



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA  
TECNOLOGÍAS

DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AMBIENTE INTERIOR DE  
ESPACIOS EDUCATIVOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO

TESIS

Que para optar por el grado de

MAESTRA EN ARQUITECTURA

Presenta:

SANDRA GUADALUPE DÍAZ PÉREZ

Tutor:

Mtro. en Arq. Arturo Valeriano Flores – Facultad de Arquitectura

Comité tutor:

Dra. Cecilia G. Guadarrama Gándara – Facultad de Arquitectura

Dr. José Diego Morales Ramírez – Facultad de Arquitectura

Mtro. en Arq. Jorge Rangel Dávalos – Facultad de Arquitectura

Mtro. Enrique Bonfil Pérez – Facultad de Arquitectura UAEM

Ciudad Universitaria, CD.MX. febrero 2020



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.



UNAM  
POSGRADO  
Arquitectura



INSTITUTO  
DE INVESTIGACIONES  
HISTÓRICAS





AL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA POR EL APOYO ECONÓMICO  
OTORGADO PARA EL DESARROLLO DE ESTA INVESTIGACIÓN



# DEDICATORIAS

*A la UNAM por abrirme sus puertas dentro de sus instalaciones y poder formar parte de esta bella comunidad.*

*A mis tutores por todo el apoyo que me brindaron para poder concluir con mi proyecto de investigación.*

*A mis profesores por todo el conocimiento compartido.*

*A mi esposo Diego Maldonado por su apoyo incondicional y ayuda durante el proceso de la maestría.*

*A mi hijo Diego Gabriel por ser el motor y motivo para superarme día con día para terminar todos los proyectos propuestos.*

*A mis padres por el apoyo que me han brindado a lo largo de mis estudios.*

*A mis hermanas por alentarme a concluir esta etapa y a sus hijos por ser la alegría durante todo el proceso*



# ÍNDICE

<b>01</b>	<i>Introducción</i> .....	5
1.1	<i>Pregunta de investigación</i> .....	6
1.2	<i>Justificación</i> .....	6
1.3	<i>Hipótesis</i> .....	6
1.4	<i>Objetivos</i> .....	7
1.5	<i>Aportación</i> .....	7
<b>02</b>	<i>Espacio educativo</i> .....	9
2.1	<i>Diseño de espacios educativos</i> .....	12
<b>03</b>	<i>Calidad del ambiente interior</i> .....	15
3.1	<i>Factores físicos</i> .....	22
3.2	<i>Factores químicos</i> .....	29
3.3	<i>Factores biológicos</i> .....	31
<b>04</b>	<i>Evaluación de espacios</i> .....	33
4.1	<i>Certificaciones</i> .....	35
4.2	<i>Normatividad</i> .....	42
4.3	<i>Herramientas y técnicas</i> .....	45
4.4	<i>Métodos de evaluación</i> .....	52

<b>05</b>	<i>Desarrollo experimental.....</i>	<i>55</i>
5.1	<i>Análisis de sitio.....</i>	<i>57</i>
5.2	<i>Metodología.....</i>	<i>60</i>
5.3	<i>Instrumentación.....</i>	<i>62</i>
<b>06</b>	<i>Resultados.....</i>	<i>75</i>
6.1	<i>Correlación de variables.....</i>	<i>82</i>
6.2	<i>Análisis de resultados.....</i>	<i>88</i>
<b>07</b>	<i>Manual para evaluar la calidad del ambiente interior.....</i>	<i>95</i>
7.1	<i>Alcance.....</i>	<i>97</i>
7.2	<i>Referencia de normatividad.....</i>	<i>97</i>
7.3	<i>Abreviaciones.....</i>	<i>98</i>
7.4	<i>Parámetros.....</i>	<i>98</i>
7.5	<i>Presentación de resultados.....</i>	<i>104</i>
	<i>Conclusiones.....</i>	<i>109</i>
	<i>Bibliografía.....</i>	<i>113</i>
	<i>Índice de tablas.....</i>	<i>120</i>
	<i>Índice de diagramas.....</i>	<i>121</i>
	<i>Índice de gráficas.....</i>	<i>121</i>
	<i>Índice de imágenes.....</i>	<i>122</i>
	<i>Anexos.....</i>	<i>123</i>



01 INTRODUCCIÓN



# 01 INTRODUCCIÓN

*A lo largo de la historia del ser humano, se han presentado nuevos conocimientos que permiten el desarrollo del mismo; generación tras generación aparecen nuevas formas de pensar, de relacionarse, de comunicarse, de vivir, etc. y para lograr la adaptación a nuestra sociedad es necesario adquirirlas, ya sea mediante el conocimiento empírico o científico. De igual manera, a lo largo de la historia se han ido creando diferentes modelos de aprendizaje y/o instituciones enfocadas a la enseñanza y aprendizaje de diversos temas, mismos que tienen teorías o normas que seguir.*

*Es así como se llegó a la creación de instituciones académicas y que fueron organizadas de acuerdo a la edad del sujeto, elaborando programas adaptados a los aprendizajes que se deben adquirir en cada etapa. “Las Instituciones de Educación Superior (IES) fueron creadas para ejercer libertad de pensamiento y libre flujo de ideas, pilares fundamentales que propician las condiciones para el desarrollo del conocimiento a través del estudio y la investigación. Así concebidas, la universidad es una de las instituciones sociales de mayor influencia que el hombre ha creado para el desarrollo cognitivo de sus capacidades, cuyo producto encabeza los sabios tributos de la cultura.*

*Teniendo el objetivo de crear las instituciones con finalidades de enseñanza-aprendizaje, se tomó como prioridad la elaboración de planes de estudios de acuerdo a cada grado escolar, las capacitaciones de docentes para mejorar la esta práctica, se crearon nuevas teorías buscando la mejora y facilidad del proceso de enseñanza-aprendizaje que se implementan en todas las instituciones, etc. sin embargo, se dejó de lado la importancia de la infraestructura dentro de la cual se desarrolla el proceso antes mencionado.*

*Si bien en diferentes partes del mundo se ha comenzado a investigar sobre los espacios de las instituciones académicas y cuáles son las características ideales para llevar a cabo esta práctica, en México existe una gran problemática respecto al diseño de espacios educativos debido a que, aunque existen algunas guías creadas por la UNESCO (Marín 1999) (educación 1985), no están actualizadas y sólo cubre diseño hasta nivel medio.*

*La finalidad de esta investigación va enfocada a la evaluación de espacios educativos, específicamente en la Unidad de Posgrado de la UNAM, analizando si están cumpliendo con los estándares mencionados en la norma ISO 17772-1 que se refieren a una correcta calidad del ambiente interior.*

## *1.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN*

*¿Las aulas de clase de la Unidad de Posgrado de la UNAM están cumpliendo con los estándares mencionados en la norma ISO 17772-1 que se refieren a una correcta calidad del ambiente interior?*

## *1.2 JUSTIFICACIÓN*

*Actualmente, en México no contamos con una norma obligatoria que regule la calidad del ambiente interior que se tiene dentro de las aulas de clase.*

*Ya se ha demostrado que una mala calidad repercute directamente al rendimiento de estudiantes y docentes. Por el contrario, una buena calidad interior, ha beneficiado el rendimiento y concentración, reflejado en las calificaciones de los estudiantes.*

*Es por lo anterior que se realizó el siguiente trabajo de investigación, para obtener datos concretos de lo que está sucediendo en las aulas de clase y tener un panorama general de lo que se debe mejorar dentro de ellas.*

## *1.3 HIPÓTESIS*

*Las aulas de clase de la Unidad de Posgrado de la Universidad Nacional Autónoma de México cuentan con una correcta calidad del ambiente interior, y esto está beneficiando a docentes y estudiantes.*

## 1.4 OBJETIVO GENERAL

*Determinar la calidad del ambiente interior que se está generando dentro de las aulas de clase de la Unidad de Posgrado de la UNAM*

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

*Revisión de métodos, herramientas e instrumentos previamente realizados a nivel internacional para la realización de evaluaciones de la calidad del ambiente interior, así como la revisión de certificaciones que tienen como fin, primordialmente, la habitabilidad de los espacios.*

*Establecer métodos de evaluación de la calidad del ambiente interior para espacios educativos en la Ciudad de México.*

*Realizar mediciones en sitio de los parámetros que determinan la calidad del ambiente.*

*Realizar el análisis de la influencia de las variables físicas en el interior de los espacios educativos.*

## 1.5 APORTACIÓN

*Al concluir esta investigación, se entenderá la importancia de contar con aulas de clase con una correcta calidad del ambiente interior, sabiendo que, al no cumplir con los estándares establecidos por normas internacionales, se está contribuyendo a tener estudiantes con dificultades de concentración en las clases, así como un bajo rendimiento en las actividades escolares.*

*Así mismo, se elaborará un manual donde se explicará paso a paso la manera en cómo evaluar un aula de clases y entender si cumple o no, con los estándares establecidos dentro de la región.*







# 02 ESPACIO EDUCATIVO



## 02 ESPACIO EDUCATIVO

*“Las Instituciones de Educación Superior (IES) fueron creadas para ejercer libertad de pensamiento y libre flujo de ideas, pilares fundamentales que propician las condiciones para el desarrollo del conocimiento a través del estudio y la investigación. Así concebidas, la universidad es una de las instituciones sociales de mayor influencia que el hombre ha creado para el desarrollo cognitivo de sus capacidades, cuyo producto encabeza los sabios tributos de la cultura.*

*Su desarrollo histórico empata con la influencia de las organizaciones sociales del Estado y el poder cultural combinado con los aportes de la ciencia y la tecnología. Hoy, el axioma operante que define su función social sobre el encargo de formar las profesiones tiene como propósitos fundamentales: contribuir a los procesos de producción, promover los principios de la democracia, coadyuvar la competitividad y favorecer el mejoramiento de la realidad del país. Aquí se define a la IES como el mejor bien cultural para el progreso de la sociedad que las construye. . . ” (F. H. López 2017)*

*Actualmente, cuando se habla de un espacio educativo, no sólo se hace referencia al lugar de actividades de un establecimiento, sino a los espacios donde se puede llevar a cabo un encuentro educativo sistemático.*

*Por su definición, entendemos como espacio a la extensión que contiene toda la materia existente (RAE 2018). Sin embargo, esta definición puede aplicarse en diferentes áreas como son arquitectura, artes, física, educación, astronomía, geografía, etc.*

*Cuando hablamos de espacio en el área de educación, podemos encontrar tres definiciones:*

- *El espacio escolar es aquel que está compuesto por elementos de distribución, ubicación, cantidad y calidad. Debe ser adaptable y flexible.*

*Un espacio escolar es aquel donde la comunidad educativa reflexiona con el objetivo de conseguir un crecimiento intelectual, personal y humano. Es donde se*

*desarrollan las actividades de aprendizaje de los estudiantes, en donde se obtienen los conocimientos relevantes que necesitan para integrarse con éxito a la sociedad.*

*Pueden irse modificando con el tiempo, y adaptándose a las necesidades del proyecto de centro.*

- *El espacio docente es donde se encuentran las herramientas didácticas necesarias para impartir las actividades de enseñanza. Dentro de este espacio se promueve la confianza del grupo y un clima agradable.*
- *El espacio educativo está compuesto por un conjunto de elementos que determinan la distribución básica del centro: las dimensiones del centro, las etapas educativas que imparten, el medio en que está inmerso, etc.*

*Los espacios educativos son un conjunto de aspectos que conforman el ambiente de aprendizaje de los estudiantes; ofrece oportunidades de desarrollo, que le permite al estudiante explotar su creatividad. Es donde se puede establecer un encuentro educativo sistemático.*

## **2.1 DISEÑO DE ESPACIOS EDUCATIVOS**

*En México existe una gran problemática respecto al diseño de espacios educativos debido a que, aunque existen algunas guías creadas por la UNESCO (Marín 1999) (educación 1985), no están actualizadas y sólo cubre diseño hasta nivel medio.*

*Así mismo, se cuenta con el Instituto Nacional de la Infraestructura Educativa (INIFED), que es un organismo público del gobierno federal sectorizado a la Secretaría de Educación Pública (SEP). Dicho instituto tiene como objetivo desempeñarse en el sector educativo como un organismo con capacidad normativa, de consultoría, construcción y certificación de la calidad de la Infraestructura Física Educativa (INFE). Sin embargo, en el Diario Oficial de la Federación encontramos lo siguiente:*

*“...Ahora bien, de los 112,656 planteles construidos específicamente para fines educativos, la misma fuente precisa que el 23% no cumple con especificaciones técnicas*

*constructivas y de materiales para techos; el 5% carece de ellas para paredes, y el 67% tampoco lo tiene para pisos, por lo que se estima que los recursos federales que aplican los tres niveles de gobierno no han convergido en una planeación integral, y resulta evidente también que la falta de calidad en la infraestructura escolar se debe en gran medida a la ineficiencia en el gasto.*

*Aunado a lo anterior cabe señalar que los resultados de evaluaciones nacionales e internacionales han mostrado que el desempeño educativo está directamente relacionado con el estado físico de la infraestructura educativa. . .” (Federación 2014).*

*Todos estos tipos de guías e institutos, sólo se encargan de los aspectos funcionales y estructurales de la construcción, dejando de lado todos los factores externos que puedan contribuir a que un aula de clases cumpla con los niveles adecuados para que un ambiente interior sea apropiado para un mayor rendimiento por parte de los usuarios. En el caso del INIFED, se cuenta con edificios “tipo” de uno, dos y tres niveles, omitiendo el estudio del contexto en que se encuentra el lote donde se va a construir.*

*Aunado a esto, la alta demanda educativa ha presentado la necesidad del incremento en la matrícula de las escuelas de nivel superior, lo que provoca espacios insuficientes para la cantidad de usuarios.*

*Como consecuencia de lo antes mencionado, actualmente contamos con muchas escuelas que, por haberse construido de esta manera, variables como iluminación, temperatura, calidad del aire y ruido, no están cumpliendo con los niveles recomendados para un aula de clases. Por ello, se han hecho diversos estudios en los que los usuarios presentan síntomas como asma e infecciones respiratorias, que a su vez se ha relacionado con la reducción en el rendimiento y la atención (Mendell y Heath 2004).*





# 03 CALIDAD DEL AMBIENTE INTERIOR

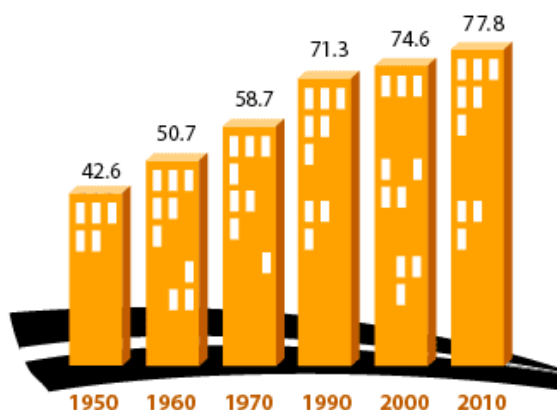




## 03 CALIDAD DEL AMBIENTE INTERIOR

Como consecuencia de los cambios sociales ocurridos durante la segunda mitad del siglo XIX y durante todo el siglo XX, se inició una migración interior en los países, que tuvo como consecuencia el abandono de los modos de vida rurales.

Este cambio ha hecho que la sociedad sea, en su mayoría, urbana. En 1950, poco menos del 43% de la población en México vivía en localidades urbanas, en 1990 era del 71% y para el 2010 esta cifra aumentó a casi 78% (INEGI 2010).



Gráfica 1. Aumento de vida urbano a través de las décadas (INEGI)  
Imagen tomada del sitio: [http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur\\_urb.aspx?tema=P](http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema=P)

Si bien, la sociedad actual es consciente sobre los temas que afectan el medio ambiente, se ha avanzado muy poco en la regulación de las condiciones ambientales en espacios interiores, a pesar de que es un problema que está afectando a miles de personas en el mundo.

Actualmente, las personas pasan hasta el 87% de su tiempo en interiores, ya sea un edificio residencial o comercial, y otro 6% en sus vehículos, quedando continuamente expuestos al ambiente interior (Klepeis, y otros 2001). Es por lo anterior que es de suma importancia comprender los factores que influyen en la calidad del ambiente interior, así como su impacto en la salud y la productividad de las personas.

La norma UNE 171330:2008 define la calidad del ambiente interior (CAI) a ***“las condiciones ambientales de los espacios interiores, adecuadas al usuario y la actividad, definidas por los niveles de contaminación química, microbiológica y por los valores de los factores físicos”*** (UNE 2008). Al hablar de agentes físicos en CAI nos estamos refiriendo a las condiciones termohigrométricas (temperatura, humedad, calidad del aire), la iluminación del local, el ruido ambiental y las vibraciones percibidas.

Por otro lado, desde 1982, la Organización Mundial de la Salud (OMS), ha llegado a definir el Síndrome del Edificio Enfermo (SEE) o Sick Building Syndrome (SBS), como un conjunto de molestias y enfermedades originadas o estimuladas por la mala ventilación, la descompensación de temperaturas, las cargas iónicas y electromagnéticas, las partículas en suspensión, los gases y vapores de origen químico y los bioaerosoles, entre otros agentes causales identificados, que produce, en al menos un 20% de los ocupantes, un conjunto de síntomas inespecíficos, sin que sus causas estén perfectamente definidas. Es característico que los síntomas desaparezcan al abandonar el edificio (OMS 1982).

El SEE se da con más frecuencia en los ocupantes de edificios con aire acondicionado, pero incluso puede afectar a ocupantes de edificios ventilados de forma natural.

La OMS estima que dicho síndrome afecta entre un 10% a 30% de los ocupantes de un 30% de los edificios modernos (Martí 2009). Los síntomas suelen confundirse con gripes o resfriados, dolor de cabeza, congestión, mareos, náusea, cansancio, irritación de ojos, nariz y garganta. Se asocian al lugar de trabajo, sólo si afectan simultáneamente a varios empleados o si tienen una persistencia no razonable. En algunos casos se relacionan fácilmente a la jornada de trabajo, pues aumentan con la estancia en la oficina y mejoran al abandonar el trabajo, llegando a desaparecer durante las vacaciones.

## Síndrome del edificio enfermo

### Definición de la OMS

Conjunto de molestias o enfermedades que aparecen durante la permanencia en el interior del edificio afectado y que afecta -al menos- al 20% de los usuarios.



### Molestias más comunes

- ✓ Escorzo o enrojecimiento de ojos
- ✓ Congestión nasal
- ✓ Estornudos
- ✓ Dificultad respiratoria
- ✓ Sequedad cutánea
- ✓ Dolor de cabeza
- ✓ Somnolencia
- ✓ Náuseas

### Enfermedades



Legionelosis



Rinitis alérgica



Asma



Fiebre de Pontiac

Imagen 1. Síndrome del edificio enfermo

Infografía Salud Laboral: Lo que te puede provocar el síndrome del edificio enfermo. Asociación Nacional de Empresas de Sanidad Ambiental (ANECPA)

Teniendo en cuenta los síntomas antes señalados, se debe realizar una investigación cuidadosa para poder diagnosticar la existencia de un SEE. La OMS diferencia dos tipos de edificio enfermo: el que presentan edificios temporalmente enfermos, en el que se incluyen edificios nuevos o de reciente remodelación, donde los síntomas disminuyen y desaparecen con el tiempo, aproximadamente medio año; y el que presentan los edificios permanentemente enfermos, cuando los síntomas persisten durante años, aunque se hayan tomado medidas para solucionar los problemas (Martí 2009).

Generalmente, los síntomas no son severos. Es común que la sintomatología varíe según la época del año, dependiendo la temperatura, humedad, grado de funcionamiento de sistemas de aire acondicionado, calefacción, entre otros. Los síntomas tienen una cronología muy concreta: aparecen cuando se comienza la jornada laboral, incrementan a medida que esta se alarga, y desaparecen los fines de semana o vacaciones.

