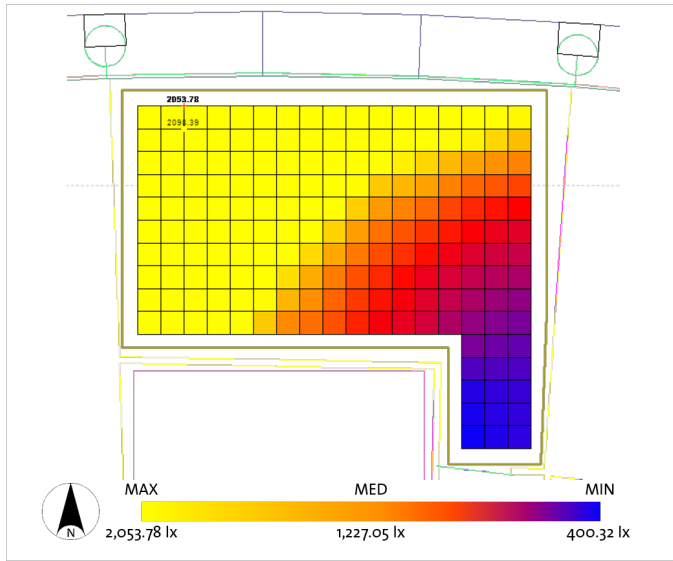


Figura 5.3. Nivel de iluminación en el aula F-303 (orientación norte) a las 9:00 horas después de incluir la propuesta.

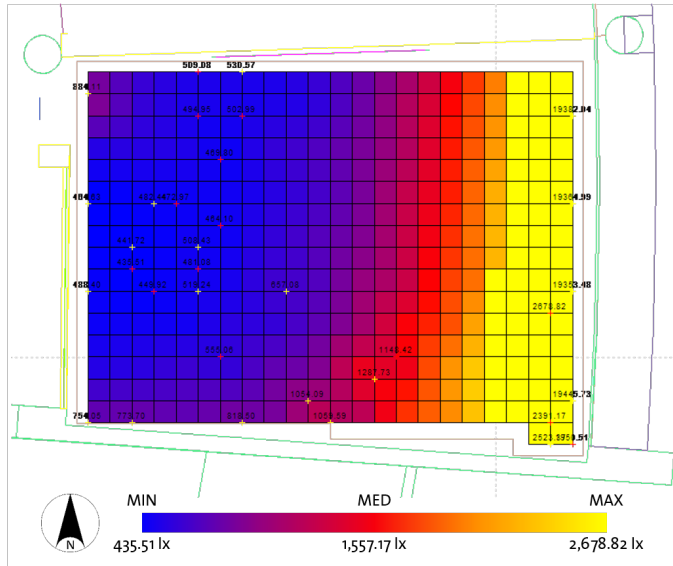


Figura 5.4. Nivel de iluminación en el aula H-316 (orientación este) a las 9:00 horas después de incluir la propuesta.

Los valores mínimos, medios y máximos que se obtuvieron por aula se muestran a continuación:

Evaluación diagnóstica (09:00 horas) *			
09:00	MAX	MED	MIN
B-301	3,797.13	2,278.11	759.09
F-302	2,388.62	1,719.33	1,050.04
F-303	3,403.23	2,570.21	1,737.18
H-316	3,797.07	2,135.04	473.00

* Valores expresados en luxes

Propuesta (09:00 horas) *			
09:00	MAX	MED	MIN
B-301	5,556.70	3,231.78	906.86
F-302	959.94	682.91	405.88
F-303	2,053.78	1,227.05	400.32
H-316	2,678.82	1,557.17	435.51

* Valores expresados en luxes

Tabla 5.4. Comparativa de los niveles de iluminación obtenidos por aula a las 9:00 horas durante la evaluación diagnóstica y la propuesta.

5.3.2 Resultados obtenidos para las 15:00 horas del 21 de septiembre

Las siguientes imágenes muestran los resultados obtenidos en la evaluación lumínica de las aulas para las 15:00 horas.

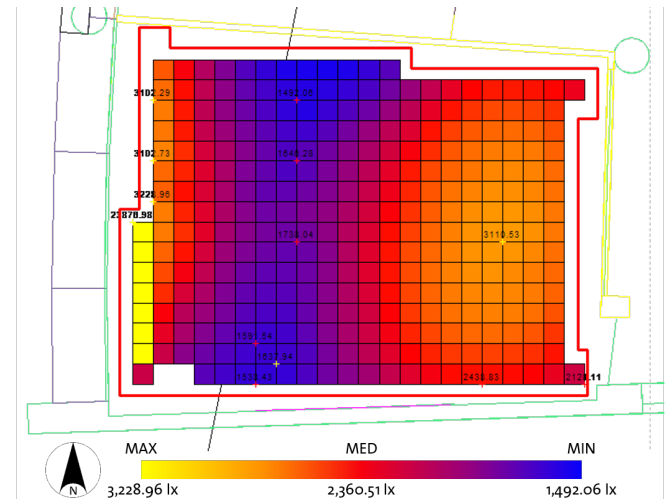


Figura 5.5. Nivel de iluminación en el aula B-301 (orientación oeste) a las 15:00 horas después de incluir la propuesta.