## FACTORES QUE DETERMINAN LA CALIDAD DEL AMBIENTE INTERIOR

Actualmente existen diversos artículos donde se ha investigado acerca de la calidad del ambiente interior en relación con la productividad, el rendimiento y la percepción de los ocupantes mediante experimentos. Los más completos incluyen variables como la calidad del aire, temperatura, humedad, iluminación y ruido. Dentro de los resultados se encontró que la variación del entorno afectó significativamente el rendimiento y la productividad de los ocupantes (Geng, y otros 2017).

Se le llama calidad del ambiente interior, bienestar o confort a la consecución de una perfecta calidad en el conjunto de factores ergonómicos que se refieren a la calidad del ambiente térmico, ambiente acústico, ambiente luminoso y aire interior referido a los contaminantes en él presentes.

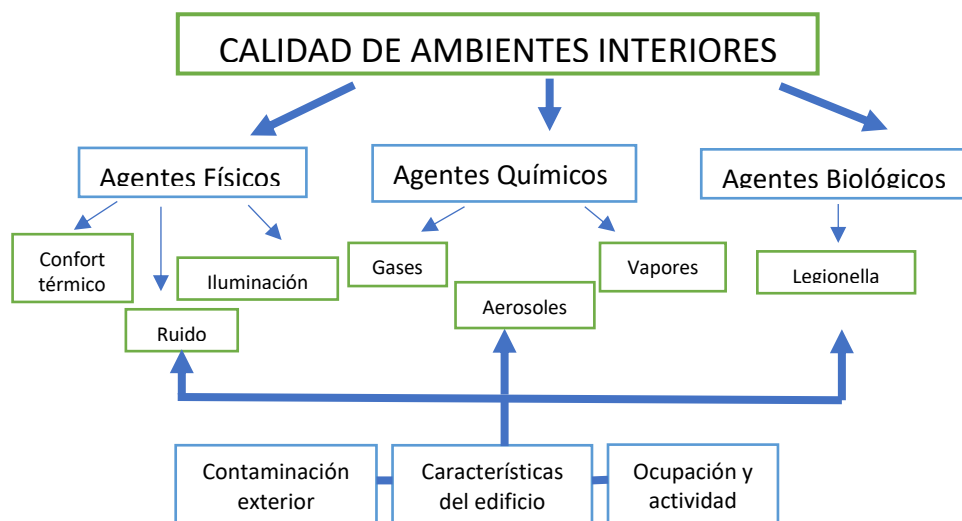
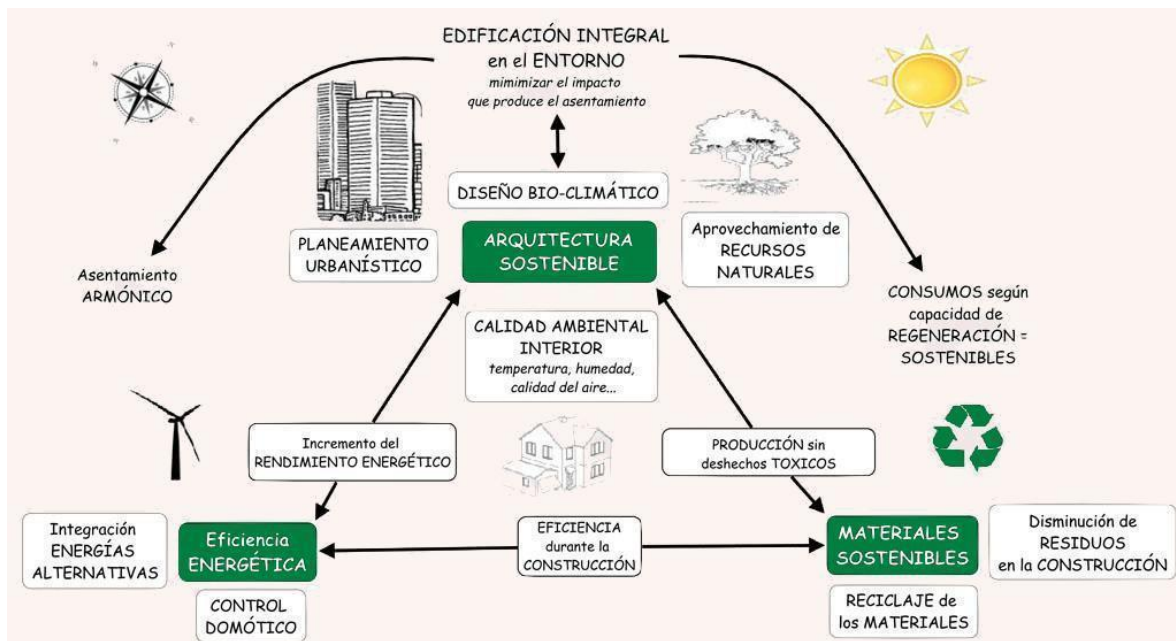


Diagrama 1. Calidad de ambientes interiores  
Diagrama elaborado por el autor

La calidad ambiental en edificios constantemente es alterada por la interacción de agentes físicos (como la temperatura, el viento, radiación solar, el ruido, etc.), químicos (como sustancias y/o compuestos orgánicos e inorgánicos) y biológicos, produciendo efectos y consecuencias sobre las personas, el medio físico-natural y los edificios. Además, los altos índices de contaminación ambiental son una constante que deteriora el medio ambiente, convirtiéndolo en no apto para el desarrollo de ciertas actividades y peligrosos para la vida tanto de personas, como de otros seres vivos.

El estudio de las posibles soluciones a este problema ha dado paso a un nuevo campo de conocimiento denominado calidad de ambientes interiores o IEQ (Indoor Environmental Quality) (Martínez y Ceña Callejo 2006).



.Diagrama 2. Calidad ambiental interior  
Imagen tomada del sitio;

[https://www.google.com/search?q=calidad+del+ambiente+interior&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjexfWj8oXnAhUQ2qwkHVFzAmMQ\\_AUoAXoECA0QAw#imgrc=aDEcX4XLzVg9\\_M](https://www.google.com/search?q=calidad+del+ambiente+interior&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjexfWj8oXnAhUQ2qwkHVFzAmMQ_AUoAXoECA0QAw#imgrc=aDEcX4XLzVg9_M)

En general, todos los aspectos ambientales tienen un impacto masivo en la calidad de vida de las personas y la productividad de los trabajadores (Mujan, y otros 2019).

Los estudios sobre la CAI entre los estudiantes han demostrado que los parámetros establecidos inadecuadamente pueden tener un impacto drástico en las capacidades cognitivas de los estudiantes (Shan, Melina y Yang 2018).

## 3.1 FACTORES FÍSICOS

### ILUMINACIÓN

La iluminación natural juega un papel muy importante en la arquitectura y después de un largo periodo de uso excesivo de sistemas de iluminación eléctrica, a mediados del siglo XX, resurgió el interés por su utilización en las edificaciones; además del deterioro del medio ambiente y debido al descontrolado consumo de los combustibles fósiles, fue necesario implementar nuevas alternativas sustentables a esta situación.

En México, evaluar los niveles de iluminación correctos para poder establecer los requerimientos óptimos en cada una de las áreas es obligación de las empresas y está establecido en la normatividad vigente NOM 025-STPS-2088 de la Secretaría del Trabajo (NOM-025-STPS-2008 2008). Dicha normativa busca controlar que exista una correcta iluminación en los centros laborales, para un correcto desempeño y alto rendimiento, en un ambiente seguro y saludable. Sin embargo, no menciona nada acerca de espacios educativos.

Se necesitan niveles de luz adecuados para una amplia variedad de actividades, entre ellas, la lectura y el trabajo en tareas con atención al detalle. Los niveles de brillo también contribuyen a la percepción de amplitud, así como a la atracción visual general de los espacios iluminados. La iluminación de tarea dirigida puede proporcionar la cantidad de luz necesaria para los espacios de trabajo sin iluminar en exceso los espacios auxiliares; para la mayoría de las tareas basta con un nivel de luz ambiente de 300 luxes (WELL building standar 2015).

TAREA VISUAL DEL PUESTO DE TRABAJO	ÁREA DE TRABAJO	NIVELES MÍNIMOS DE ILUMINACIÓN (lux)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Exteriores generales: patios y estacionamientos.	20
En interiores distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Interiores generales: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
En interiores.	Áreas de circulación y pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén; plataformas; cuartos de calderas.	100
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.	Servicios al personal: almacenaje rudo. Recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores.	200
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple. Empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble. Aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble de inspección moderadamente difícil. Captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies y laboratorios de control de calidad	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas, acabado con pulidos finos.	Proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulidos finos.	1000
Alto grado de especialización en la distinción de detalles.	Ejecución de tareas visuales: de bajo contraste y tamaño muy pequeño por periodos prolongados. Exactas y muy prolongadas. Muy especiales de extremadamente bajo contraste y pequeño tamaño.	2000

Tabla 1: Niveles mínimos de iluminación  
 Tabla tomada de la NOM-025-STPS-2008 condiciones de iluminación en los centros de trabajo

La tabla anterior establece los niveles de luz para lograr un desempeño visual básico. La estrategia que promueve la combinación de iluminación de tarea directa ajustable con iluminación ambiental indirecta o difusa permite que los usuarios puedan adaptarla a su gusto y ofrece una buena agudeza visual, además de proporcionar una luz de fondo más apropiada. La

*intensidad de la luz para la agudeza visual se mide en lux (o pie-candela), que es una medida de la forma en que el ojo responde a la luz ponderada a la respuesta de las células cono, que son los principales fotorreceptores de la visión diurna, ubicados en la retina del ojo humano.*

## *LUZ NATURAL Y LUZ ARTIFICIAL*

*La luz es una forma de energía electromagnética que, en el caso de la luz natural, proviene del sol como fuente y en caso de la luz artificial, se ilumina a través de otra fuente de energía como focos o lámparas.*

*La disponibilidad de luz natural es una de las condiciones más valoradas por los usuarios al considerar el bienestar y confort en el interior de los edificios, ya que además provoca efectos positivos en la productividad.*

*Si se analiza el rendimiento en la actividad de las personas que trabajan en un edificio, los resultados son: una reducción del esfuerzo en la lectura, mayor concentración en el trabajo, mejor rendimiento de los estudiantes en una escuela o mejora en los pacientes de hospitales (Lourenco, Pinheiro y Heitor 2019). La luz natural reduce la tensión ocular y la irritabilidad, es por esto que se considera un antidepresivo (Solar 2016).*

## *ACÚSTICA*

*La comodidad acústica de los edificios es la capacidad de proteger a los ocupantes del ruido y ofrecer un entorno acústico adecuado para el propósito para el que está diseñado el edificio (Regulation 1989). Los problemas acústicos emanan de sonidos en el aire, el ruido al aire libre, el ruido de los espacios adyacentes, y el ruido de las instalaciones cercanas, entre otros.*



Al igual que con la iluminación, existe una relación directa entre la comodidad acústica y la productividad de los ocupantes en los edificios (Landstrom y Akerlund 1994), sin embargo, a pesar de ser reconocido como un parámetro importante, investigaciones indican que el confort acústico no se considera de alta prioridad en el diseño de edificios y al no tomarlo en cuenta da lugar a varios problemas relacionados con la productividad posterior a la ocupación (Sundstrom, y otros 1994).

NIVEL DE INTENSIDAD (dBa)	SONIDO
0	Umbral de audición
10	Respiración tranquila, susurro de las hojas
20	Biblioteca, susurros (a 1m de distancia)
30	Casa tranquila
40	Conversación, casa normal, oficina tranquila
50	Oficina normal, lavaplatos
60	Tráfico normal, aglomeración de gente
70	Oficina ruidosa, calle animada, aspiradora
80	Tráfico intenso, comedor escolar, tren
90	Ferrocarril subterráneo, pelea de dos personas
100	Taller de maquinaria, discoteca
110	Concierto
120	Taladro neumático (a 2m de distancia), avión despegando, umbral del dolor
130	Avión despegando
137.5	Record guiness de ruido en un estadio
180	Explosión de volcán, cohete en despegue
200	Bomba atómica

Tabla 2. Nivel de intensidad sonora  
 Imagen tomada del sitio:  
[https://www.google.com/search?biw=2048&bih=940&tbm=isch&sa=1&ei=PZUgXtHBFZb5tAalwYbwCg&q=niveles+de+db+permitidos&oq=niveles+de+db+permit&gs\\_l=img.3.0.0i24.394299.398113..399528..0.0.2.486.4304.0j1j3j6j3.....0....1..gws-wiz-img.....0i131i67i0i67i0i131j0i8i30j0i30.G3cQM1DgQqj|#imgc=VuoTqE14vwO2OM](https://www.google.com/search?biw=2048&bih=940&tbm=isch&sa=1&ei=PZUgXtHBFZb5tAalwYbwCg&q=niveles+de+db+permitidos&oq=niveles+de+db+permit&gs_l=img.3.0.0i24.394299.398113..399528..0.0.2.486.4304.0j1j3j6j3.....0....1..gws-wiz-img.....0i131i67i0i67i0i131j0i8i30j0i30.G3cQM1DgQqj|#imgc=VuoTqE14vwO2OM):

*Investigaciones realizadas, muestran que las malas condiciones acústicas afectan la atención y el rendimiento académico de los estudiantes. Además, el ruido torna poco confortable el ambiente laboral de los docentes, convirtiéndose en un factor negativo para su trabajo (Valez 2009).*

*Por norma general, se recomienda un nivel máximo de ruido de 45 dB en exteriores por la noche y 55 dB durante el día, los niveles entre 60 – 65 dB comienzan a considerarse molestos. Los niveles de ruido que suelen encontrarse en edificios del sector servicios suelen estar por debajo de los 80 dB, nivel a partir del cual se debe actuar para prevenir el riesgo de pérdida de audición de los usuarios. En el ámbito educativo, la Organización Mundial de la Salud recomienda un nivel máximo de ruido de 35 dB en las escuelas.*

## *CALIDAD DEL AIRE INTERIOR*

*Se refiere a la percepción a través del olfato, este factor es importante y debe ser considerado sobre todo en lugares con índices de contaminación. La calidad del aire interior es un problema importante que tiene impactos a corto y largo plazo en la salud de los ocupantes (Wargocki, y otros 2002).*

### *DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>)*

*A nivel de aire interior, el dióxido de carbono se utiliza como trazador de la calidad de la ventilación gracias a que permite controlar de forma continua su concentración y, por otro lado, debido a que es emitido en el proceso de respiración de los ocupantes de un espacio determinado. La velocidad a la que se suministra aire exterior debe ser proporcional a los contaminantes dentro del edificio. La cantidad de contaminantes dentro del edificio variará según la carga y el número de ocupantes (Horr, y otros 2016).*

*En diversos artículos, podemos identificar que, hablando de la percepción de los ocupantes, es muy difícil encontrar edificios que cumplan con las expectativas de estos (Huizenga, Abbaszadeh, y otros, *Air Quality ant Thermal Comfort in Office Buildings: Results of a Large Indoor Environmental Quality Survey 2006*) y muy pocos cumplen con normatividades requeridas (Haverinen-Shaughnessy, Moschandreas y Shaughnessy 2010). Así mismo, hay*

investigaciones que indican que los ocupantes de los espacios con ventilación natural tienen menos síntomas del “Síndrome del Edificio Enfermo”<sup>1</sup> que los ocupantes de los espacios con aire acondicionado (Seppänen y Fisk 2002).

Según la Normatividad ASHRAE 62-1989 de Estados Unidos, la concentración de CO<sub>2</sub> en un edificio ocupado no debe exceder 1000 ppm (62-1989 1998).

### **Niveles y recomendaciones para CO<sub>2</sub>**

- 250 – 350 ppm – nivel de aire en ambiente (normal) exterior.
- 350– 1,000 ppm – nivel típico encontrado en espacios ocupados con buen intercambio de aire.
- 1,000 – 2,000 ppm – nivel asociado con quejas de somnolencia y aire viciado.
- 2,000 – 5,000 ppm – nivel asociado con neuralgias, somnolencia y aire estancado, viciado, enrarecido. Mala concentración, pérdida de atención, puede tener un aumento en la frecuencia cardíaca y náusea ligera.
- >5,000 ppm – la exposición puede llevar a una privación excesiva de oxígeno causando daño cerebral, coma y hasta la muerte.

Tabla 3. Niveles y recomendaciones para CO<sub>2</sub>

Tabla con información tomada de *Calidad del aire interior en edificios de uso público*, Morales Isabel Marta, 2010

## TEMPERATURA Y HUMEDAD

Se refiere a la percepción del medio ambiente circundante que se da principalmente a través de la piel, aunque en el intercambio térmico entre el cuerpo y el ambiente, los pulmones y el metabolismo intervienen de manera importante.

El confort térmico es probablemente el parámetro más importante y fácil de definir de IEQ; se basa en la adaptación térmica del ocupante individual que se correlaciona a factores como la ubicación geográfica y el clima, la época del año, el sexo, la raza y la edad (Quang, y otros 2014). Para que los ocupantes produzcan a su máxima capacidad, su espacio de trabajo debe ser térmicamente cómodo.

---

<sup>1</sup> Síndrome del Edificio Enfermo: Es un grupo de problemas de salud causados por el entorno interior. La temperatura y humedad incómodas, la contaminación química y biológica, la condición física y el estado psicosocial son algunos de los factores identificados como causas principales de dicho síndrome. Los síntomas que experimentan las personas incluyen irritación de los ojos, la nariz y la garganta, dolor de cabeza, tos, trastornos cognitivos, depresión sensibilidad a la luz, entre otros.

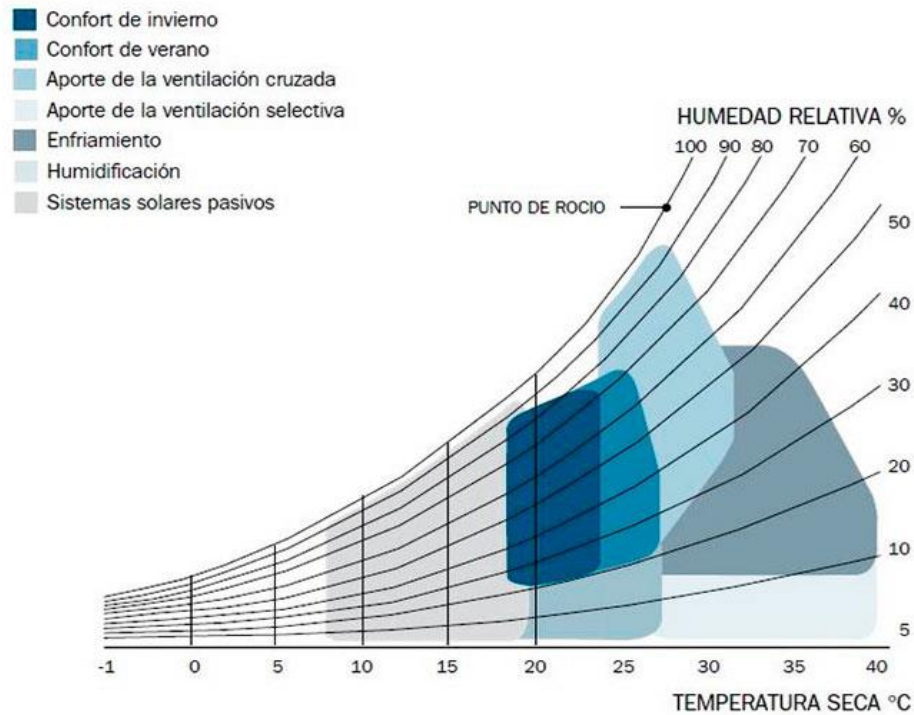
*El confort térmico depende, tanto del calor producido por el cuerpo, como del intercambio entre este y el medio ambiente. Para determinarlo, se deben considerar diferentes factores:*

- *Temperatura del aire.*
- *Humedad del aire.*
- *Temperatura de envolventes y objetos.*
- *Velocidad del aire.*
- *Actividad física.*
- *Tipo de vestido.*

*Las condiciones termohigrométricas, son las condiciones físicas ambientales de temperatura, humedad y ventilación, en las que desarrollamos nuestras actividades. Todo tipo de trabajo físico genera calor en el cuerpo, por esta razón, el hombre posee un sistema de autorregulación para que, de esta manera, sea capaz de mantener una temperatura constante, alrededor de los 37 °C (Laborales 2008).*

*Las malas condiciones termohigrométricas pueden causar efectos negativos en los usuarios, como lo son la mala productividad y el bajo rendimiento en un espacio de trabajo, así como efectos en la salud, que varían según la capacidad de cada persona.*

*En el diagrama de B. Givoni, la zona de confort está limitada por los 22°C, entre el 20% y el 70% de humedad relativa y una línea quebrada corresponde a los 27°C, entre el 20% y el 50% de humedad, y entre este último punto y el punto definido por 25.5°C y 70% de humedad.*



Gráfica 2. Diagrama de B. Givone para el confort

Imagen tomada del sitio:

<https://www.google.com/search?tbm=isch&q=confort+de+givoni&spell=1&sa=X&ved=0ahUKEwjO1rq8tYbnAhVQeawKHbRUDgcQBQhLKA&biw=1192&bih=967&dp=0.94#imgc=KeXHyUqNUWrOyM>

Según algunos artículos recientes, se ha encontrado que existe una muy cercana relación entre los factores térmicos (temperatura y humedad) y el rendimiento que los estudiantes pueden tener en sus estudios, de manera que buenas condiciones térmicas puede llegar a mejorar la calidad en los estudios (Pistore, y otros 2015).