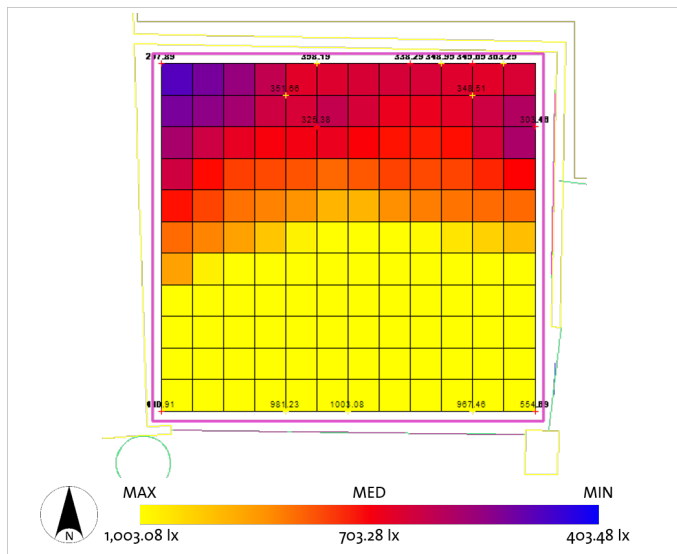


Figura 5.6. Nivel de iluminación en el aula F-302 (orientación sur) a las 15:00 horas después de incluir la propuesta.

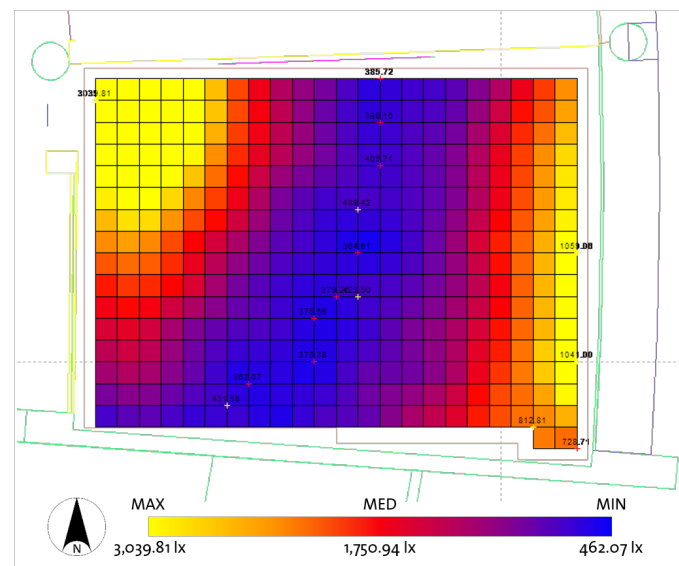


Figura 5.8. Nivel de iluminación en el aula H-316 (orientación este) a las 15:00 horas después de incluir la propuesta.

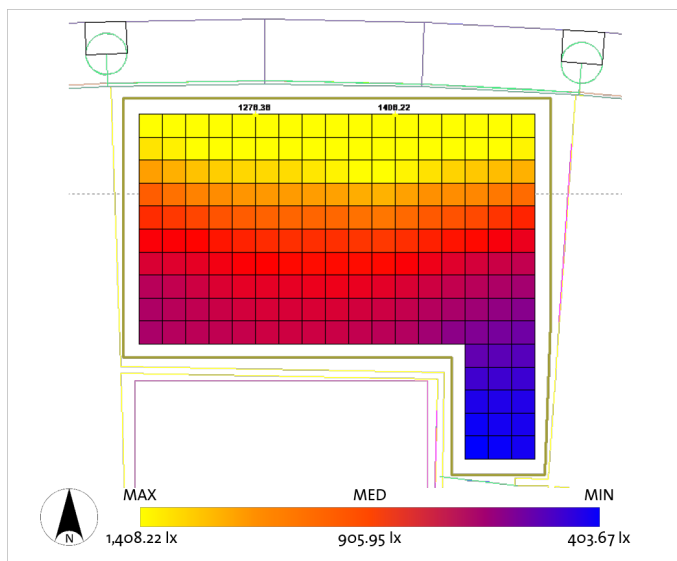


Figura 5.7. Nivel de iluminación en el aula F-303 (orientación norte) a las 15:00 horas después de incluir la propuesta.

En la siguiente tabla se muestran, a manera de resumen, los niveles máximos, medios y mínimos obtenidos para cada caso.

Evaluación diagnóstica (15:00 horas) *			
15:00	MAX	MED	MIN
B-301	2,816.19	2,140.16	1,464.12
F-302	2,398.64	1,673.26	947.88
F-303	2,649.97	1,551.70	453.42
H-316	3,347.76	2,203.63	1,059.50

* Valores expresados en Luxes

Propuesta (15:00 horas) *			
15:00	MAX	MED	MIN
B-301	3,228.96	2,360.51	1,492.06
F-302	1,003.08	703.28	403.48
F-303	1,408.22	905.95	403.67
H-316	3,039.81	1,750.94	462.07

* Valores expresados en Luxes

Tabla 5.5. Comparativa de los niveles de iluminación obtenidos por aula a las 15:00 horas durante la evaluación diagnóstica y la propuesta.

En las tablas 5.4 y 5.5 se puede observar que, pese a que en algunos casos los niveles de iluminación descendieron respecto de los resultados obtenidos en la evaluación diagnóstica, éstos siguen estando dentro de los niveles mínimos necesarios, por lo que la decisión sobre los materiales fue la correcta y servirán para brindar confort térmico y lumínico simultáneamente.

Con ello queda demostrado que la implementación de criterios de climatización pasiva y aprovechamiento de luz natural son factibles para mejorar las condiciones térmicas y lumínicas de instituciones de nivel superior en la Ciudad de México aun cuando el factor de la orientación no sea favorable.

5.4 Conclusiones

El presente proyecto de investigación tuvo como objetivo demostrar que se pueden alcanzar los niveles óptimos de confort térmico y lumínico en aulas de instituciones educativas de nivel superior mediante la implementación de sistemas de climatización pasiva y el aprovechamiento de la luz natural en el contexto de la Ciudad de México. Para demostrarlo, en el procedimiento experimental se evaluaron cuatro aulas ubicadas en el tercer nivel de la Unidad de Posgrado en Ciudad Universitaria. Cada una de ellas fue representativa de un punto cardinal y sirvió para comparar las diferencias que se pueden presentar en espacios similares que tienen orientaciones distintas. Derivado del análisis de los resultados obtenidos en la realización de la evaluación diagnóstica y el recálculo de los espacios con las modificaciones propuestas, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

-Es factible aplicar los criterios de climatización pasiva e iluminación natural para adecuar las condiciones de confort térmico y lumínico de manera eficiente en aulas de educación superior en la Ciudad de México.

-En la evaluación y propuesta de todas las aulas se notó la conveniencia de tener dos fachadas exteriores, ya que al tener

sólo una se enfatiza la presencia de temperaturas extremas. Tener dos fachadas ofrece más opciones para obtener o evitar la ganancia de calor y potenciar la ganancia de iluminación independientemente de la orientación que el aula tenga.

-Los remetimientos y voladizos pueden llegar a anular la diferencia de comportamiento térmico entre una orientación y otra. Bajo la sombra, el único factor verdaderamente importante es el coeficiente de transmitancia térmica del material (U), por lo cual es de suma importancia hacer una correcta selección.

-La geometría del edificio y los voladizos deben ser diseñados de manera que favorezcan la incidencia solar en las fachadas en los meses de invierno para asegurar el confort térmico.

-Ligado al punto anterior, si se desea orientar las aulas hacia el norte para obtener la mayor ganancia lumínica sin tener radiación solar directa, es necesario que las aulas cuenten con fachadas bilaterales para que se pueda tener una ganancia calórica por el sur, sobre todo si se trata de la temporada invernal.

-En el caso particular del edificio, el remetimiento de las fachadas evitó que la orientación fuera un factor preponderante para encontrar diferencias en el comportamiento térmico de las aulas en primavera aunque lo potenció en invierno.

-La mejor opción para mantener una temperatura confortable en época de primavera es tener una ventilación reducida pero constante durante el día y aumentándola durante la noche y las primeras horas de la mañana cuando la temperatura externa es inferior.

-A pesar de que el clima de la Ciudad de México no es extremo, la selección de los materiales debe ser cuidadosa para evitar aquellos que favorezcan el intercambio de calor con el entorno, es decir, materiales con bajos niveles de "U". De esa manera se podrá controlar adecuadamente la temperatura interna a través de la ventilación.

-Al momento de realizar el diagnóstico térmico de un aula de suma importancia verificar los resultados del periodo invernal, ya que como se ha visto, es el más problemático y requiere soluciones más complejas.

-Las ventanas son el punto más débil de la envolvente de un aula porque se requieren grandes áreas para asegurar la correcta iluminación al tiempo que es un área con un valor U muy alto. Para solucionarlo se deben preferir ventanas de doble cristal o placas de policarbonato sólido, al mismo tiempo que sean ventanas con capacidad de tener un cierre hermético.