## 3.2 FACTORES QUÍMICOS

Se consideran agentes químicos aquellas sustancias orgánicas o inorgánicas, naturales o sintéticas y carentes de vida propia que, estando presentes en el medio laboral, puedan ser absorbidas por el organismo y causar efectos adversos a las personas expuestas (Balears 2003).

Atendiendo a su forma molecular los agentes químicos se pueden clasificar en:

- **GASES:** Son fluidos amorfos que ocupan el espacio que los contiene.
- **VAPORES:** Proceden de un proceso de evaporación y, en condiciones normales de presión y temperatura, coexisten con la fase líquida.
- **AEROSOLES:** son dispersiones de partículas sólidas o líquidas en un medio gaseoso (aire).

La cantidad de producto absorbido por el organismo se denomina dosis. En las exposiciones laborales se utiliza:

$$\text{Dosis Via Inhalatoria} = \text{Concentración Ambiental Contaminante} \times \text{Tiempo Exposición}$$

Otro aspecto importante que considerar en los agentes químicos es el concepto de acumulación. Cuando un contaminante químico es absorbido a mayor velocidad que es eliminado por el organismo, se produce una acumulación del contaminante en uno o varios órganos o tejidos del organismo.

Ejemplos de contaminantes habituales en algunos procesos industriales:

PROCESO	CONTAMINANTES
Carpintería	Polvo de madera
Deengrasado	Vapores de tolueno, xileno, tricloroetileno, etc.
Cromado electrónico	Aerosoles ácido crómico
Decapado ácido nítrico	Humos óxido nitrógeno, nieblas ácido nítrico
Soldadura eléctrica arco	Humos de los metales: Fe, Mn, Cu, etc.

Tabla 4: Contaminantes químicos  
Tabla elaborada por el autor

### 3.3 FACTORES BIOLÓGICOS

Un agente biológico es un agente vivo microscópico presente en el ambiente que puede producir enfermedades comunes o de las consideradas como profesionales. Los microorganismos son los contaminantes biológicamente activos, y constituyen un grupo amplio y diverso de organismos que existen como células aisladas o agrupadas. En este aspecto las células microbianas se diferencian de las células de los animales y las plantas, ya que las segundas son incapaces de vivir de forma aislada en la naturaleza y sólo pueden existir como parte de organismos pluricelulares. Los cuatro microorganismos que pueden interactuar con los seres humanos son las bacterias, los hongos, los virus y los protozoos.

Según el riesgo de infección que generan para las personas expuestas, los agentes biológicos se clasifican en cuatro grandes grupos:

- Grupo 1. Agente biológico que difícilmente puede causar enfermedades en el hombre.
- Grupo 2. Agente biológico patógeno (causante de enfermedad), que puede causar enfermedad al hombre, pero que difícilmente se puede propagar a la colectividad, existen profilaxis o tratamientos eficaces.
- Grupo 3. Agente biológico patógeno que puede causar enfermedad grave al hombre, con riesgo a que se propague a la colectividad; existen profilaxis o tratamientos eficaces.
- Grupo 4. Agente biológico patógeno que causa enfermedad grave en el hombre; existen muchas posibilidades de que se propague a la colectividad; no existen, generalmente, una profilaxis o tratamiento eficaces.

El peligro de un agente biológico está determinado por su capacidad de producir una enfermedad o posibilidad de contagio y la existencia de tratamiento eficaz. El grupo de peligrosidad de un agente aumenta, en consecuencia, con el número del grupo al que pertenezca, desde el 1, en el que se encuentran aquellos agentes que muy difícilmente pueden

*causar enfermedades al hombre, hasta el 4, en el que se encuentran los más peligrosos. Está prevista la elaboración por parte de la CEE de una lista de los nombres de los agentes biológicos separados por categorías (parásitos, hongos, virus, bacterias y similares), con el número del grupo al que pertenece cada uno y la indicación de posibles efectos alérgicos en aquellos que los presenten.*





# 04 EVALUACIÓN DE ESPACIOS



## 4.1 CERTIFICACIONES

Actualmente existen programas de certificación de espacios, en donde se evalúan variables tales como agua, aire, alimento, luz, confort, entre otros, centrada específicamente en la salud y bienestar del ser humano. Ciertas normas se centran en la relación entre el edificio y el medio ambiente, y algunas otras se enfocan en la relación del edificio y sus ocupantes. También, ya existen investigaciones del rendimiento energético en relación con la calidad del ambiente interior (Asmar, Chokor y Srouf 2014). Así mismo, se ha visto una tendencia en el diseño de edificios que enfatiza el bajo consumo de energía y la reducción del impacto que los edificios tienen en el medio ambiente (Baleta, y otros 2019) (Ingrao, y otros 2018) (Naidoo y Gasparatos 2018).

En los últimos años se ha intensificado la búsqueda de una certificación en las edificaciones. Entre los esquemas de certificación a nivel internacional están: Code for Sustainable Homes de Reino Unido, EnerGuide for Houses de Canada, House Energy Rating/Green Star de Australia, Haute Qualité Environnementale de Francia, Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency (CASBEE) de Japón, Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (BREEAM) de Reino Unido, y The Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) de Estados Unidos; siendo estos últimos la base para la creación de algunos sistemas, pero con particularidades de acuerdo a su región. En el Cuadro 1, se hace una breve explicación de algunos de esos sistemas de certificación. Inicialmente los sistemas tenían un carácter nacional, pero gracias a la internacionalización del sistema LEED (uno de los más relevantes por su influencia e implementación en nuestro país), muchos otros también han extendido sus alcances geográficos, como el programa GREENBUILDING formado en el 2004 por la Comisión Europea.

Nombre de certificación	Institución responsable	Esquemas de validación / Tipos de edificios evaluados	Criterios generales de certificación	Niveles de certificación	Alcance
HQE. Haute Qualité Environnementale	ASSO HQE. (Asociación Francesa para la Alta Calidad del Medio Ambiente)	Edificios nuevos y edificios existentes en las modalidades comercial, residencial individual y colectivo	4 temas: construcción, medio ambiente gestión, confort y salud. Gestión de impactos al ambiente exterior (relación armoniosa con el ambiente inmediato, elección integrada de los métodos de construcción y materiales, evitar molestias a los alrededores, minimización de la necesidad de mantenimiento y reparos. Creación de un ambiente interno agradable (medidas de control hidrotérmico, medidas de control acústico, atractivo visual, medidas de control de olores, higiene, limpieza de los espacios internos, control de la calidad del aire, control de la calidad del agua)	-Base (de acuerdo con la regulación). -Eficiente (buenas prácticas). -Muy eficiente (mejor práctica).	Francia, también Bélgica, Túnez y Luxemburgo.
DGNB. Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen	German Sustainable Building Council (Asociación Alemana de la Construcción Sostenible). Con apoyo del Ministerio Alemán de Construcción y Urbanismo	Sistema flexible, valida diversos tipos de edificios	Aspectos ecológicos, económicos, socioculturales y funcionales, la tecnología, los procesos y el local. Cada campo es validado con criterios específicos que pueden ser diseñados y pesados de manera distinta según el perfil de ocupación. Cada campo es validado durante todo el ciclo de vida del edificio. La validación se concentra en las metas, y no en las acciones individuales.	Por cumplimiento de porcentaje: -Oro (80%) -Plata (65%) -Bronce (50%)	Alemania
CASBEE. Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency	El JSBC (Consorcio de Construcción Sostenible Japonés)	-CASBEE para pre-proyecto. -CASBEE para nuevas construcciones. -CASBEE para edificios existentes. -CASBEE para reformas. Edificios de oficinas, escuelas, vivienda, etc.	Q (calidad). Construyendo calidad ambiental y desempeño: valida la mejora en la calidad de vida de los usuarios del edificio, dentro del espacio cerrado hipotético (propiedad privada). L (cargas). Construyendo cargas ambientales: valida los impactos ambientales negativos que van más allá del espacio hipotético cerrado para el exterior (la propiedad pública). Hay cuatro campos de investigación: -Eficiencia energética. - Eficiencia de recursos. - Ambiente local. - Ambiente interno.	-Clase C (bajo) -Clase B- -Clase B+ -Clase A -Clase S (excelente)	Japón y Asia
GREEN GLOBES. Se basa en el BREEAM	-Green Building Initiative (USA) -BOMA (Asociación de Propietarios y Administradores de Edificios de Canadá) -SCD Jones Lang LaSalle	Proyectos de nuevos edificios o de reformas significativas. Gestión de operación de edificios existentes. Gestión de emergencia en edificios; inteligencia del edificio	Gestión, local, energía, agua, recursos, emisiones, ambiente interno	Escala de hasta 4 globos en los Estados Unidos y de hasta 5 globos en la versión Canadiense	Estados Unidos y Canadá
Green Star	GBCA Green Building Council Australia. Basado en el LEED y en el BREEAM	Green Star - Educación Green Star - Salud Green Star - Industrial Green Star - Residencial Múltiples Unidades Green Star - Oficinas Green Star - Interiores de Oficinas Green Star - Comercio Green Star - Proyecto de Oficina Green Star - Oficina Construida	Gestión; Calidad Ambiental Interna; Energía; Transporte; Agua; Materiales; Utilización del Suelo y Ecología; Emisiones; Innovación. Cada una de las categorías es adaptada de acuerdo con la región del país para responder a las condiciones locales específicas.	4 Star Green Star Certified Rating (4 estrellas 45-59 puntos). 5 Star Green Star Certified Rating (5 estrellas 60-74 puntos). 6 Star Green Star Certified Rating (6 estrellas 75-100 puntos).	Australia, Sudáfrica y Nueva Zelanda

Tabla 5. Certificaciones

Fuente: Vallejo Aguirre Victor Manuel, "Las diversas certificaciones aplicables a los edificios sustentables en México", México, 2014.

*CAI es una de las categorías que estos estándares reconocen, sin embargo, los investigadores descubrieron que la satisfacción de los ocupantes no aumentó con los créditos otorgados a ciertos parámetros de CAI (Altomonte, y otros 2017).*

*Desde hace poco más de 20 años y con la aprobación de la Agenda XXI en la primera Cumbre de la Tierra para el Desarrollo Sostenible conocida como Rio 92, en algunos países se inició la implantación de sistemas con estándares técnicos (sin carácter obligatorio) que sirvieran como esquema de certificación para edificios sustentables. El primero de ellos fue el Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (BREEAM) en Reino Unido en 1990; mientras que, en 1994, David Gottfried dentro de un grupo de empresas privadas fundaron en San Francisco, Estados Unidos el U.S. Green Building Council, desarrollador de LEED® (Leadership in Energy and Environmental Design).*

*Un edificio sustentable (green building en inglés), o “edificio verde”, se refiere a la utilización de prácticas y materiales respetuosos del medio ambiente (con ventaja ambiental o ambientalmente preferibles) en la planeación, diseño, ubicación, construcción, operación y demolición de edificaciones. El término se aplica tanto a la renovación y reacondicionamiento de inmuebles preexistentes como a la construcción de nuevos edificios, sean habitacionales o comerciales, públicos o privados.*

*La certificación en edificios sustentables es un procedimiento o sistema de evaluación por el cual se acredita que una edificación se ajusta a los lineamientos o estándares de los organismos certificadores, basado en el análisis parcial del ciclo de vida y análisis de desempeño del edificio. La certificación otorga una categoría o nivel al alcanzar cierto puntaje según la escala y conceptos a aprobar de cada sistema. Los conceptos o ítems van de acuerdo con el uso del edificio (vivienda, comercial, salud o educación). La certificación es un proceso al cual se ingresa de manera voluntaria, y que le otorga un valor agregado a una edificación, convirtiéndola en sustentable, eficiente y “verde”.*

*Sin embargo, no existe un manual específico para la certificación de espacios educativos en cuanto a factores como lo son la iluminación, temperatura, calidad del aire y el ruido, que*

*puedan definir si los espacios son aptos para la enseñanza, o si se debería considerar una intervención en él, puntualizando los aspectos que se necesitan corregir.*

*Se han realizado diversos artículos donde en los resultados de los experimentos se muestra que la calidad del ambiente interior tiene una estrecha relación con el rendimiento y el absentismo de los estudiantes (Haverinen-Shaughnessy, y otros 2014).*

## CERTIFICACIÓN WELL

*El International Well Building Institute con su piloto WELL V1 y WELL V2 es actualmente el que más itera y apunta a lograr la satisfacción y el bienestar de los ocupantes, al tiempo que cumple con todos los criterios estándar, pero las pruebas para probar las afirmaciones estándar no se han realizado.*

*El Estándar de Construcción WELL o Certificación WELL es el encargado de conjugar las prácticas en diseño y construcción con la materia de salud y bienestar de los ocupantes de un edificio. De esta manera, es capaz de analizar la salud, bienestar y confort de los seres humanos.*

*Esta certificación, analiza los espacios desde el punto de vista de los usuarios, para que pueda generar una calidad de ambiente interior que permita mejorar la producción en el trabajo, así como minimizar el absentismo laboral mediante la nutrición, la forma física, el estado de ánimo, los patrones de sueño y el desempeño de sus ocupantes. Esto se logra implementando tecnologías diseñadas para fomentar un estilo de vida mucho más saludable y reduciendo la exposición de los habitantes a compuestos volátiles.*

*El estándar de Construcción WELL v1.0 se lanzó en octubre de 2014 (Institute 2014) y como parte del proceso de desarrollo, entre las opciones mejoradas incorporadas al estándar podemos mencionar los primeros comentarios de los usuarios, incluidas simplificaciones, mejoras en la redacción y aclaraciones adicionales con respecto de ciertos requisitos de las características.*

*Las opciones mejoradas están clasificadas en cuatro categorías: 1) la organización de requisitos enfocados en lograr una mejor funcionalidad; 2) la simplificación en función de los comentarios de los usuarios, que incluyen opciones adicionales para proporcionar una mayor*

flexibilidad y así cumplir con los requisitos de las características; 3) el agregado de nuevos requisitos al estándar para fortalecer el sistema; y 4) la clarificación o ajustes menores para mejorar la redacción.

Como parte de las mejoras, se renombraron las tipologías WELL:

- "Nueva construcción" (New Construction) pasó a llamarse "Edificios nuevos y existentes" (New and Existing Buildings).
- "Mejora del inquilino" (Tenant Improvement) pasó a llamarse "Interiores nuevos y existentes" (New and Existing Interiors).
- "Verificación del desempeño" (Performance Verification), anteriormente "Comisionamiento WELL" (WELL Commissioning), diferencia al programa WELL de otros y mediante pruebas in situ garantiza el cumplimiento de los requisitos de salud y bienestar según WELL.

La Certificación WELL está organizado en siete categorías de bien estar denominados "conceptos"<sup>2</sup>:

- La implementación de criterios relacionados con la calidad del aire interior (AIR).
- Las exigencias y controles relativos a la calidad del agua interior (WATER).
- La importancia y el control de diversos aspectos relacionados con la alimentación de los usuarios (NOURISHMENT).
- Las exigencias relativas a la iluminación de los espacios (LIGHT).
- El control y seguimiento de los criterios relacionados con el ejercicio físico de los ocupantes (FITNESS).
- Las exigencias relativas al confort de los usuarios (COMFORT).
- La importancia de la gestión y seguimiento de aspectos relacionados con la mente o estado de ánimo (MIND).

Los siete conceptos están conformados por 102 características. Cada característica está destinada a abordar aspectos específicos de la salud, el confort y los conocimientos de los

---

<sup>2</sup> International WELL Buildin Institute, "El WELL Building Standard", Septiembre de 2015.

ocupantes. Cada característica se divide en partes, que a menudo se ajustan a un tipo específico de edificio. Esto significa que, en función del tipo de edificio (por ejemplo, interiores nuevos y existentes o núcleo y envolvente), es posible que se apliquen solo ciertas partes de una característica en particular. Cada parte tiene uno o más requisitos que determinan los parámetros o las métricas específicas que se deben cumplir. Para que un proyecto reciba puntos por una característica en particular, deberá satisfacer todas las especificaciones aplicables a sus componentes.

*Las características pueden ser:*

- *Estándares basados en el desempeño que ofrezcan la flexibilidad para que un proyecto pueda cumplir con los umbrales cuantificados aceptables.*
- *Estándares obligatorios que requieren la implementación de tecnologías, estrategias o protocolos de diseño específicos.*

*Actualmente, la Certificación WELL sólo es aplicable para edificios de oficinas institucionales y comerciales, sin embargo, ya están en existencia algunos programas pilotos para diversas construcciones, entre ellas, las instituciones educativas.*

*Los lugares de enseñanza, incluidas las escuelas primarias, secundarias, preparatorias y los centros de educación superior, deben satisfacer las necesidades de los profesores y estudiantes de todas las edades. Instalaciones educativas aplica a los proyectos en los que se emplea personal dedicado a la enseñanza y en los que los estudiantes pueden ser de cualquier edad; los cursos pueden cubrir cualquier variedad de temas y las instalaciones pueden ser tipificadas por días totalmente programados o por clases definidas en las que los alumnos se inscriben a voluntad.*

*De las certificaciones existentes actualmente, la Certificación WELL es de las pocas certificaciones que no se basan sólo en el consumo de ciertas energías, es decir, no se basa en la sustentabilidad o rendimiento de los edificios. Además de evaluar todos estos aspectos, el objetivo de esta certificación es la de evaluar la salud y el rendimiento de los ocupantes de los espacios.*



*Es por esta razón que, para esta investigación, la Certificación WELL será la que se tomará como base para el objetivo, que es evaluar espacios educativos, no sólo en el aspecto de medir las variables estudiadas, sino también de poder determinar la percepción que tienen los ocupantes, así como el aumento o disminución que éstas variables pueden ocasionar en el rendimiento de los usuarios.*

## CERTIFICACIÓN WELL EN ESPACIOS EDUCATIVOS

*Es importante que los entornos escolares se diseñen y construyan de forma que conduzcan al enfoque, la creatividad, el pensamiento crítico y la socialización. Las escuelas representan más que solo un centro para enseñar los conceptos básicos de lectura, escritura y aritmética: son lugares que finalmente nos enseñan cómo interactuar con otros como seres sociales prósperos y cómo ser miembros independientes y responsables de la sociedad.*

*Las escuelas pueden albergar a los estudiantes durante varias horas casi todos los días, y el entorno escolar debe adaptarse a una serie de diferentes tipos de funciones y contextos, manteniendo a sus ocupantes seguros, saludables y felices.*

*El Anexo piloto amplía el Estándar de construcción WELL para incluir disposiciones que aborden específicamente estas responsabilidades de los edificios escolares. El objetivo de este estándar es garantizar que nuestros centros de aprendizaje sean tan saludables y aptos para el aprendizaje como sea posible, para todos los grupos de edad.*

*Ciertas partes de este estándar piloto se aplican solo a algunos grupos de edad, definidos de la siguiente manera:*

- *Educación temprana: prejardín de infantes y jardín de infantes*
- *Escuela primaria: grados 1 - 5 (inclusive)*
- *Escuela intermedia: grados 6 - 8 (inclusive)*
- *Escuela secundaria: grados 9-12 (inclusive)*
- *Educación de adultos: nivel universitario / universitario y otras instituciones que atienden principalmente a estudiantes adultos*

*El Estándar Piloto de Instalaciones Educativas usa las agrupaciones anteriores como abreviatura para facilitar la referencia a requisitos específicos por edad.*

*Son muchos los factores del entorno físico que tienen un impacto significativo en la salud y la productividad del día a día, pero a menudo lo que más importa es la interacción entre múltiples factores ambientales. Un creciente número de investigaciones respalda estas afirmaciones, pero poco se ha hecho para llevarlo a la práctica. Por lo tanto, el WELL Building Standard se basa en diversas disciplinas de estudio científico y presenta un enfoque integrado que reinventa el ambiente construido en torno a sus ocupantes, transformando los lugares en que vivimos, trabajamos y aprendemos en sistemas destinados a promover y mejorar la salud y el bienestar humano.*

## 4.2 *NORMATIVIDAD*

*Actualmente existen algunas normas internacionales que hablan acerca de las condiciones ambientales interiores que se tendrían que cumplir, que, aunque ya tienen algunos años abiertas al público, en México ninguna de ellas son obligatorias, por lo que difícilmente se cumplen en cualquier espacio interior.*

*Así mismo, existen normas mexicanas, pero no se encuentran las cinco variables consideradas en los factores físicos de la CAI (temperatura, humedad, calidad del aire, iluminación y ruido) incluidas en una sola. Además, estas normas tampoco son obligatorias.*

### *DISEÑO AMBIENTAL DEL EDIFICIO – AMBIENTE INTERIOR – PRINCIPIOS GENERALES ISO 16813:2006*

*Establece los principios generales de diseño del entorno de construcción teniendo en cuenta el ambiente interior saludable para los ocupantes y la protección del medioambiente para las generaciones futuras (1. ISO 2006). ISO16813: 2006 promueve un enfoque en el que las distintas partes involucradas en la construcción del diseño ambiental colaboran entre sí para proporcionar un entorno de construcción sostenible.*

*Las características únicas del proceso de diseño están articuladas por los siguientes objetivos:*

- *Proporcionar las restricciones relativas a cuestiones de sostenibilidad desde la etapa inicial del proceso de diseño, incluido el ciclo de vida de la construcción y la planta, junto con los costos de posesión y operación que deben considerarse en todas las etapas del proceso de diseño;*
- *Evaluar el diseño propuesto con criterios racionales para la calidad del aire interior, el confort térmico, la comodidad acústica, el confort visual, la eficiencia energética y los controles del sistema HVAC en cada etapa del proceso de diseño;*
- *Para hacer iteraciones entre decisiones y evaluaciones del diseño a lo largo del proceso de diseño.*

*ISO16813: 2006 es aplicable al diseño del entorno de construcción para la construcción nueva y la modificación de los edificios existentes.*

## *DESEMPEÑO ENERGÉTICO EN LOS EDIFICIOS – CALIDAD DEL AMBIENTE INTERIOR ISO 17772-1: 2017*

*El consumo de energía de los edificios depende significativamente de los criterios utilizados para el diseño y la operación del entorno interior (calefacción, refrigeración, ventilación e iluminación) y del edificio (incluidos los sistemas). El ambiente interior también afecta la salud, la productividad y la comodidad de los ocupantes. Estudios recientes han demostrado que los costos del entorno deficiente de interiores para el empleador, el propietario del edificio y para la sociedad, en general, son a menudo considerablemente más altos que el costo de la energía utilizada en el mismo edificio.*

*También se ha demostrado que una buena calidad ambiental en el interior puede mejorar el rendimiento general del trabajo y del aprendizaje y reducir el absentismo. Además, es probable que los ocupantes incómodos tomen medidas para ponerse cómodos, lo que puede tener implicaciones energéticas. Por lo tanto, existe una necesidad de especificar criterios del*

entorno interior para el diseño y los cálculos de energía para edificios y sistemas de servicios de construcción.

Existen otras normas nacionales e internacionales, e informes técnicos, que especifican los criterios de confort térmico (7. ISO s.f.). Estos documentos se basan en diferentes tipos y categorías de criterios, que pueden tener una influencia significativa en la demanda de energía. Para los criterios de entorno térmico en la temporada de calefacción (frío/invierno) y la temporada de enfriamiento (cálido/verano) se enumeran. Estos criterios son, sin embargo, principalmente para el dimensionamiento de sistemas de construcción, calefacción, refrigeración y ventilación. No pueden usarse directamente para cálculos de energía y evaluación durante todo el año del ambiente térmico interior. Los estudios han demostrado que las expectativas de los ocupantes en edificios ventilados naturales pueden diferir de los edificios acondicionados, que serán parte de este documento.

Este documento especifica cómo se pueden establecer y usar los criterios de diseño para el dimensionamiento de los sistemas, así como los parámetros principales que se utilizarán como entrada para el cálculo de la energía del edificio y la evaluación a largo plazo del ambiente interior. Finalmente, identifica los parámetros que se utilizarán para supervisar y mostrar el entorno interior.

Se pueden usar diferentes categorías de criterios dependiendo del tipo de edificio, el tipo de ocupantes, el tipo de clima y las diferencias nacionales. Este documento especifica varias categorías diferentes de ambiente interior que podrían seleccionarse para el espacio que se acondicionará. Estas diferentes categorías están destinadas a ser utilizadas para el diseño y también pueden usarse para realizar una evaluación general anual del ambiente interior evaluando el porcentaje de tiempo en cada categoría. El diseñador también puede seleccionar otras categorías usando los principios de este documento.

## EDIFICACIÓN SUSTENTABLE – CRITERIOS Y REQUERIMIENTOS AMBIENTALES MÍNIMOS NMX-AA-164-SCFI-2013

*Es una norma mexicana de aplicación nacional voluntaria que especifica los criterios y requerimientos ambientales mínimos de una edificación sustentable.*

*Tiene la finalidad de contribuir en la mitigación del impacto ambiental y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, sin descuidar los aspectos socioeconómicos que aseguran su viabilidad e integridad al entorno urbano y natural; lo que significa que se busca una congruencia con el estilo de vida y el regionalismo de México.*

*Dicha norma, en comparación con otras certificaciones internacionales, incluye el concepto de confort, que es indispensable para la habitabilidad de una edificación.*

*Si bien la norma da más posibilidades a los edificios nuevos que a los ya existentes, éstos no se excluyen, pues la idea es contribuir en la mejora de cualquier inmueble*

### 4.3 HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS DE EVALUACIÓN

*Las cuestiones de eficiencia y productividad son el subtexto habitual de los estudios de evaluación posteriores a la ocupación de rendimiento del edificio. Dado un resumen de diseño que debe indicar cómo se pretende que funcione un edificio en la práctica, ¿qué tan bien funciona realmente? Hay al menos tres perspectivas:*

- *Ocupantes y qué tan bien se satisfacen sus necesidades.*
- *El desempeño ambiental, normalmente energía y eficiencia de agua.*
- *Si el edificio tiene sentido desde el punto de vista económico, como la relación calidad, precio o el rendimiento de la inversión.*

*Sorprendentemente, casi ningún edificio moderno funciona bien en las tres categorías, de hecho, su mal funcionamiento ha hecho que las personas se avergüencen hasta de publicar los resultados. Es así como podemos ver que los diseñadores no aprenden de los errores del*

*pasado, y los gerentes y otros encargados de edificios involuntariamente ayudan a perpetuar los mismos errores porque no conocen nada mejor. Por lo tanto, aunque el objetivo a menudo es mejorar la eficiencia y la productividad, el efecto puede ser fácilmente el opuesto; dondequiera que se mire en los estudios de construcción de rendimiento, uno tiende a ver el nivel bajo del mismo. Esto no se debe a que los investigadores sean demasiado pesimistas, sino porque esto es lo que encuentran en la realidad. Por supuesto, hay excepciones, ejemplos sobresalientes, pero generalmente no se sabe cuáles son porque los edificios no son monitoreados rutinariamente, por lo que los casos buenos pasan desapercibidos.*

## **BUILDING PERFORMANCE EVALUATION**

*El Building Performance Evaluation es el proceso de evaluar el rendimiento de un edificio.*

*La retroalimentación obtenida de los usuarios/ocupantes se convierte en el conjunto de datos principales para evaluar el rendimiento de cualquier instalación construida. Cumplir con las necesidades, expectativas y aspiraciones de los usuarios son los principales objetivos de un proveedor de instalaciones (Gopikrishnan y Topkar 2015). Es necesario evaluar las instalaciones construidas con respecto al cumplimiento de las necesidades y expectativas del usuario, con el fin de obtener retroalimentación correcta.*

*Entre los diversos métodos que se utilizan para obtener comentarios de los usuarios, el cuestionario sigue siendo la herramienta principal y más comúnmente utilizada. La calidad de la retroalimentación y su posterior análisis dependen completamente de la solidez del cuestionario, que a su vez depende de su contenido. Tal instrumento de encuesta comprende preguntas enmarcadas en diferentes variables de una instalación construida. El propósito de la encuesta dicta la naturaleza de las preguntas y las variables sobre las cuales se recopilan los datos. Estas variables se pueden categorizar en variables funcionales, variables de mantenimiento y variables sociales.*

*Con el fin de obtener la retroalimentación correcta en los niveles de satisfacción con respecto a estas variables, es necesario contar con descriptores apropiados para su incorporación en un instrumento de encuesta. Aquí se identifican las variables que indican el*

rendimiento del edificio y proporciona una descripción simple en función de qué elementos se pueden generar para un cuestionario. Dichos elementos pueden permitir a cualquier usuario/ocupante comprender fácilmente las características de las variables y ofrecer una retroalimentación objetiva durante la encuesta.

**Tabla 1. Atributos para la evaluación del desempeño del edificio**

No.	Atributos	Aspectos/características
1	Condición física	Integridad del edificio, como grietas, fugas, filtraciones, humedad.
2	Espacio	Tamaño y organización de habitaciones, áreas comunes, espacios abiertos, etc.
3	Aire interior	Ventilación y aire acondicionado para confort térmico.
4	Iluminación	Para la adecuación y la comodidad visual.
5	Seguridad y protección	Contra incendios, relámpagos, accidentes, infecciones, insectos y nivel de crimen.
6	Accesibilidad	Conectividad, caminos internos, escaleras, elevadores, escaladores.
7	Aire, ruido y agua	Calidad del aire, agua y ruido.
8	Depósito de basura	Incluyendo recolección y disposición de basura.
9	Drenaje	Agua de lluvia, alcantarillado y aguas negras
10	Acabados	Acabados interiores y exteriores.
11	Comodidades	Agua potable, baños, suministro de agua y electricidad.
12	Estética	Incluyendo paisajismo, confort visual y confort psicológico.
13	Estacionamiento	Ubicación y adecuación.

*Tabla 6. Atributos para la evaluación del desempeño del edificio  
Tabla tomada del artículo Attributes and descriptors for building performance evaluation, Gopikrishnan, 2012*

Tabla 2. Características de iluminación y su descripción

Característica	Descripción
Uniformidad	Iluminado uniformemente para realizar las tareas y mejorar el rendimiento.
Destello	Tiene dispositivos de sombra adecuados para evitar el deslumbramiento.
Comodidad visual	No causa ninguna molestia visual como parpadeo, iluminación excesiva.
Seguridad	Promueve la seguridad de los ocupantes durante el movimiento.
Control	Tiene un control fácilmente accesible para iluminación natural y artificial.
Tipo de iluminación	Proporciona iluminación natural.
Apariencia	Mejora la apariencia del área.
Ver	Proporciona una opción para ver hacia fuera.
Efecto psicológico	Proporciona un efecto psicológico positivo en el ocupante.
Ahorro de energía	Facilita el ahorro de energía.

Tabla 7. Características de iluminación de iluminación y su descripción

Tabla tomada del artículo *Attributes and descriptors for building performance evaluation*, Gopikrishnan, 2012

Tabla 3. Características y descripción de seguridad y protección

No.	Característica	Descripción
1	Seguridad física	Brinda seguridad contra accidentes por caídas, tropiezos, etc.
2	Seguridad contra incendios	Con extintores adecuados, rociadores de agua, alarmas contra incendio, etc. Colocados en lugares prominentemente visibles para el acceso. Tiene letreros que indican la ubicación del equipo, salidas de incendio. Con pasajes y salidas de incendio libres de obstrucciones. Ventilación suficiente para evitar asfixia debido al humo durante el incendio. Con un suministro de agua adecuado para la lucha contra incendios.
3	Seguridad eléctrica	Contra accidentes eléctricos debido a accesorios flojos, cables, etc.
4	Desinsectación	Protege de los insectos en forma de mosquitos, fumigación, etc.
5	Seguridad ante desastres	Contra terremotos, inundaciones, relámpagos, etc.
6	Seguridad de estacionamiento	Brinda seguridad a los vehículos estacionados en el área de estacionamiento.
7	Seguridad	Contra el robo, la tasa de crimen, etc.

Tabla 8. Características y descripción de seguridad y protección

Tabla tomada del artículo *Attributes and descriptors for building performance evaluation*, Gopikrishnan, 2012



## EVALUACIÓN POST-OCUPACIONAL

*La evaluación post-ocupacional (POE) es un proceso de evaluación del rendimiento del edificio para sus usuarios y la función prevista durante la ocupación (Tookaloo y Smith 2015). La satisfacción del usuario afecta el rendimiento de los entornos educativos y sus usuarios: estudiantes, profesores y personal. Además, los edificios son mantenidos y administrados por equipos que gastan gran cantidad de tiempo y capital en su sustento a largo plazo. Al evaluar los comentarios de los usuarios de las instalaciones de educación superior, los departamentos de planificación universitaria estarán más preparados para comprender las aportaciones para la programación y la planificación futura del proyecto. Además, los edificios universitarios estarán más cerca de satisfacer las necesidades de usuarios y mantenimiento.*

*Este documento (la presente investigación) informa sobre el equipo de investigación formado por académicos, personal de instalaciones y usuarios que han desarrollado un plan para mejorar la calidad de las instalaciones del campus a través de un ejercicio POE en un proyecto recientemente construido. Este estudio utilizó un proceso de entrevistas de grupos focales que representan a los diferentes usuarios y una encuesta posterior. El documento demuestra tanto la teoría como la práctica de POE en la educación superior y el entorno de aprendizaje a través del ejemplo de caso del ejercicio POE de la Universidad de Utah.*

## USABILITY IN BUILDINGS

*La "usabilidad" está presente en todas las interacciones entre el usuario y el objeto. Además de un producto, para el entorno construido este concepto ha sido presentado a lo largo de la historia por diferentes clasificaciones, tales como cualidades arquitectónicas funcionales, técnicas, estéticas y económicas. La arquitectura expresa su condición tridimensional a través de la posibilidad del hombre de ingresar al interior y moverse para realizar actividades diarias. La ergonomía en la arquitectura surge por la posibilidad de conocer a los usuarios, sus aspectos biológicos, sociales y psicológicos, y contribuye a la planificación, diseño, evaluación de tareas, trabajos, productos, entornos y sistemas.*

En varias áreas del conocimiento, la "usabilidad" es un objeto de investigación, denominado "facilidad de uso" en respuesta a la trinidad "usuario - tarea - entorno físico". El concepto de "usabilidad de espacios arquitectónicos" en este documento se maneja como una construcción multidisciplinaria, realizado a través de la revisión de la literatura en "arquitectura, ergonomía, psicología ambiental, ingeniería, diseño de interiores, accesibilidad y diseño universal".

La usabilidad está presente en todo lo que requiere la interacción entre el usuario y el objeto, para adaptar proyectos y realizar ajustes, que pueden ser cualquier cosa, desde un sitio de Internet o el entorno construido ocupado por el ser humano. Sus raíces están en la ciencia cognitiva, la psicología y la ergonomía y el estudio de interacción humano-computadora.

En los '80, el término "usabilidad" reemplazó la expresión de "uso amigable" (Nielsen 2009) señala que "usabilidad y utilidad" son complementarios para componer la "calidad de uso" (Bevan 1995) define como "el nivel de intensidad más alto otorgado a un producto con respecto al usuario", cuyos atributos se pueden verificar en la etapa de proyecto, se resume como "la facilidad de uso de un producto en particular" o se define como " la medida en que un producto puede ser utilizado por usuarios específicos para alcanzar los objetivos específicos con eficacia, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso específico " (Jordan 2002).

Sin embargo, las investigaciones involucran principalmente entornos de trabajo, dimensiones de ingeniería de la información, diseño de interacción, evaluación de productos y análisis ergonómico (Afacan y Erburg 2009). Dada la falta de instrumentos de medición específicos, los nuevos preceptos de usabilidad podrían transportarse a la escala arquitectónica para adaptarse a él en respuesta a las necesidades y habilidades de los individuos (Alexander, y otros 2008) (Rasila, Roth y Kerosuo 2002) (Pfautz y Roth 2007).

## USABILIDAD Y ESPACIO ARQUITECTÓNICO: CONSTRUCCIÓN MULTIDISCIPLINARIA

El espacio es una de las propiedades arquitectónicas y el espacio arquitectónico expresa la condición de este espacio tridimensional, a través de la posibilidad del hombre de entrar y moverse en el interior (Michaelis s.f.).

*La calidad arquitectónica se presenta como integración entre la calidad funcional (organización espacial de las actividades) y la técnica, que trata de la regulación del clima (confort ambiental), la estética como una función simbólica asociada a la forma, integrando, la economía (Munter 2011). "Ambiente construido" se refiere al edificio o espacio público, revestidos o entorno al descubierto (Penna, y otros 2002) organizado y animado, constituyendo un tipo de estética y física, psicológica e informativo, diseñado para complacer, servir, proteger y unir a las personas en el ejercicio de sus actividades. La usabilidad en la arquitectura a menudo se entiende como la funcionalidad o la capacidad del edificio para llevar a cabo las tareas previstas para él, a su eficacia, utilidad práctica o valor para el usuario, teniendo en cuenta los recursos financieros disponibles.*

*Las encuestas recientes identificaron los factores, la experiencia de usuario cultural, situacional y contextual importante para basar la comprensión de la usabilidad del entorno construido. En esta perspectiva, la usabilidad espacial se vuelve más completa, para evaluar cómo las personas utilizan las funciones para satisfacer sus necesidades y sus experiencias (Clarkson, y otros 2007) añadiendo funcionalidad, limitaciones climáticas y tecnológicas, necesidades y expectativas simbólicas, estéticas y ergonómicas del usuario, los problemas económicos y los rendimientos de la inversión. Por lo tanto, la construcción de una imagen estática o constante del estudio de usabilidad del entorno construido sería imposible, lo que reafirma su alcance multidisciplinario.*

*Algunos aspectos específicos son del hombre y el entorno construido se han estructurado en el tiempo con diferentes nombres y metodologías, pero con objetivos comunes.*

## *PSICOLOGÍA AMBIENTAL*

*La psicología ambiental es la ciencia y la práctica que investiga las relaciones mutuas entre las personas y sus entornos físicos a nivel individual y de grupos pequeños. Examina procesos fundamentales como la percepción de paisajes y edificios, las cogniciones sobre el entorno y la cognición espacial, y la personalidad; procesos sociales como el espacio personal, el hacinamiento y los efectos de la alta densidad, la territorialidad y la privacidad; y el análisis de las transacciones humanas con el entorno construido y natural, incluida la arquitectura y la*

sostenibilidad. Dondequiera que haya gente, en el hogar, en las escuelas, en el trabajo, en los parques o en la calle, ellos y el entorno interactúan constantemente de manera positiva y negativa. Estas interacciones ocurren no solo en actitudes y emociones sino también en acciones y bienestar (Gifford 2012).