-A partir de lo observado se puede concluir que la orientación no fungió como el factor más importante en el comportamiento térmico de un aula tanto como la selección de materiales y la presencia de remetimientos y voladizos que eviten o permitan la radiación solar. Sin embargo, sí fue un aspecto importante para el confort visual de los usuarios.

-Gracias al pasillo exterior, la orientación sur fue la que mejor desempeño tuvo en el aspecto lumínico puesto que la sección de cristal claro nunca recibe radiación directa y el cristal esmerilado la bloquea sin obstruir la ganancia lumínica.

-En aulas que cuenten con ventanas en dos de sus fachadas, las dimensiones de éstas deben de ser lo más semejantes posibles para favorecer una correcta distribución de la iluminación interna.

-En aulas que sólo cuenten con una fachada para iluminar se deben preferir texturas lisas y colores claros en los muros donde incide de manera directa la luz para reflejarla al resto del espacio.

-Las ventanas de aulas que tengan una sola fachada para iluminar deberán ser proporcionalmente más grandes para permitir la mayor ganancia de iluminación. Pese a ello, con ayuda de la gráfica solar, se deberá evaluar su comportamiento térmico y la penetración del sol.

-De acuerdo con lo observado, en aulas de hasta 5 m de profundidad, es factible tener una sola fachada para iluminación. En aulas más profundas se requerirá forzosamente contar con dos fachadas que permitan iluminar el interior.

-La altura de las ventanas es adecuada para la entrada de luz natural al aula, sin embargo, requiere de voladizos muy grandes para evitar la incidencia solar directa al interior. En este caso, una de las opciones más viables es optar por cristales de control solar.

-Aun cuando se pueden generalizar algunos criterios con base en los resultados obtenidos para adecuar el resto de aulas en el edificio que no fueron analizadas en este proyecto de investigación, en un edificio con planta circular se deben analizar todos y cada uno de los espacios puesto que los ángulos y azimuts solares nunca serán los mismos y eso modificará la cantidad de radiación que cada espacio recibe.

Índice de figuras

Figura 1.1. El hombre como medida central en Arquitectura.

Figura 1.2. Interpretación de la relación entre el ambiente, cuerpo humano y rendimiento escolar con base en la teoría del estrés ambiental.

Figura 1.3. Vista general de la torre principal de la FAU-UCV.

Figura 1.4. Planta arquitectónica del piso 1 de la FAU.

Figura 1.5. Valores de los Coeficientes de Luz Diurna en los puntos de análisis.

Figura 1.6. Gráfica con los valores de iluminación y plano con la localización del aula 707.

Figura 1.7. Foto aérea del edificio del Posgrado de Economía.

Figura 1.8. Fachada oeste del Posgrado de Economía.

Figura 1.9. Foto aérea del edificio “Adolfo Sánchez Vázquez”.

Figura 1.10. Fachada noreste del edificio “Adolfo Sánchez Vázquez”.

Figura 1.11. Foto aérea del edificio de la licenciatura en ciencias forenses.

Figura 1.12. Fachada norte del edificio de ciencias forenses.

Figura 1.13. Foto aérea del edificio de la Unidad de Posgrado.

Figura 1.14. Fachada interna de la Unidad de Posgrado.

Figura 2.1. Escala de sensación térmica en las personas.

Figura 2.2. Procesos de vasodilatación y vasoconstricción de las venas.

Figura 2.3. Variación de la temperatura interna en función del entorno exterior.

Figura 2.4. Escala de temperatura relacionada con el confort, la fisiología y la salud.

Figura 2.5. Cargas térmicas presentes en un edificio.

Figura 2.6. Vista externa de la Test Cell de Florencia.

Figura 2.7. Vistas interiores de la cámara de prueba de la Test Cell.

Figura 3.1. Niveles de iluminación en función de las tareas realizadas.

Figura 3.2. Representación de la “Ley inversa al cuadrado”.

Figura 3.3. Disponibilidad de luz de acuerdo con la latitud.

Figura 3.4. Cielo de diseño para la latitud de la Ciudad de México de acuerdo a la calculadora del Dr. Andrew Marsh.

Figura 3.5. Tipos de cielo propuestos por la Commission internationale de l'éclairage (CIE).

Figura 3.6. Interior de la Mirror-box artificial sky.

Figura 3.7. Laboratorio de cielo artificial de la UAM Atzacapotzalco.

Figura 3.8. Vista interior del sky dome.

Figura 4.1. Acceso principal a la Unidad de Posgrado.

Figura 4.2. Planta de conjunto esquemática de la Unidad de Posgrado.

Figura 4.3. Imagen aérea de la localización de la Unidad de Posgrado.