## 4.4 MÉTODOS DE EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AMBIENTE INTERIOR

Se han realizado diversos experimentos en donde se ha encontrado que existe una fuerte asociación entre la calidad del ambiente interior, y el rendimiento académico de los estudiantes, actuando de forma positiva o negativa según el caso, encontrando que, al tener una buena iluminación y una buena calidad de aire, se espera que el rendimiento de los alumnos aumente en un 2.9% (Haverinen-Shaughnessy, Moschandreas y Shaughnessy 2010).

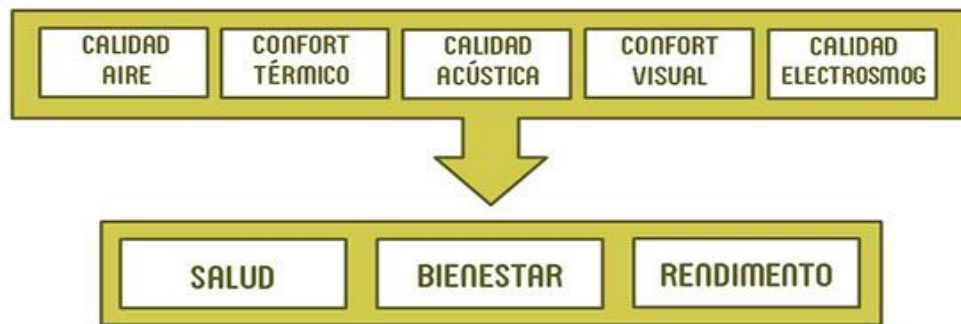


Imagen 2. Salud, bienestar y rendimiento

Imagen tomada del sitio:

[https://www.google.com/search?q=calidad+del+ambiente+interior&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjexfWj8oXnAhUQ2qwKHFzAmMQ\\_AUoAXoECA0QAw#imgrc=8xLYGVwPM\\_LRF8M](https://www.google.com/search?q=calidad+del+ambiente+interior&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjexfWj8oXnAhUQ2qwKHFzAmMQ_AUoAXoECA0QAw#imgrc=8xLYGVwPM_LRF8M)

Incluso, algunos estudios demuestran que, para estudiantes con déficit de atención y problemas de aprendizaje, son mayormente afectados al estar en ambientes de mala calidad del ambiente interior (Viilcekova, y otros 2017), tomando en cuenta la temperatura, humedad, iluminación, CO<sub>2</sub>, partículas volátiles y los niveles de ruido.

Así mismo, se ha demostrado que la calidad del ambiente interior puede causar algunas enfermedades en la salud. Para esto se realizaron encuestas en alumnos de una escuela en Finlandia, las cuales demostraron que, al hacer una mejora en las calidades ambientales, también mejoraron su salud (M, y otros 2013).

Otros experimentos se hicieron utilizando los dos métodos en conjunto. En una primera etapa se hizo la medición de las variables con equipo especial; en la segunda etapa, se realizaron encuestas para determinar el grado de confort de los usuarios

Así, podemos determinar que en los diversos experimentos que se han realizado hasta el día de hoy, para el análisis de un espacio no sólo educativo sino de cualquier tipo, lo primero es establecer un caso de estudio a analizar.

Ya que se ha determinado dicho espacio, se han utilizado tres diferentes metodologías para el análisis:

- El primero de ellos es a base de encuestas realizadas a los ocupantes del caso de estudio. Dichas encuestas se aplican no sólo a los estudiantes y a los docentes, sino a todos los usuarios que hagan uso y participen en las actividades de las instalaciones (Turunen, y otros 2013).

En estas encuestas, básicamente se le pregunta al usuario su nivel de confort respecto a cada una de las variables a estudiar. Es por esto que es indispensable la honestidad de las personas que intervengan en cada experimento.

Para éste primer método, se pueden realizar las encuestas en una primera parte, con las condiciones reales del espacio, y en una segunda parte modificando algunas variables que pudieran afectar de manera positiva o negativa el lugar a estudiar (número de ocupantes, abrir o cerrar ventanas, agregar bloqueadores del sol, entre otros).

- El segundo método, es a base de mediciones realizadas en el caso de estudio. Para esto es muy importante, antes de empezar el experimento, determinar los instrumentos apropiados para la medición de cada variable.

Así mismo, como en el caso anterior, es indispensable determinar, de qué manera se pueden alterar las condiciones del espacio (cantidad de personas, niveles de ventilación, uso de aparatos electrónicos, entre otros), para que este método se

realice del mismo modo en dos diferentes etapas, y se puedan definir de qué manera afecta cada una de las variables determinadas.

Debido a que en este método se realizan sólo mediciones, en las investigaciones ya realizadas no se puede llegar a determinar si los resultados están afectando la percepción del usuario respecto al espacio, pues no se tiene contacto con él (Huizenga, Abbaszadeh, y otros, *Air Quality and Thermal Comfort in Office Buildings: Results of a LArge indoor Environmental Quality Survey 2006*).

- Finalmente, el último método es a base de simulaciones por computadora. En este último caso, es importante identificar el programa que más nos convenga, sin embargo, debido a la cantidad de variables que se quieren analizar, puede ser que se necesite más de un programa para hacer una simulación lo más real posible.

Para este método, lo que es muy importante agregar en los modelos de 3d, son todos los materiales que conforman el espacio a estudiar. Del mismo modo, es importante agregar otros inmuebles o vegetación que se encuentre alrededor o cerca del estudiado y que puedan interferir en las condiciones interiores del espacio a analizar (sombra, microclima, entre otros).

Para este proyecto, se pretende utilizar el segundo método que se ha encontrado en experimentos anteriores. De manera que el primer paso será elegir el caso de estudio y con esto determinar los instrumentos a utilizar para la medición de cada variable.

Para poder evaluar el espacio, se tomará como base la certificación Well, y en específico la versión de certificación para escuelas. De esta manera se llegará a realizar una evaluación propia con los parámetros necesarios para la medición de variables.

An aerial, black and white photograph of a large, circular building with a central courtyard. The building's structure is composed of multiple curved, parallel walls that create a series of concentric paths and rooms. The central courtyard is a large, open space with a circular pattern on the ground. The overall design is symmetrical and radial.

05 DESARROLLO  
EXPERIMENTAL





## 5.1 ANÁLISIS DE SITIO

### CIUDAD UNIVERSITARIA

Conocida coloquialmente como C.U. es el conjunto de edificios y espacios que conforman el campus principal de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), ubicado en las cercanías del Pedregal de San Ángel, al sur de la Ciudad de México. El 28 de junio de 2007 fue declarada Patrimonio de la Humanidad por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization)

El anteproyecto arquitectónico originalmente contemplaba dividir el campus universitario en tres áreas:

- La primera, llamada Zona Escolar.
- La segunda zona estaría destinada a los campos deportivos de diversas disciplinas.
- Por último, la zona del Estadio Universitario, que en 1968 pasó a ser el Estadio Olímpico Universitario.

Aproximadamente un tercio del área de la Ciudad Universitaria está ocupado por una reserva ecológica: Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Esta protege un ecosistema de matorral xerófilo formado gracias a la erupción del volcán Xitle. En esta reserva se pueden encontrar una variedad bastante grande de diferentes animales incluyendo cacomixtles, tlacuaches, conejos castellanos y zorra gris (Hortelano-Moncada, Cervantes y Trejo 2009). También dentro de la reserva se encuentran varias esculturas que se integran al paisaje del pedregal y el jardín botánico de la UNAM.

## UNIDAD DE POSGRADO UNAM

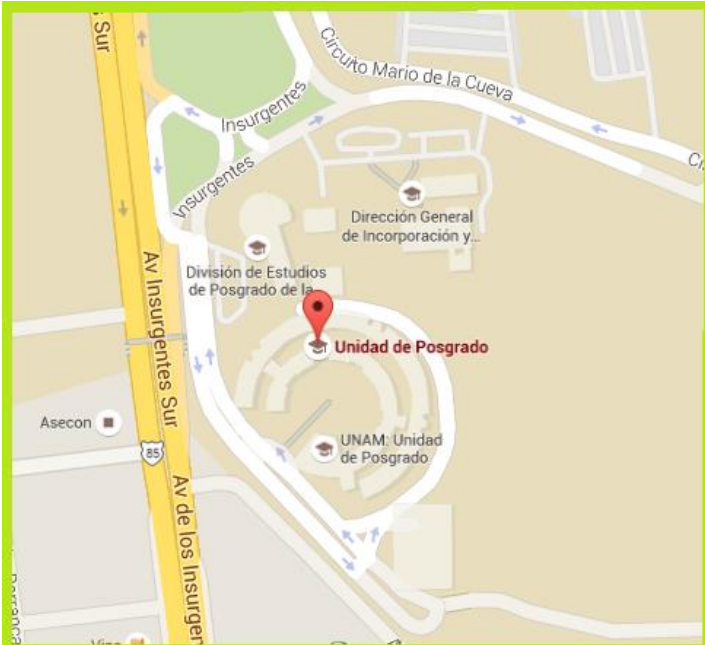


Imagen 3. Ubicación de la Unidad de Posgrado  
Imagen tomada de Google earth

Como se observa en la imagen, está ubicado en el circuito de los Posgrados s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México.

El ecosistema se originó aproximadamente en el año 280 d.C. debido a la erupción del volcán Xitle. La lava de este volcán cubrió 80 km<sup>2</sup>, destruyendo los ecosistemas existentes y dejando un área de roca basáltica sin vegetación (Hortelano-Moncada,

Cervantes y Trejo 2009). Con el paso del tiempo, la acumulación de capas de suelo permitió que se estableciera y creciera una gran diversidad de plantas, dando lugar a un nuevo ecosistema conocido como "matorral de palo loco" (Higuera y Pardo Molina 2009). Hasta mediados del siglo XX, este ecosistema permaneció intacto debido a que era de difícil acceso, pero a partir de entonces se empezó a fraccionar para construir casas dentro del derrame de lava, lo cual condujo a la destrucción de gran parte del mismo. Actualmente se pueden encontrar cerca de nueve afloramientos, relativamente grandes.

## TOPOGRAFÍA

La topografía es heterogénea por diversas razones, pero una peculiaridad es que al enfriarse la lava se formaron burbujas dentro de la roca que, con el tiempo y los cambios de temperatura se colapsaron creando cuevas, oquedades y grietas irregulares (Cano-Santana 1994). Estas irregularidades del terreno permitieron la formación de micro-ambientes que se diferencian por la cantidad de sueño, humedad y temperatura, cada uno con su propia diversidad.

## FLORA

La vegetación en la reserva tiene una estacionalidad muy marcada: una de secas (de noviembre a mayo, aproximadamente) y otra de lluvias (de junio a octubre). Durante la época lluviosa la vegetación es abundante, la mayoría de las plantas presentan frutos, vainas, drupas y sámaras. La vegetación va disminuyendo conforme avanzan los meses secos (Rzedowski 1994).

A pesar de que el área ocupada por la reserva es relativamente pequeña, hay una gran diversidad de plantas. Esto se debe a los micro-ambientes que se forman en la roca en donde se establecen y viven distintas especies. A la fecha se han reportado 377 especies de plantas con flor (Agüero, y otros 2009), 67 helechos y musgos (M. y Cárdenas S. 2009) y 30 de líquenes (Campos y Lücking 2009).

## FAUNA

### MAMÍFEROS

Se han reportado 30 especies de mamíferos. La mayoría de ellos son roedores y murciélagos (13 y 12 especies respectivamente). También hay cacomixtles, tlacuaches, conejos castellanos y zorra gris (Moncada, Cervantes y Trejo 2009) (P. López 2017). Además, viven especies introducidas como perros, gatos y ratas (Escobedo, y otros 2012).

### ANFIBIOS

Hay tres especies de anfibios asociados a los cuerpos de agua subterráneos y superficiales: una de salamandras y dos de ranas (una endémica).

### AVES

Se pueden observar hasta 138 especies de aves, de las cuales 64 (43%) son migratorias. La mayoría de estas aves se alimentan de insectos. Destacan algunas especies de colibríes y aves rapaces como el milano picogarfo (Castañeda y Currola Hidalgo 2009).

También se han registrado más de 50 especies de mariposas y arañas.

## RELIEVE

*El territorio es plano en lo general, y se encuentra a una altitud promedio de 2250 metros sobre el nivel del mar. Las irregularidades superficiales de los pedregales son resultado de las erupciones del volcán Xitle que cubrieron de basalto esa región en torno al primer siglo de la era común. Corresponde a la meseta basáltica o malpais de los pedregales.*

## HIDROGRAFÍA

*Forma parte de la subcuenca Texcoco-Zumpango de la cuenca del río Moctezuma, en la región hidrológica del río Pánuco.*

## 5.2 METODOLOGÍA

*Después de realizar el análisis de diferentes normas y certificaciones, para este proyecto se decidió tomar como parámetro lo descrito en la norma ISO 17772-1:2017, debido a que es la única norma que nos habla de los cinco factores físicos de una manera simultánea, además de que lo clasifica en diferentes espacios. Por tal motivo, el método que se decidió utilizar fue el explicado dentro de dicha norma, específicamente para aulas de clase.*

*Esta norma nos indica que, para analizar un espacio interior, se puede realizar mediante dos métodos diferentes: el primero es el de obtener los niveles de cada variable mediante un proceso de cálculos matemáticos. El segundo método es mediante la utilización de diferentes instrumentos de medición para calcular promedios de los valores de cada una de las variables a analizar. Para dicho proyecto se optó por seguir el segundo método debido a la existencia de equipo de medición dentro del laboratorio de tecnologías.*

*El proceso consiste en la medición dentro del caso de estudio de las variables que previamente se mencionó como las variables a analizar (temperatura, humedad, iluminación, calidad del aire CO<sub>2</sub> y ruido). Sin embargo, debido a que dentro de las especificaciones en la*

norma no se indica el tiempo ni el intervalo de mediciones, se determinó gracias al análisis de artículos previamente investigados.

Para el análisis de los resultados obtenidos, la norma nos indica que se dividirá en 4 categorías diferentes como lo muestra la siguiente tabla. Dichas categorías están relacionadas con el nivel de expectativa que los ocupantes podrían tener. Un nivel normal sería "medio", debido a que se puede seleccionar un nivel más alto para ocupantes con necesidades especiales como lo son niños, ancianos, discapacitados, entre otros. Ya que esta investigación se está realizando a nivel posgrado, se tomará en cuenta la categoría dos

Categoría	Nivel de expectativa
CAI I	Alto
CAI II	Medio
CAI III	Moderado
CAI IV	Bajo

Tabla 9. Categorías del nivel de expectativa  
 Tabla tomada del International standard ISO 17772-1, Energy performance buildings - Indoor environmental quality

En relación con lo anterior, se determinaron las categorías de cada una de las variables respecto a lo que la norma nos indica que deben cumplir para un aula de clases obteniendo los siguientes valores y especificando el valor deseado en cada una de ellas:

	Rangos de temperatura para época de calor Aproximadamente 1 clo	Rangos de temperatura para época de frío Aproximadamente 0.5 clo
I	21 – 23	23.5 – 25.5
II	20 – 24	23 – 26
III	19 – 25	22 – 27
IV	17 – 25	21 – 28

Tabla 10. Rangos de temperatura  
 Tabla tomada del International standard ISO 17772-1, Energy performance buildings - Indoor environmental quality

Categoría	Humedad relativa
I	30
II	25
III	20

Tabla 11. Rangos de humedad relativa  
Tabla tomada del International standard ISO 17772-1, Energy performance buildings - Indoor environmental quality

Categoría	Iluminación (lux)
I	500
II	300
III	200
IV	100

Tabla 12. Rangos de iluminación  
Tabla tomada del International standard ISO 17772-1, Energy performance buildings - Indoor environmental quality

Categoría	dBa
I	<30
II	<34
III	<38
IV	<45

Tabla 13. Rangos de ruido  
Tabla tomada del International standard ISO 17772-1, Energy performance buildings - Indoor environmental quality

Categoría	Concentración de CO2 al aire libre en PPM
I	550
II	800
III	1350
IV	1500

Tabla 14. Rangos de concentración de CO2  
Tabla tomada del International standard ISO 17772-1, Energy performance buildings - Indoor environmental quality

## 5.3 INSTRUMENTACIÓN

Para este proyecto se utilizaron 3 diferentes equipos:

**Sound Level Datalogger.** Instrumento que se utilizó para medir el ruido (dBA).



Imagen 4. Sound level datalogger  
Imagen tomada por el autor

**HOBO data logger.** Temp/RH/light/ext channel. Se utilizó para medir temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), humedad (%) e iluminación (lux).



Imagen 5. HOBO datalogger  
Imagen tomada por el autor

**HOBO MX CO<sub>2</sub> logger.** Utilizado para medir temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), humedad (%) y calidad del aire (ppm).



Imagen 6. HOBO MX CO<sub>2</sub> datalogger  
Imagen tomada por el autor

## CALIBRACIÓN

Debido a que los últimos dos instrumentos mencionados son de la misma marca, pero de diferente modelo, la calibración se hace de la misma manera, sin embargo, para el caso del sonómetro se hace de una forma distinta.

*A continuación, se explica brevemente la calibración para ambos casos:*

#### **SOUND LEVEL DATALOGGER**

*El registro de datos del nivel de sonido integrado requiere un calibrador acústico como el modelo 407766 o 407744 de Extech.*

- 1. Se debe configurar el medidor de la siguiente manera:*
  - Visualización: SPL (dBA) ponderación "A".*
  - Modo de ponderación de tiempo: RÁPIDO*
  - Modo de medición: INST*
- 2. Inserte el micrófono 407780 en la abertura del calibrador acústico.*
- 3. Ajuste el potenciómetro de calibración 407780 hasta que la pantalla 407780 coincida con la señal de salida del calibrador acústico (normalmente 94).*

*Cabe mencionar que el rango de error para las mediciones obtenidas con este aparato es de  $\pm 1.4$  dB*

#### **HOBOS WARE**

*La calibración desde el registrador con el botón de calibración, también llamado calibración automática, se utiliza para calibrar el umbral de ENCENDIDO y APAGADO del registrador para lograr lecturas confiables en un entorno donde se desconocen los niveles de luz o motor antes de la implementación o donde los niveles de luz del registrador es variable. En el proceso de autocalibración, el nivel de luz o el campo magnético de CA para un sensor de motor se mide mediante un convertidor analógico a digital incorporado y el valor resultante se utiliza para generar un umbral de calibración.*



El registrador tiene un nivel de histéresis<sup>3</sup> incorporado de aproximadamente 12.5% para el sensor de luz y 6.25% para que el sensor del motor evite que el sensor cambie entre ENCENDIDO y APAGADO cuando el nivel de señal está cerca del umbral de calibración. Esta gráfica muestra cómo el registrador maneja la histéresis. El registrador interpreta la señal como ENCENDIDA hasta que cae por debajo del nivel inferior del umbral de calibración. Una vez que se apaga, la señal no volverá a encenderse hasta que pase por alto el límite superior del nivel de calibración.

Así mismo, encontramos que el rango de error que se puede obtener al utilizar estos aparatos es respecto a la temperatura  $\pm 0.35$  °C, respecto a la humedad  $\pm 2.5$  %, y en cuanto a la calidad del aire  $\pm 50$  ppm

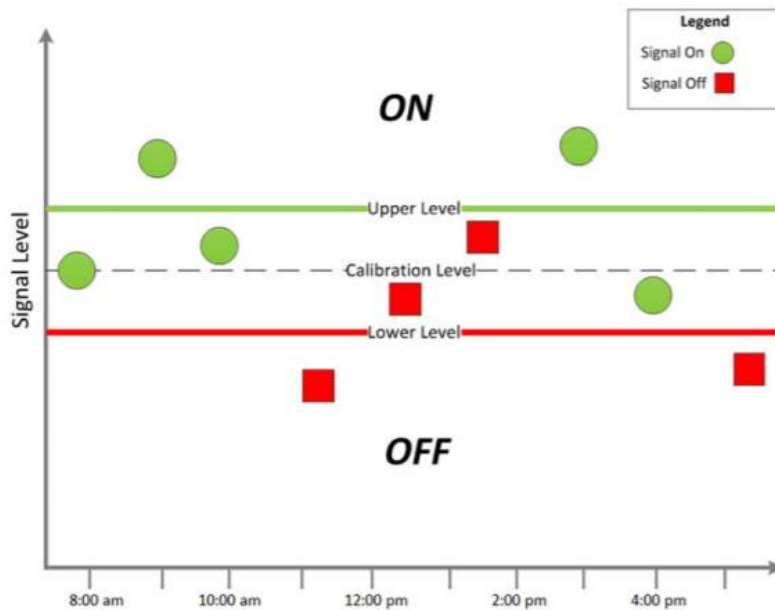


Imagen 7. Calibración de HOBO  
Imagen tomada de la ficha técnica de HOBO daralogger

---

<sup>3</sup> Es la tendencia de un material a conservar una de sus propiedades, en ausencia del estímulo que la ha generado.

## PROGRAMACIÓN

Una vez calibrados los 3 instrumentos que se utilizarán, se procede a programarlos. Como en el caso de la calibración, los HOBOS se programan de la misma manera. Así mismo, a continuación, se explica la manera en que se programan:

### SOUND LEVEL DATALOGGER

Para dicho instrumento, lo que se necesita es instalar un software llamado Extech Instrument 407760. Nuestro instrumento de medición se conecta a la computadora directamente con la entrada USB. Con dicho software es con el que podremos programar nuestro instrumento para que empiece a medir a cada determinados segundos, así como la hora de inicio y final del mismo. También podemos controlar algunas cosas extra como la luz led que aparece en nuestro instrumento.

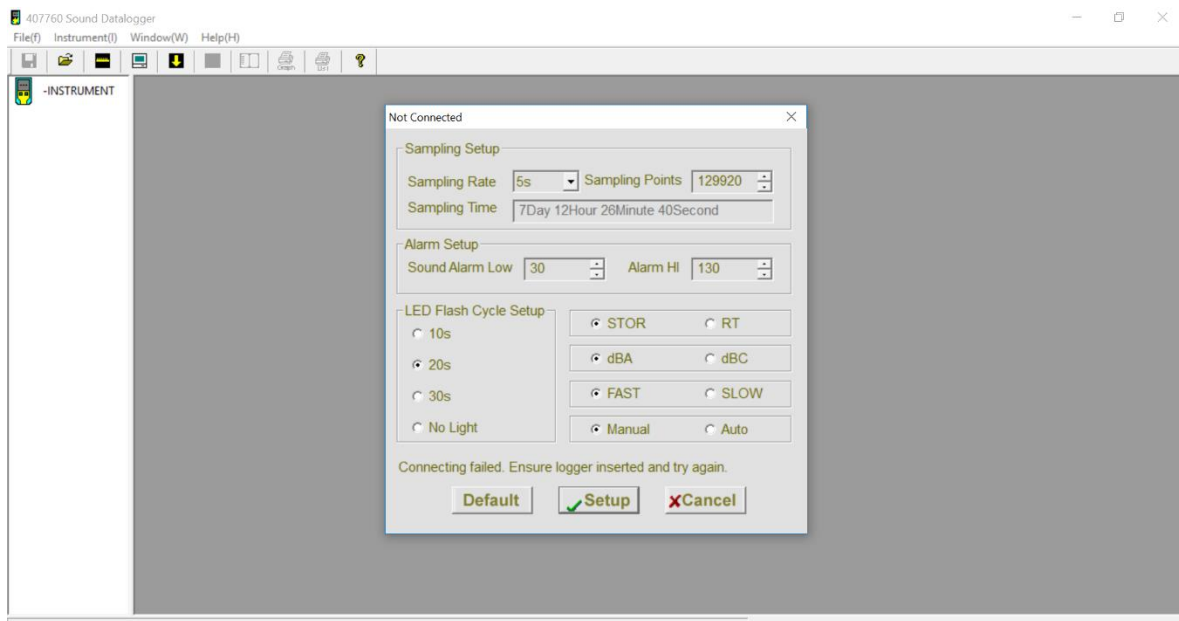


Imagen 8 Programación del sonómetro  
Imagen tomada de la ficha técnica de Sound level datalogger

## HOBOS WARE

Los registradores de datos HOBOS se conectan a la computadora con un cable USB suministrado por Onset. Dichos aparatos también necesitan de un software para poder programarlo (HOBOWare). Con este software se podrá definir los intervalos de medición, así como las variables que se requiere medir, además de la fecha y hora de inicio y de finalización de mediciones.

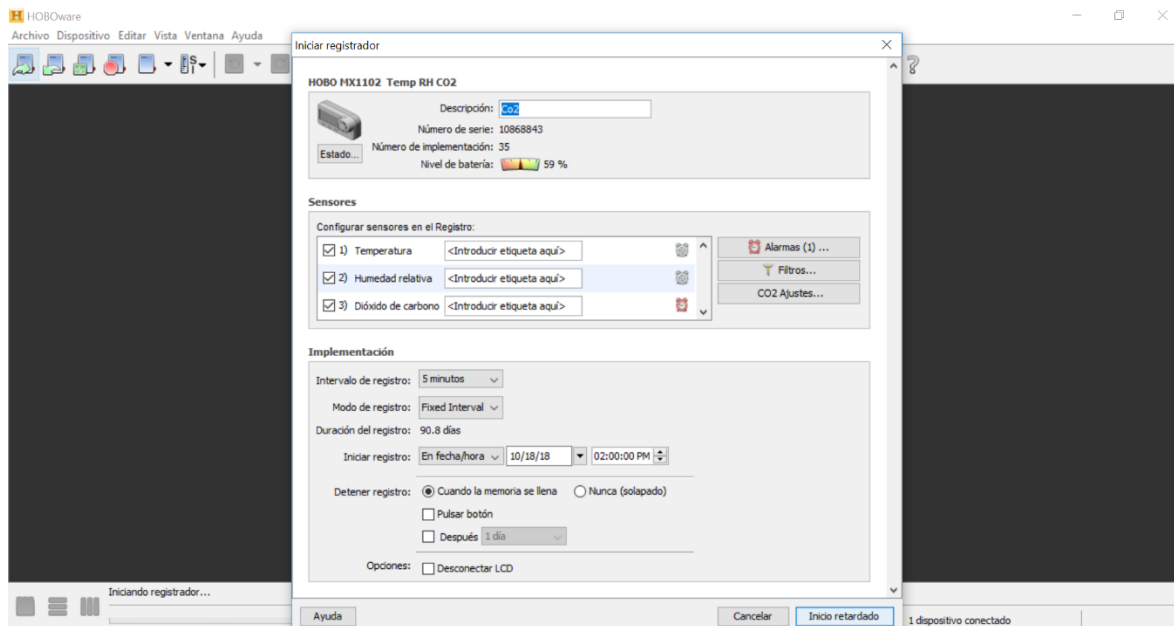


Imagen 9 Programación del HOBOS  
Imagen tomada de la ficha técnica de HOBOS datalogger

Ya que se calibraron y se programaron los instrumentos de medición, dichos aparatos se colocarán en el caso de estudio, en el centro del espacio a la altura del plano de trabajo<sup>4</sup>.

Ya que se fijaron los instrumentos de medición lo siguiente es empezar con las mediciones, donde se determinó que para este proyecto el intervalo de medición para el caso de los HOBOS será de 5 minutos, mientras que el intervalo para el sonómetro se realizará cada 10 segundos.

---

<sup>4</sup> LEED SC. LEED para colegios.

Así mismo, se realizaron las mediciones varias veces, para descartar un error de medición y poder llegar a generar un patrón. De esta manera se podrán obtener promedios y analizar los resultados obtenidos contra la norma ISO 17772-1:2017.

Además de las variables descritas dentro del documento que forman parte de la calidad del ambiente interior, se analizaron otros factores físicos que son los que pueden alterar las primeras, los cuales serán, dentro de los salones a estudiar, las de ventanas abiertas o cerradas, puerta abierta o cerrada y la cantidad de usuarios interactuando dentro del espacio.

Aunado a dichas mediciones, se llevó un registro de las variables que pudieron intervenir para las mediciones (número de personas; ventanas, puertas y persianas abiertas o cerradas; equipos encendidos o apagados), así como modificaciones que se hicieron al espacio durante las mediciones. Es importante mencionar que para este proyecto no se hizo una manipulación de factores, sino una observación, es decir, se llevaron a cabo las mediciones en un día de clases normal sin pedirle a los usuarios que alteraran su rutina.

Para llevar dicho registro se llenará el siguiente formato:

FECHA	HORA	SALÓN	TAMAÑO DEL SALÓN	INICIO	CO2	ILUMINACIÓN	TÉRMICO	RUIDO	ACCIONES

Tabla 15. Formato de factores que alteran aulas  
Tabla elaborada por el autor

Cabe destacar que un punto importante para la realización de este proyecto es detallar si en algún punto del día se hizo algún cambio en las condiciones del espacio, como puede ser el aumento de personas dentro del espacio, cerrar o abrir ventanas, encender o apagar aparatos.

## CASO DE ESTUDIO

Para este proyecto, el proceso experimental se llevó a cabo dentro del Edificio de Posgrado de la Universidad Nacional Autónoma de México ubicado en circuito de los Posgrados s/n, C.U. C.P. 04510 Ciudad de México.

Como se muestra en la imagen, dicho edificio tiene un diseño circular, por lo que cuenta con todas las orientaciones.

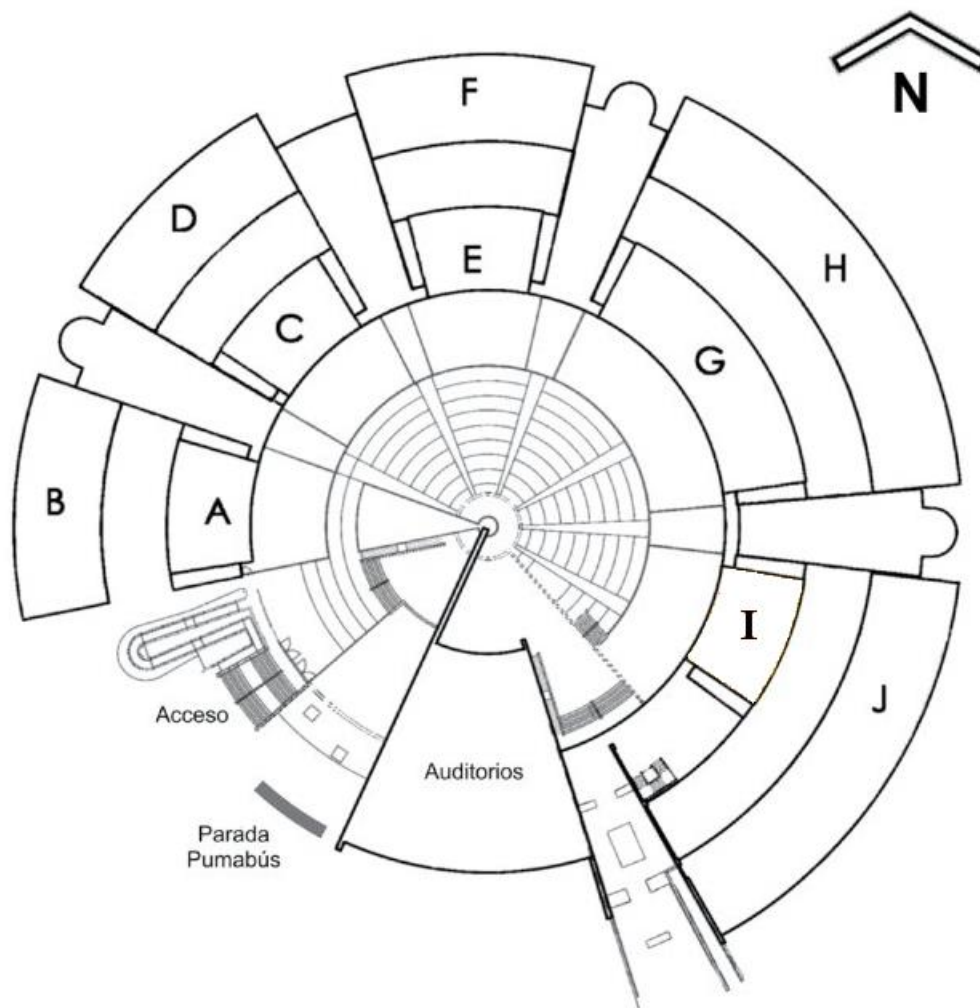


Imagen 10. Planta arquitectónica de la Unidad de Posgrado  
Imagen elaborada por el autor



Imagen 11. Medición en aulas  
Foto tomada por el autor

Se llevó a cabo la medición en diferentes aulas de clase dentro de la Unidad de Posgrado de la UNAM, con diferentes características, como lo son la orientación, el tamaño del salón y el nivel en el que se encuentra. Además, el horario de medición se adaptó a las horas de clase donde se permitió realizar dicho análisis.

Las mediciones se realizaron durante horas de clase, donde las variables independientes no se van a alterar, sólo se observarán

y se llevará un registro de los sucesos ocurridos.

Para el análisis detallado de los resultados y para practicidad dentro del documento, se eligieron dos aulas diferentes de clase ubicadas dentro del mismo edificio, pero con orientaciones opuestas. Sus características generales fueron las siguientes:



Imagen 12. Colocación de instrumentos de medición  
Foto tomada por el autor

### SALÓN H-302

### SALÓN H-215

Salón para 12 personas	Salón para 24 personas
Ubicado en tercer nivel	Ubicado en segundo nivel
Horario matutino (09:30 a 11:30 hrs)	Horario vespertino (16:00 a 18:00 hrs)
Fecha: 30 de agosto	Fecha: 13 de septiembre

Tabla 16. Características de aulas medidas  
Tabla elaborada por el autor

Las aulas de clase se encuentran en el edificio "H" de la Unidad de Posgrado.

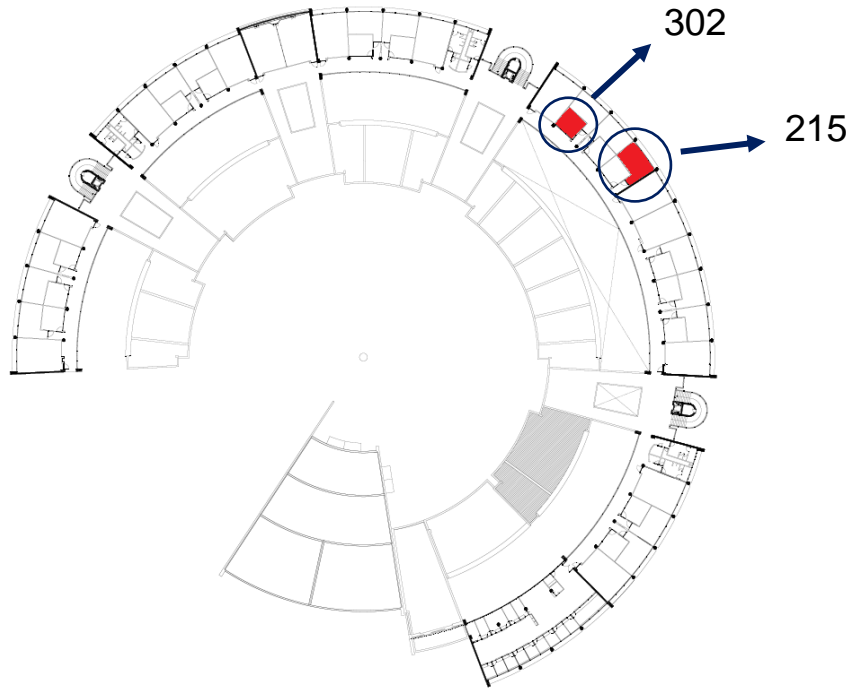


Imagen 13. Ubicación de aulas de clase  
Imagen elaborada por el autor

### SALÓN H-302



Imagen 14. Aula H-302  
Foto tomada por el autor



Imagen 15. Aula H-302  
Foto tomada por el autor

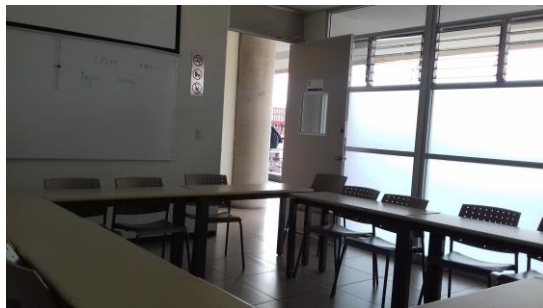


Imagen 16. Aula H-302  
Foto tomada por el autor

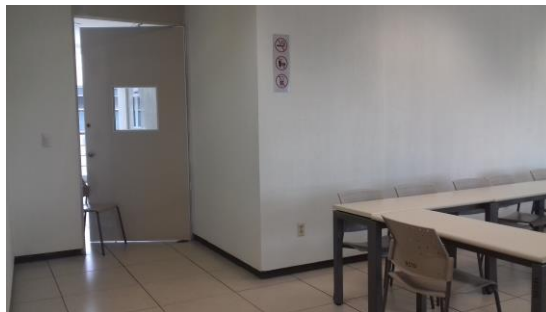
## SALÓN H-215



*Imagen 17. Aula H-215  
Foto tomada por el autor*



*Imagen 18. Aula H-215  
Foto tomada por el autor*



*Imagen 19. Aula H-215  
Foto tomada por el autor*

*De esta manera se ha llevado el registro de todas las variables independientes que fueron ocurriendo dentro las horas de medición, obteniendo la siguiente tabla:*



FECHA	HORA	SALÓN	TAMAÑO DEL SALÓN	INICIO	CO2	ILUMINACIÓN	TÉRMICO	RUIDO	ACCIONES
30-ago-18	09:30 - 11:30	H-302	Para 12 personas	Cuando se ingresó al aula se encontraban las luces apagadas así como los aparatos de igual manera apagados	Al iniciar la clase se mantuvo la puerta abierta y las ventanas cerradas. El número total de usuarios fue de 10	Se mantuvo la luz apagada, destacando que no se contaba con persianas	Se mantuvo la puerta abierta y las ventanas cerradas. El número total de usuarios fue de 10. No hubo ningún aparato encendido.	No hubo factores que alteraran dicha variable	A las 10:30 se encendió el cañón del proyector, alterando las variables térmicas y de ruido.
13-sep-18	16:00 - 18:00	h-215	Para 24 personas	Cuando se ingresó al aula se encontraban las luces apagadas así como los aparatos de igual manera apagados y las persianas abajo	Se mantuvo la puerta cerrada, ventanas cerradas y el total de usuarios fue de 15.	Debido a las necesidades de los usuarios se mantuvo la luz apagada y las persianas abajo	El cañón estuvo encendido, la puerta y ventanas cerradas, aproximadamente el 50% de los usuarios tuvieron su lap top encendida y el número de usuarios fue de 15	Se mantuvo el cañón encendido	A las 4:00 se encendió la luz. A las 04:08 se apagó la luz. A las 05:58 se encendió nuevamente la luz

Tabla 17. Formato lleno de los factores que intervienen en las mediciones  
Tabla elaborada por el autor





# 06 RESULTADOS



## 06 RESULTADOS

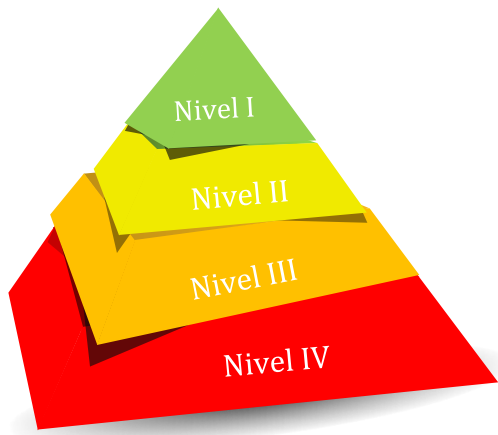


Imagen 20. Escala de colores de acuerdo con las categorías  
Imagen elaborada por el autor

objeto de estudio.