Figura 4.4. Modelo tridimensional del conjunto de la Unidad de Posgrado.

Figura 4.5. Planta arquitectónica del tercer nivel del edificio F.

Figura 4.6. Planta del tercer nivel de la Unidad de Posgrado indicando la orientación predominante de sus aulas.

Figura 4.7. Variantes de la fachada interna de las aulas.

Figura 4.8. Fachada externa de las aulas.

Figura 4.9. Corte arquitectónico con indicación de los ángulos solares en los meses de estudio.

Figura 4.10. Corte arquitectónico con indicación de los materiales de construcción de las aulas.

Figura 4.11. Ubicación de las aulas evaluadas dentro del conjunto de la Unidad de Posgrado.

Figura 4.12. Planta arquitectónica del aula B-301.

Figura 4.13. Planta arquitectónica del aula F-302.

Figura 4.14. Planta arquitectónica del aula F-303.

Figura 4.15. Planta arquitectónica del aula H-316.

Figura 4.16. Mapa de los climas del Distrito Federal intervenido para mostrar la ubicación de la Unidad de Posgrado.

Figura 4.17. Gráficas solares ortográficas para la Ciudad de México que indican la incidencia solar en los meses de enero (izquierda) y mayo (derecha).

Figura 4.18. Modelo tridimensional del conjunto arquitectónico de la Unidad de Posgrado.

Figura 4.19. Nivel de iluminación en el aula B-301 (orientación oeste) a las 9:00 horas.

Figura 4.20. Nivel de iluminación en el aula F-302 (orientación sur) a las 9:00 horas.

Figura 4.21. Nivel de iluminación en el aula F-303 (orientación norte) a las 9:00 horas.

Figura 4.22. Nivel de iluminación en el aula H-316 (orientación este) a las 9:00 horas.

Figura 4.23. Nivel de iluminación en el aula B-301 (orientación oeste) a las 15:00 horas.

Figura 4.24. Nivel de iluminación en el aula F-302 (orientación sur) a las 15:00 horas.

Figura 4.25. Nivel de iluminación en el aula F-303 (orientación norte) a las 15:00 horas.

Figura 4.26. Nivel de iluminación en el aula H-316 (orientación este) a las 15:00 horas.

Figura 4.27. Corte y planta del aula B-301 (orientación oeste) con la incidencia solar por hora en enero.

Figura 4.28. Corte y planta de las aulas F-303 y F-302 (orientación sur y norte respectivamente) con la incidencia solar por hora en enero.

Figura 4.29. Corte y planta del aula H-316 (orientación este) con la incidencia solar por hora en enero.

Figura 4.30. Corte y planta del aula B-301 (orientación oeste) con la incidencia solar por hora en mayo.

Figura 4.31. Corte y planta del aula F-303 y F-302 (orientación sur y norte respectivamente) con la incidencia solar por hora en mayo.

Figura 4.32. Corte y planta del aula H-316 (orientación este) con la incidencia solar por hora en mayo.

Figura 4.33. Simulación de sombras del aula B-301 para el mes de enero a las 17:00 horas.

Figura 4.34. Simulación de sombras del aula B-301 para el mes de mayo a las 17:00 horas.

Figura 5.1. Nivel de iluminación en el aula B-301 (orientación oeste) a las 9:00 horas después de incluir la propuesta.

Figura 5.2. Nivel de iluminación en el aula F-302 (orientación sur) a las 9:00 horas después de incluir la propuesta.

Figura 5.3. Nivel de iluminación en el aula F-303 (orientación norte) a las 9:00 horas después de incluir la propuesta.

Figura 5.4. Nivel de iluminación en el aula H-316 (orientación este) a las 9:00 horas después de incluir la propuesta.

Figura 5.5. Nivel de iluminación en el aula B-301 (orientación oeste) a las 15:00 horas después de incluir la propuesta.

Figura 5.6. Nivel de iluminación en el aula F-302 (orientación sur) a las 15:00 horas después de incluir la propuesta.

Figura 5.7. Nivel de iluminación en el aula F-303 (orientación norte) a las 15:00 horas después de incluir la propuesta.

Figura 5.8. Nivel de iluminación en el aula H-316 (orientación este) a las 15:00 horas después de incluir la propuesta.

Índice de tablas

Tabla 1.1. Tabla resumen de relación entre variables físicas de las escuelas y habilidades.

Tabla 1.2. Porcentajes de escuelas por tipología de aventanamiento en la provincia de Tucumán y San Miguel de Tucumán.

Tabla 2.1. Concentrado de los rangos de confort térmico establecidos por diferentes autores.

Tabla 2.2. Comparativa de software que ofrece elaboración de evaluaciones térmicas de edificios.

Tabla 3.1. Concentrado de los niveles de confort lumínico establecidos por diferentes autores.