*Las mediciones marcadas con una flecha son a las que se le hizo el análisis detallado.*

*A continuación, se realizó una gráfica por cada una de las variables medidas para el análisis detallado, donde se indicaron los valores mínimos, máximos (especificando hora en que se obtuvo dicho dato) y promedios. La línea roja muestra la categoría media que la norma nos indica. En los casos en que no se muestra dicha línea es porque los datos sobrepasaron o fueron muy bajos con respecto a los valores medios.*

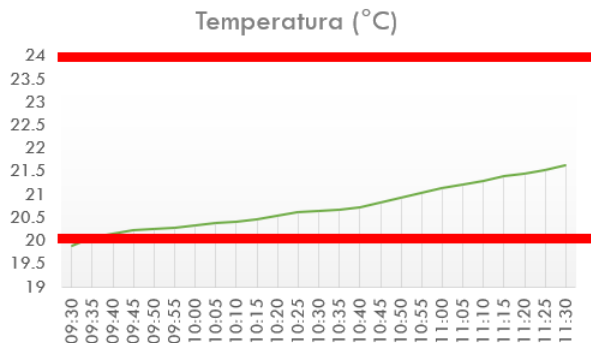
*Una vez obtenidos estos valores, se determinó la categoría a la que pertenece cada variable.*

*Para graficar los resultados obtenidos dentro de las mediciones, se realizó la siguiente tabla donde se muestran los promedios obtenidos en cada una de las variables.*

*Además, se eligió una escala de colores respecto al nivel alcanzado para cada variable para tener una mejor visualización de los resultados, obteniéndolo con el promedio de cada una. Es importante destacar que, como se mencionó al inicio, el valor deseable es el nivel II (medio), debido a los usuarios que se encuentran en el*

		Temperatura (°C)	Humedad (%)	Calidad del Aire (ppm)	Iluminación (lux)	Ruido (dBa)
1	Vespertino 28.Agosto	Min: 20.20	62.24	832.65	14.58	62.42
		Max: 21.75				
2	Matutino 30.Agosto	Min: 19.89	60.82	814.3	341.89	62.64
		Max: 22.08				
3	Vespertino 30.Agosto	Min: 23.21	53.88	1322.35	122.66	60.32
		Max: 24.03				
4	Matutino 13.Septiembre	Min: 20.79	62.89	1282.2	365.59	66.04
		Max: 22.06				
5	Vespertino 13.Septiembre	Min: 22.63	66.76	1282.2	19.94	62.42
		Max: 22.85				
6	Vespertino 20.Septiembre	Min: 24.12	50.46	1392	219.61	63.95
		Max: 24.68				
7	Matutino 27.Septiembre	Min: 19.63	62.89	1103.37	286.45	52.09
		Max: 21.25				
8	Vespertino 27.Septiembre	Min: 23.4	52.05	1445.25	51.97	-
		Max: 24.94				
9	Matutino 04.Octubre	Min: 18.22	60.3	929.47	229.47	-
		Max: 20.84				
10	Vespertino 04.Octubre	Min: 22.51	51.13	1275.75	13.38	-
		Max: 22.85				
11	Vespertino 11.Octubre	Min: 19.48	67.93	979.37	488	-
		Max: 21.65				

Tabla 18. Promedios obtenidos en las mediciones  
Tabla elaborada por el autor



SALÓN H-302

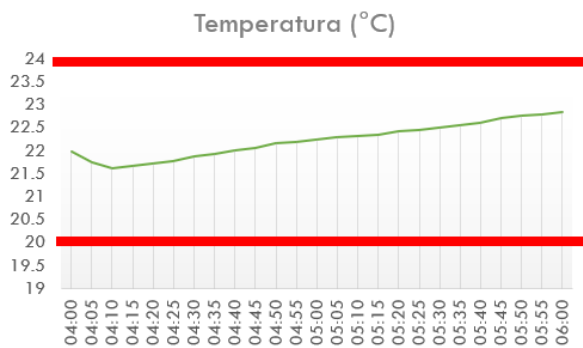
Mínimo: 09:30 am: 19.89 °C

Máximo: 11:30 am: 20.73 °C

Promedio: 20.73 °C

Gráfica 3. Temperatura del salón H-302

Gráfica elaborada por el autor



SALÓN H-215

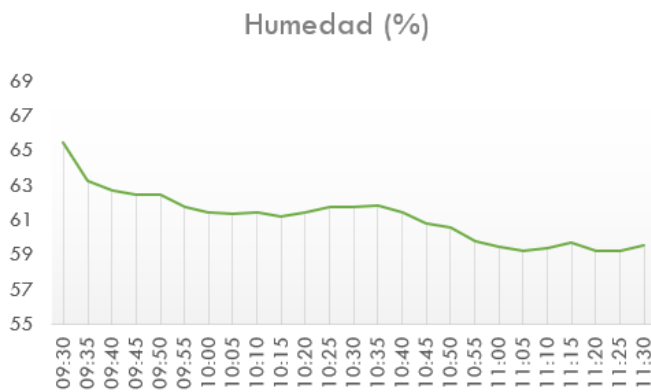
Mínimo: 04:10 hrs: 21.63 °C

Máximo: 05:00 hrs: 22.85 °C

Promedio: 22.23 °C

Gráfica 4. Temperatura del salón H-215

Gráfica elaborada por el autor



SALÓN H-302

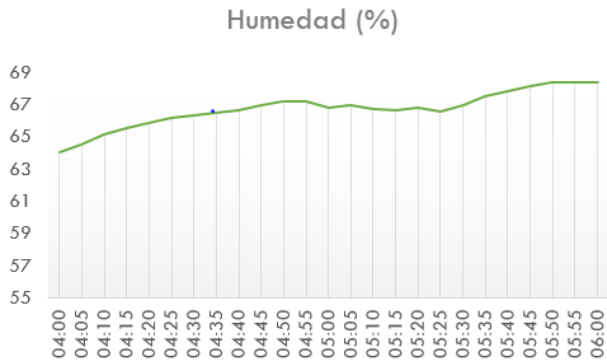
Mínimo: 11:05 am: 59.22 %

Máximo: 09:30 am: 65.50 %

Promedio: 61.16 %

Gráfica 5. Humedad del salón H-302

Gráfica elaborada por el autor



SALÓN H-215

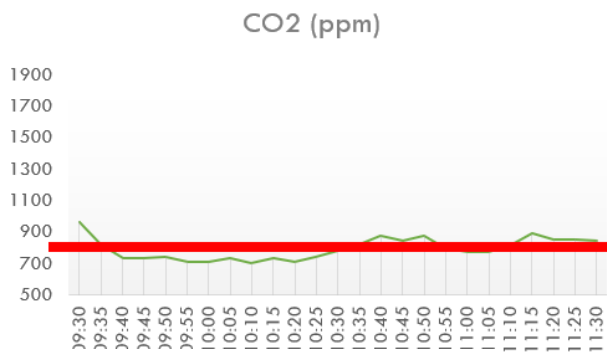
Mínimo: 16:00 hrs: 64.06 %

Máximo: 17:55 hrs: 68.44 %

Promedio: 66.76 %

Gráfica 6. Humedad del salón H-215

Gráfica elaborada por el autor



SALÓN H-302

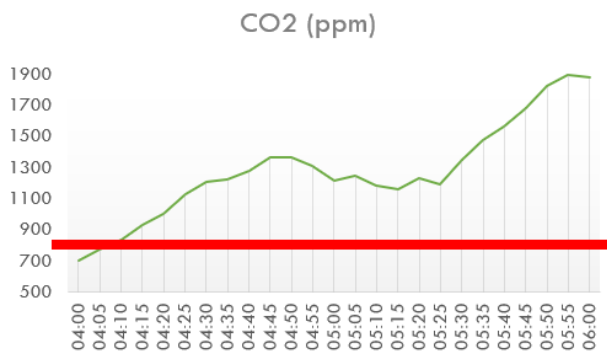
Mínimo: 10:10 am: 707 ppm

Máximo: 09:30 am: 907 ppm

Promedio: 794.88 ppm

Gráfica 7. CO2 del salón H-302

Gráfica elaborada por el autor



SALÓN H.215

Mínimo: 16:00 hrs: 707 ppm

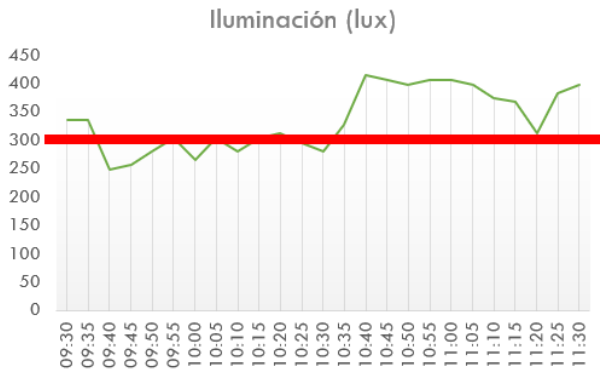
Máximo: 17:55 hrs: 1898 ppm

Promedio 1283.3 ppm

Gráfica 8. CO2 del salón H-215

Gráfica elaborada por el autor





SALÓN H-302

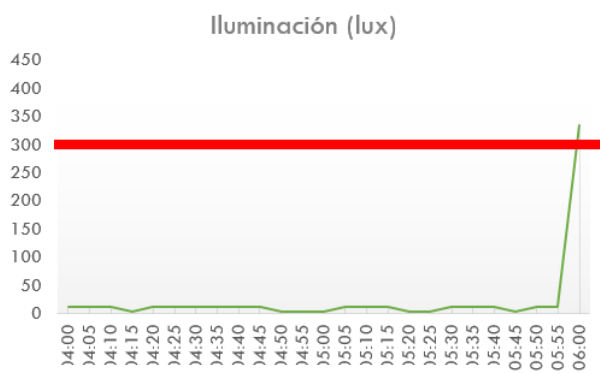
Mínimo: 09:40 am: 248.3 lux

Máximo: 10:40 am: 413.9 lux

Promedio: 341.9 lux

Gráfica 9. Iluminación del salón H-302

Gráfica elaborada por el autor



SALÓN H-215

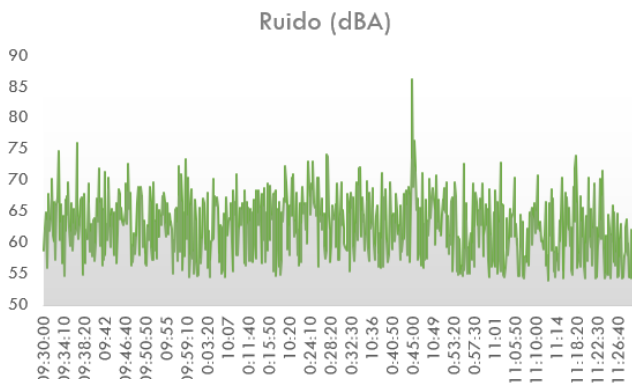
Mínimo: 16:00 hrs: 3.9 lux

Máximo: 18:00 hrs: 335.1 lux

Promedio: 19.94 lux

Gráfica 10. Iluminación del salón H-215

Gráfica elaborada por el autor



SALÓN H-302

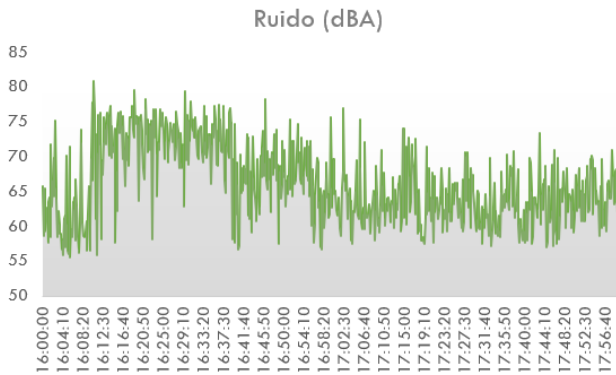
Mínimo: 11:12:30 am: 54 dBa

Máximo: 10:44:50 am: 86.2 dBa

Promedio: 62.64 dBa

Gráfica 11. Ruido del salón H-302

Gráfica elaborada por el autor



SALÓN H-215

Mínimo: 16:05:40 hrs: 55.5 dBa

Máximo: 16:10:30 hrs: 80.8 dBa

Promedio: 66.04 dBa

Gráfica 12. Ruido del salón H-215  
Gráfica elaborada por el autor

## 6.1 CORRELACIÓN DE VARIABLES

La estadística se dedica a la recopilación, el análisis y la interpretación de datos. Nos permite diseñar experimentos válidos y resultados confiables. Se debe inferir respecto de una población por medio de una muestra relativamente pequeña elegida.

La correlación de variables es la naturaleza de la relación entre dos cantidades (variables): (x) independiente y (y) dependiente. Al graficar los pares ordenados se puede generar una línea recta.

El coeficiente de correlación ( $r$ ) es la forma de describir la relación tan cercana entre dos cantidades:

- Si el valor es positivo, quiere decir que existe una correlación positiva.
- Si el valor es negativo, quiere decir que existe una correlación negativa.
- Si el valor es igual a 0, no existe correlación.
- Entre más cercano este a 1, existe una mayor correlación.

Para este proyecto, tenemos cinco variables: temperatura, humedad, iluminación, CO2 y ruido, las cuales, no necesariamente están correlacionadas entre sí.

Para el caso de estudio se tomaron dos salones diferentes dentro de la Unidad de Posgrado de la UNAM, realizando mediciones de las variables antes mencionadas durante dos horas en horarios diferentes (matutino y vespertino). Cabe mencionar que no se está realizando una comparación de ambos casos de estudio, simplemente se está haciendo la observación y el análisis de los resultados obtenidos.

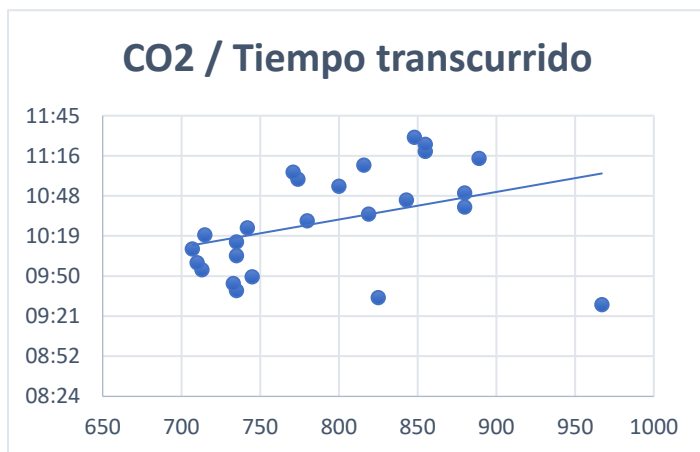
A continuación, se realiza el cálculo de la correlación que tiene cada una de las variables evaluadas:

Se pudo observar que el CO2 está relacionado con el tiempo transcurrido dentro de las evaluaciones. De esta manera se obtuvieron los siguientes datos:

### 30 de agosto 09:30 am

	CO2	Tiempo	a	b	a*b
1	967	09:30	2.471364985	-1.630478929	-4.029508534
2	825	09:35	0.432474514	-1.494605685	-0.646378867
3	735	09:40	-0.85978001	-1.358732441	1.168210991
4	733	09:45	-0.888496777	-1.222859197	1.086506455
5	745	09:50	-0.716196174	-1.086985953	0.77849518
6	713	09:55	-1.175664449	-0.951112709	1.118189399
7	710	10:00	-1.2187396	-0.815239465	0.993564619
8	735	10:05	-0.85978001	-0.67936622	0.584105496
9	707	10:10	-1.261814751	-0.543492976	0.685787454
10	735	10:15	-0.85978001	-0.407619732	0.350463297
11	715	10:20	-1.146947682	-0.271746488	0.311679005
12	742	10:25	-0.759271325	-0.135873244	0.103164658
13	780	10:30	-0.213652748	0	0
14	819	10:35	0.346324212	0.135873244	0.047056194
15	880	10:40	1.222185612	0.271746488	0.332124648
16	843	10:45	0.690925419	0.407619732	0.281634834
17	880	10:50	1.222185612	0.543492976	0.664249296
18	800	10:55	0.073514924	0.67936622	0.049943556
19	774	11:00	-0.29980305	0.815239465	-0.244411278
20	771	11:05	-0.3428782	0.951112709	-0.326115814
21	816	11:10	0.303249062	1.086985953	0.32962747
22	889	11:15	1.351411064	1.222859197	1.652585449
23	855	11:20	0.863226022	1.358732441	1.1728932
24	855	11:25	0.863226022	1.494605685	1.29018252
25	848	11:30	0.762717337	1.630478929	1.243594546
PROMEDIO	794.88	10:30		$\Sigma =$	8.997643775
DESVIACIÓN ESTANDAR	69.64572253	0.025554864		r=	0.374901824

Tabla 19. Correlación de CO2 con el tiempo. Salón H-302  
Tabla elaborada por el autor



Gráfica 13. Correlación de CO2 con tiempo.

Salón H-302

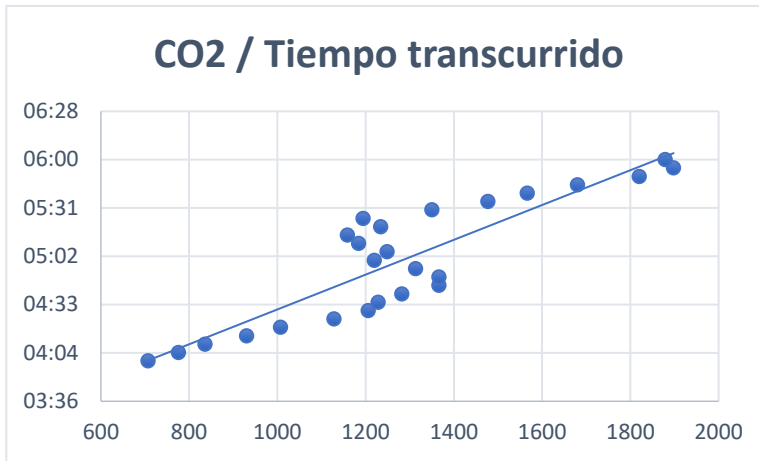
Gráfica elaborada por el autor

13 de septiembre 16:00 hrs.