Tabla 3.2. Comparativa de software que ofrece elaboración de simulaciones lumínicas de edificios.

Tabla 4.1. Distribución de aulas en el tercer nivel por cada uno de los edificios.

Índice de gráficas

Tabla 4.2. Datos de radiación solar para la Ciudad de México.

Tabla 4.3. Consideraciones hechas para el cálculo térmico por aula y por mes.

Tabla 4.4. Índices de reflectividad para los materiales utilizados en las aulas.

Tabla 4.5. Niveles de iluminación obtenidos por aula a las 9:00 horas.

Tabla 4.6. Niveles de iluminación obtenidos por aula a las 15:00 horas.

Tabla 5.1. Propuesta de intervención por aula y factor a modificar.

Tabla 5.2. Comparativa de las temperaturas interiores obtenidas en la evaluación diagnóstica y la propuesta para todas las aulas en el mes de enero.

Tabla 5.3. Comparativa de las temperaturas interiores obtenidas en la evaluación diagnóstica y la propuesta para todas las aulas en el mes de mayo.

Tabla 5.4. Comparativa de los niveles de iluminación obtenidos por aula a las 9:00 horas durante la evaluación diagnóstica y la propuesta.

Tabla 5.5. Comparativa de los niveles de iluminación obtenidos por aula a las 15:00 horas durante la evaluación diagnóstica y la propuesta.

Gráfica 1.1. Resultado del monitoreo de la temperatura durante la temporada cálida húmeda.

Gráfica 1.2. Temperaturas y humedades en la ciudad de Caracas, Venezuela.

Gráfica 4.1. Temperatura anual en 2013 registrada en la estación Pedregal (PED) del REDMET.

Gráfica 4.2. Humedad relativa anual en 2013 registrada en la estación Pedregal (PED) del REDMET.

Gráfica 4.3. Velocidad del viento anual en 2013 registrada en la estación Pedregal (PED) del REDMET.

Gráfica 4.4. Valores de temperatura exterior e interior para todas las aulas en enero.

Gráfica 4.5. Factores del cálculo térmico que representaron las mayores ganancias calóricas (naranja) y las mayores pérdidas (azul) por cada hora para el mes de enero.

Gráfica 4.6. Valores de temperatura exterior e interior para todas las aulas en mayo.

Gráfica 4.7. Factores del cálculo térmico que representaron las mayores ganancias calóricas (naranja) y las mayores pérdidas (azul) por cada hora para el mes de mayo.

Gráfica 5.1. Comportamiento térmico de las aulas durante enero después de aplicar los criterios de la propuesta.

Gráfica 5.2. Comportamiento térmico de las aulas durante mayo después de aplicar los criterios de la propuesta.

Fuentes de información

Acuity brands, “Visual Lighting Software Solutions”, consultada 22 septiembre, 2014, <http://www.acuitybrands.com/resources/tools-and-documents/visual-lighting-software>

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, *ASHRAE Handbook Fundamentals*, 2009. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., 2009. Versión electrónica.

ANUIES, “Anuario estadístico de educación superior”, consultado 28 Febrero, 2014, <http://www.anuies.mx/content.php?varSectionID=166>

Aréchiga, Hugo. *Homeostasis*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2000.

Araño, Axel (editor). *Arquitectura Escolar SEP 90 años*. México: CONACULTA, 2011.

Arnal, Luis y Betancourt, Max. *Reglamento de construcciones para el Distrito Federal comentado*. México DF: Trillas, 2005.

ASHRAE, “ASHRAE Glossary.” Consultada 5 marzo, 2014, <http://wiki.ashrae.org/index.php/>

Autodesk, “Diseño sostenible”, consultada 9 julio, 2014, <http://www.autodesk.es/adsk/servlet/pc/index?siteID=455755&id=15525874>

Baker, Mike, “Mirror-box artificial sky”, consultado 2 Mayo, 2014, <http://www.cylex-uk.co.uk/reviews/viewcompanywebsite.aspx?firmaName=vashon-baker&companyId=19340589>

Berkeley, University of California. “Radiance. Synthetic imaging system”. Consultada 22 septiembre, 2014, <http://radsite.lbl.gov/radiance/>

Bertrán, Miguel. *El sol en la mano: estudios de iluminación, orientaciones y relojes solares*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1982.

Carlucci, Salvatore. *Thermal Comfort assessment of buildings*. Milano: Editorial Board, 2013.

Carrier, “Software downloads”, consultada 9 julio, 2014, <http://www.carrier.com/commercial/en/us/software/hvac-system-design/software-downloads/>

Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España. *Un Vitruvio ecológico. Principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible*. Barcelona: Gustavo Gili, 2010.

DAYSIM, “Advanced daylight simulation software”, consultada 22 septiembre, 2014, <http://daysim.ning.com/>

Department of Energy, “Light at night.” Consultada 15 abril, 2014, http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/light_at_night.pdf

Design Builder, “Buy Design Builder”, consultada 9 julio, 2014, <https://www.designbuilder.co.uk/purchase/buy-designbuilder>

DIAL, “Descargar DIALux”, consultada 22 septiembre, 2014, <https://www.dial.de/es/software/dialux/download/>

- Emery, Ashley F. "HVAC Engineering course." Consultada 15 mayo, 2014, <http://courses.washington.edu/me333afe/>
- EnErfigente, "Norma Española UNE-EN 12464-1", consultada 30 abril 2014, https://enerfigente.files.wordpress.com/2015/08/une-en_12464-12003.pdf
- Energy Plus, "Energy Plus downloads", consultada 9 julio, 2014, <https://energyplus.net/downloads>
- Energy Systems Research Unit at the University of Strathclyde, "ESP-r Central". Consultada 20 septiembre, 2014, http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r_central.htm
- ESP-r, "ESP-r Overview", consultada 9 julio, 2014, http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r_overview.htm
- European Commission, "Health effects of artificial light." Consultada 23 febrero, 2014, http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_035.pdf
- Fernández Chavira, José Manuel. "Propuestas de adecuación bioclimática para las aulas del C.A.P.F.C.E. en climas cálido seco y cálido húmedo". Tesis de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana, 2005.
- Fuentes Freixanet, Victor Armando, "Arquitectura Bioclimática." Consultada 15 mayo, 2014, <http://arq-bioclimatica.com/index.php>
- Fuentes Freixanet, Victor Armando y Rodríguez Viqueira, Manuel. *Ventilación natural. Cálculos básicos para arquitectura*. México: Universidad Autónoma Metropolitana, 2004.
- Givoni, Baruch. *Man, Climate and Architecture*. Londres: Applied Science Publishers, 1976.
- Gonzalo G., Ledesma S.L., Nota V.M., Márquez G. "Evaluación comparativa del comportamiento lumínico y térmico de diferentes soluciones de aventanamientos para escuelas y oficinas de la provincia de Tucumán". AVERMA Vol.5. (2001). pp 05.13 - 05.17.
- Gonzalo, Guillermo Enrique. "Diseño de ventanas unilaterales en aulas escolares de Tucumán", Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 10 N° 2 (2006).
- Hernández Barreda, Elba Georgina. "Factores físicos del medio ambiente vinculados al aprovechamiento escolar, dentro de las secundarias del municipio de Colima" Tesis de Maestría, Universidad de Colima, 2005.
- Hernández Vázquez, Juan Manuel. "Habitabilidad educativa de las escuelas. Marco de referencia para el diseño de indicadores." Revista Electrónica Sinéctica. (2010): 1-14. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99815165003>
- Heschong, Lisa. *Daylighting in schools. An investigation into the relationship between daylighting and human performance*. California: Pacific Electric Gas Company, 1999, versión electrónica.
- Higueras, Ester. *Urbanismo bioclimático*. Barcelona: Gustavo Gili, 2006.
- Holahan, Charles. *Psicología ambiental: un enfoque general*. México: Noriega Editores, 1991.
- Illuminating Engineering Society, "Lighting books", consultada 24 abril, 2014, <https://www.ies.org/product-category/lighting-books/>

Instituto de cerámica y vidrio, “Prevención de riesgos laborales ICV-CSIC”, consultado 14 Marzo, 2014, <http://www.icv.csic.es/prevencion/Documentos/breves/FREMAP/iluminacion.pdf>

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información, “Clima del Distrito Federal”, consultada 28 Septiembre, 2013, <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/clima.aspx?tema=me&e=09>

Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa, Normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcción e instalaciones, Volúmenes 1 a 6. México: Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa, 2011. Versión electrónica.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología de Venezuela, “Estadísticos básicos temperaturas y humedades relativas máximas y mínimas medias”, consultado 5 Noviembre, 2014, http://www.inameh.gob.ve/documentos/ESTADISTICOS_BASICOS_TyHR_EXTREM.pdf

Ledesma S.L., Gonzalo G.E, Cisterna M.S, Márquez Vega S.G, Quiñones G.I. Nota V.M. “Evaluación comparativa de eficiencia de parasoles y su incidencia en la iluminación natural de aulas en San Miguel de Tucumán”. Revista AVERMA (2004), Vol. 8. pp 05.55 - 05.60.

Lighting Analysts, “Support-Downloads”, consultada 22 septiembre, 2014, <http://www.agi32.com/index.php?id=2b>

Lumenac, “Lumenlux”, consultada 22 septiembre, 2014, http://www.lumenac.com/index.php?option=com_content&view=article&id=14

Marsh, Andrew, “Design sky illuminance calculator”, Consultada 20 de marzo de 2015. <http://wiki.naturalfrequency.com/files/wiki/daylight/design-sky.swf>

Mayorga Cervantes, Juan Raymundo. “Modelo holístico para analizar el confort térmico del ser humano dentro de los edificios” Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México, 2005.

Mayorga Cervantes, Juan Raymundo. *Arquitectura y confort térmico*. México: Plaza y Valdés Editores, 2012.

Medline Plus, “Transtorno afectivo estacional”, consultada 20 Mayo, 2014, <https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/001532.htm>

Meteonorm, “Meteonorm licences”, consultada 9 julio, 2014, <http://www.meteonorm.com/en/buy#lizenzen>

MIT, “The MIT Design Advisor”, consultada 9 julio, 2014, <http://designadvisor.mit.edu/design/>

Olgay, Victor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili, 2010.

Open Studio, “Downloads”, consultada 9 julio, 2014, <https://www.openstudio.net/downloads>

Oxytech, “Software for lighting design and planning”, consultada 22 septiembre, 2014, <http://www.oxytech.it/software/litestar-suite.asp>

Parsons, Ken. *Human thermal environments: The effects of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance*. Boca ratón: CRC Press, 2014.

Phillips, “Calculux”, consultada 22 septiembre, 2014, <http://www.lighting.philips.cz/podpora/podpora-vyrobku/calculux>

Prescott, Kerrie. “Thermal comfort in school buildings in the tropic”, Environment Design Guide, no. 42 (2012).

- Programa EcoPuma, “Lineamientos en materia de construcción sustentable”, consultada 15 Enero, 2015, https://ecopuma.unam.mx/PDF/SECCIONES/CONSTRUCCIONSUSTENTABLE/Criterios_construccion_sustentable.pdf
- REDMET, “Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT).” Consultada 4 noviembre, 2013, http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/productos/basesdedatos/bd_redmet.php
- RELUX, “RELUX Light Simulation Tools”, consultada 22 septiembre, 2014, http://www.relux.biz/index.php?option=com_downloadpublic&Itemid=&prod=reluxsuite&lang=en
- Rivas Navarro, Manuel. *Procesos cognitivos y aprendizaje significativo*. Madrid: Subdirección General de Inspección Educativa de la Viceconsejería de Organización Educativa de la Comunidad de Madrid, 2008. Versión electrónica.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, “Norma mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013”, consultada 14 Octubre, 2014, <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFs1/DO3156.pdf>
- Semanario de la UAM, “Primer laboratorio controlado del Distrito Federal”, consultada 15 Abril, 2014, <http://www.comunicacionsocial.uam.mx/semanario/v-x/num1/01.html>
- Sistema de Monitoreo Atmosférico, “Bases de datos – Red de Meteorología y Radicación Solar (REDMET)”, consultada 1 octubre, 2013, <http://www.aire.df.gob.mx/default.php?opc=%27aKBi%27>
- Sosa, María Eugenia. “Diagnóstico de la calidad higrotérmica y de ventilación en espacios representativos de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU-UCV)”, *Tecnología y construcción*, Vol. 22-I (2006).
- Szokolay, Steven. *Introduction to Architectural Design, The basis of Sustainable Design*. EUA: Elsevier/Architectural Press, 2008.
- Tanner Kenneth. “Effects of school design on student outcomes”. *Journal of Educational Administration*. Emerald Group Publishing Limited, Vol. 47, no. 3 (2009): 381-399. <http://sdpl.coe.uga.edu/research/TannerResearchAward.pdf>
- The University of Wisconsin, Madison, “A TRAnsient SYstems Simulation Program”, consultada 9 julio, 2014, <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/index.html>
- UCLA, “HEED: Home Energy Efficient Design”, consultada 9 julio, 2014, <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/heed/>
- United States Green Building Council, “Daylight”, consultado 22 Mayo, 2014, <http://www.usgbc.org/credits/healthcare/v4-draft/eqc-o>
- Universidad Autónoma Metropolitana, “Ciencias y Artes para el Diseño. Instalaciones”, consultada 15 Abril, 2014, <http://www.azc.uam.mx/cyad/posgrado/instalaciones.html>
- University of Georgia. “School Design and Plannin Laboratory” (SDPL), consultado 15 Agosto, 2013, <http://sdpl.coe.uga.edu/sdpl.html>
- Wassouf, Micheel. *De la casa pasiva al estándar passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos*. Barcelona: Gustavo Gili, 2014.
- Welsch School of Architecture, “Sky dome”, consultada 20 Mayo, 2014, <http://www.cardiff.ac.uk/architecture/about-us/facilities/environmental-lab/sky-dome/>
- Wurtman, Richard J. “The effects of light on the human body”, *Scientific American*, no. 233 (1975): 69-77.