	CO2	Tiempo	a	b	a*b
1	707	04:00	-1.826830497	-1.630478929	2.978608633
2	776	04:05	-1.607687061	-1.494605685	2.402858222
3	836	04:10	-1.417127552	-1.358732441	1.925497178
4	930	04:15	-1.118584321	-1.222859197	1.367871124
5	1007	04:20	-0.87403295	-1.086985953	0.950061539
6	1128	04:25	-0.489737939	-0.951112709	0.465795978
7	1206	04:30	-0.242010577	-0.815239465	0.197296573
8	1228	04:35	-0.172138757	-0.67936622	0.116945257
9	1282	04:40	-0.000635198	-0.543492976	0.000345226
10	1366	04:45	0.266148115	-0.407619732	-0.108487223
11	1366	04:50	0.266148115	-0.271746488	-0.072324816
12	1313	04:55	0.097820548	-0.135873244	-0.013291195
13	1220	05:00	-0.197546691	-5.43059E-15	1.07279E-15
14	1249	05:05	-0.105442929	0.135873244	-0.014326873
15	1184	05:10	-0.311882397	0.271746488	-0.084752946
16	1159	05:15	-0.391282193	0.407619732	-0.159494343
17	1234	05:20	-0.153082806	0.543492976	-0.08319943
18	1194	05:25	-0.280122479	0.67936622	-0.19030575
19	1350	05:30	0.215332246	0.815239465	0.175547345
20	1477	05:35	0.618683207	0.951112709	0.588437461
21	1566	05:40	0.90134648	1.086985953	0.979750962
22	1680	05:45	1.263409548	1.222859197	1.544971985
23	1820	05:50	1.708048403	1.358732441	2.320780776
24	1898	05:55	1.955775765	1.494605685	2.923113578
25	1879	06:00	1.895431921	1.630478929	3.090461808
PROMEDIO	1282.2	05:00		$\Sigma =$	21.30216107
DESVIACIÓN ESTANDAR	314.8622715	0.025554864		r=	0.887590045

Tabla 20. Correlación de CO2 con el tiempo. Salón H-215

Tabla elaborada por el autor



Gráfica 14. Correlación de CO2 con tiempo.  
Salón H-215  
Gráfica elaborada por el autor

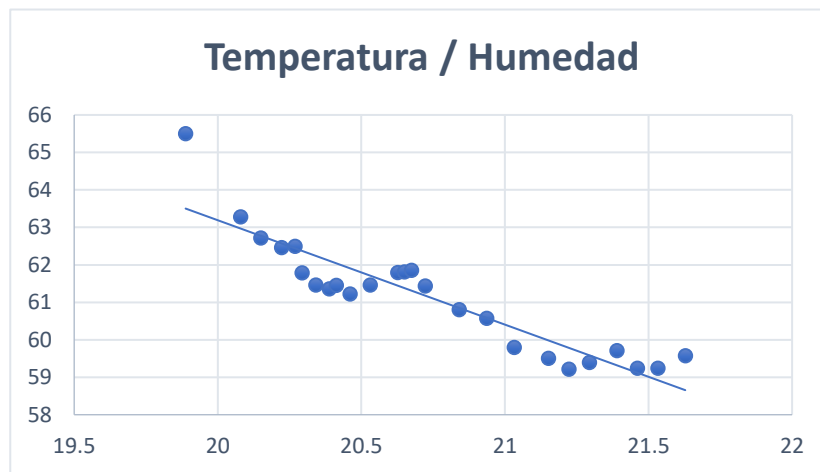
En el primer caso se observa que el CO2 tiene un coeficiente de correlación positiva del 0.37 respecto al tiempo transcurrido, mientras que, para el segundo caso, ese coeficiente aumenta obteniendo un resultado de 0.89.

Sabemos que la temperatura tiene relación con la humedad, por lo que, al igual que el caso anterior, se hizo el análisis de la correlación obtenida:

30 de agosto 09:30 am

	Temperatura	Humedad		a	b	a*b
1	19.888	65.497		-1.688311938	2.857069244	-4.823624112
2	20.079	63.275		-1.304330537	1.392263879	-1.815972293
3	20.15	62.714		-1.161593996	1.022436782	-1.187656427
4	20.222	62.457		-1.01684708	0.853015099	-0.867385913
5	20.269	62.494		-0.922359511	0.877406548	-0.809284274
6	20.293	61.78		-0.874110539	0.406717515	-0.355516066
7	20.341	61.456		-0.777612595	0.193127534	-0.150178403
8	20.388	61.353		-0.683125025	0.125227015	-0.085545708
9	20.412	61.45		-0.634876054	0.189172164	-0.120100877
10	20.46	61.218		-0.53837811	0.036231189	-0.019506079
11	20.531	61.462		-0.395641569	0.197082904	-0.077974189
12	20.627	61.792		-0.202645681	0.414628255	-0.084022625
13	20.65	61.81		-0.156407084	0.426494365	-0.06670674
14	20.674	61.853		-0.108158112	0.454841184	-0.049194764
15	20.722	61.432		-0.011660168	0.177306054	-0.002067418
16	20.841	60.797		0.227574317	-0.241303941	-0.054914579
17	20.936	60.571		0.41855983	-0.390289545	-0.163359526
18	21.032	59.796		0.611555717	-0.901191506	-0.551128818
19	21.151	59.503		0.850790202	-1.094345409	-0.931058352
20	21.223	59.216		0.995537118	-1.283543942	-1.277815636
21	21.294	59.393		1.138273659	-1.166860526	-1.328206601
22	21.39	59.711		1.331269546	-0.957225915	-1.274325709
23	21.461	59.235		1.474006088	-1.271018603	-1.873489159
24	21.533	59.241		1.618753003	-1.267063233	-2.051062414
25	21.628	59.57		1.809738517	-1.05017711	-1.900545966
PROMEDIO	20.7278	03:54			$\Sigma =$	-21.92064265
DESVIACIÓN ESTANDAR	0.497419927	1.516925083			r=	-0.91336011

Tabla 21. Correlación de CO2 con humedad. Salón H-302  
Tabla elaborada por el autor

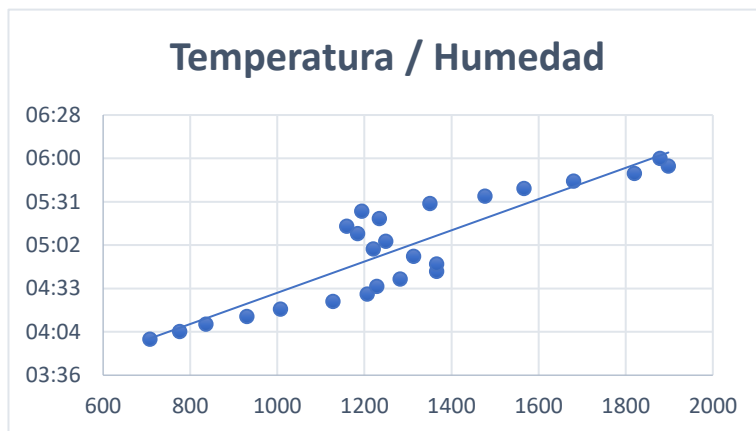


Gráfica 15. Correlación de CO2 con humedad. Salón H-302  
Gráfica elaborada por el autor

13 de octubre 16:00 hrs

	CO2	Tiempo	a	b	a*b
1	707	04:00	-1.826830497	-1.630478929	2.978608633
2	776	04:05	-1.607687061	-1.494605685	2.402858222
3	836	04:10	-1.417127552	-1.358732441	1.925497178
4	930	04:15	-1.118584321	-1.222859197	1.367871124
5	1007	04:20	-0.87403295	-1.086985953	0.950061539
6	1128	04:25	-0.489737939	-0.951112709	0.465795978
7	1206	04:30	-0.242010577	-0.815239465	0.197296573
8	1228	04:35	-0.172138757	-0.67936622	0.116945257
9	1282	04:40	-0.000635198	-0.543492976	0.000345226
10	1366	04:45	0.266148115	-0.407619732	-0.108487223
11	1366	04:50	0.266148115	-0.271746488	-0.072324816
12	1313	04:55	0.097820548	-0.135873244	-0.013291195
13	1220	05:00	-0.197546691	-5.43059E-15	1.07279E-15
14	1249	05:05	-0.105442929	0.135873244	-0.014326873
15	1184	05:10	-0.311882397	0.271746488	-0.084752946
16	1159	05:15	-0.391282193	0.407619732	-0.159494343
17	1234	05:20	-0.153082806	0.543492976	-0.08319943
18	1194	05:25	-0.280122479	0.67936622	-0.19030575
19	1350	05:30	0.215332246	0.815239465	0.175547345
20	1477	05:35	0.618683207	0.951112709	0.588437461
21	1566	05:40	0.90134648	1.086985953	0.979750962
22	1680	05:45	1.263409548	1.222859197	1.544971985
23	1820	05:50	1.708048403	1.358732441	2.320780776
24	1898	05:55	1.955775765	1.494605685	2.923113578
25	1879	06:00	1.895431921	1.630478929	3.090461808
PROMEDIO	1282.2	05:00		$\Sigma =$	21.30216107
DESVIACIÓN ESTANDAR	314.8622715	0.025554864		r=	0.887590045

Tabla 22. Correlación de CO2 con humedad. Salón H-215  
 Tabla elaborada por el autor



Gráfica 16. Correlación de CO2 con humedad. Salón H-215  
 Gráfica elaborada por el autor

Para esta correlación, en ambos casos se observa un alto factor de correlación, obteniendo en el primer caso de estudio un valor de  $-0.91$ , lo cual nos indica que existe una correlación negativa, mientras que en el segundo caso obtenemos una correlación de  $0.89$ .

Así mismo, en algunos casos se encuentran datos atípicos, que es cuando algunos datos son mucho más grandes o pequeños. Esto no quiere decir que sean errores, si se examinan y se llega a determinar de que son datos correctos, se deben incluir en dicho análisis.

Es por lo anterior que en los análisis anteriores encontramos datos atípicos que al igual que los demás, se están analizando.

## 6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se elaboró una ficha de resultados finales, la cual se llenará una vez recabada a información necesaria y analizada la misma:

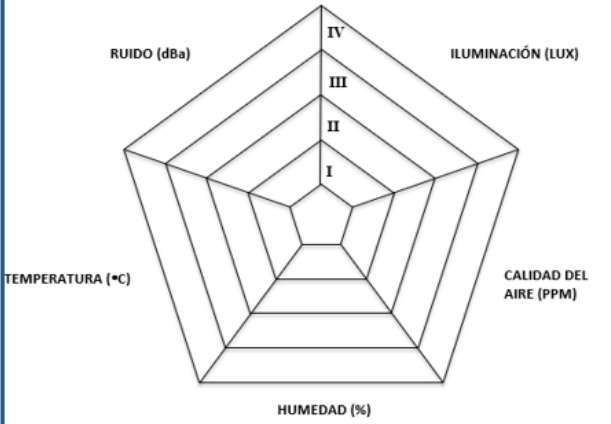
<p><b>Polígono de Resultados</b></p> 	<p><b>Datos generales</b></p> <p>Escuela: _____ Salón: _____</p> <p>Dirección: _____</p> <p>Fecha de Medición: _____ Hora de Medición: _____</p> <p>Área Medida: _____</p> <p><b>Resultados</b></p> <table border="1" data-bbox="821 1297 1406 1499"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Temperatura (°C)</th> <th>Humedad (%)</th> <th>Calidad del Aire (ppm)</th> <th>Iluminación (lux)</th> <th>Ruido (dB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>II</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>III</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>IV</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Calidad del Aire (ppm)	Iluminación (lux)	Ruido (dB)	I						II						III						IV					
Categoría	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Calidad del Aire (ppm)	Iluminación (lux)	Ruido (dB)																										
I																															
II																															
III																															
IV																															
<p><b>Reporte Fotográfico</b></p>	<p><b>Análisis de Resultados</b></p>																														

Imagen 21. Ficha para recabar resultados  
Imagen elaborada por el autor



De acuerdo con lo anterior, y en relación con la norma ISO 17772-1:2017 se determinó el nivel de categoría que cumplió cada una de las variables (iluminación, temperatura, humedad, calidad del aire y ruido), localizando los resultados dentro de un polígono, así como dentro de una tabla. Se indicó cada nivel con la escala de color que se mencionó anteriormente.

Así mismo, se solicitó información adicional como la ubicación y área de cada espacio, concluyendo la ficha con un análisis general de cada espacio obteniendo las siguientes fichas de resultados:

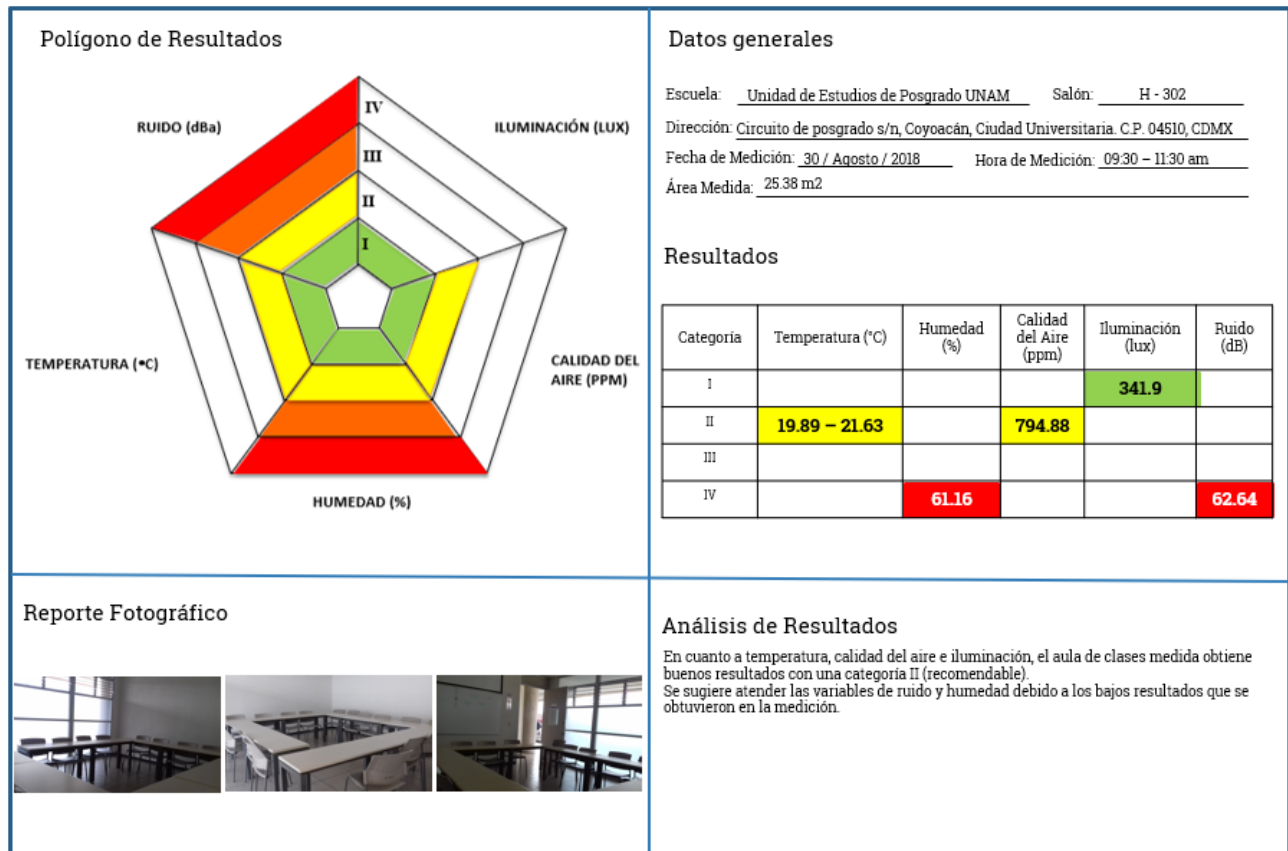


Imagen 22. Ficha de resultados del salón H-302  
Imagen elaborada por el autor

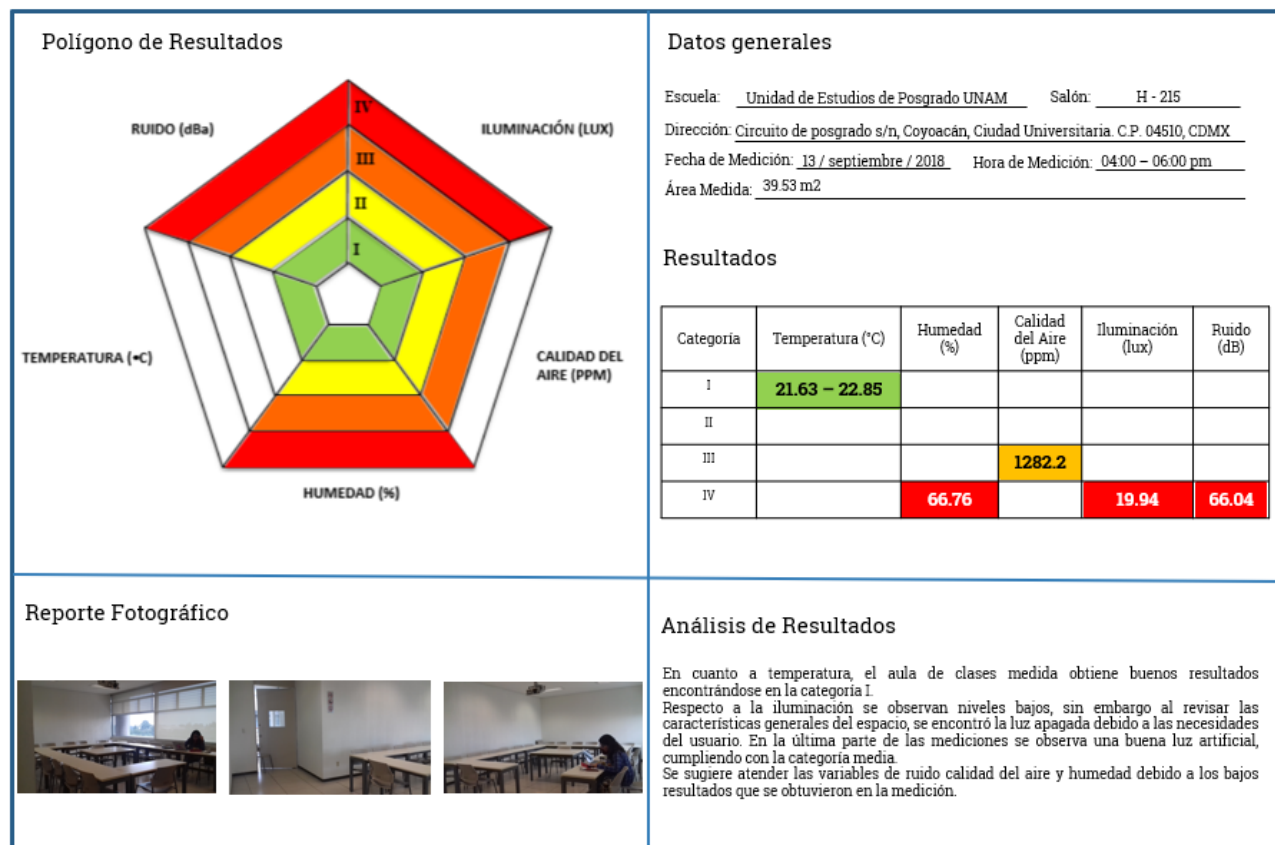


Imagen 23. Ficha de resultados del salón H-302  
Imagen elaborada por el autor

Una vez observados los resultados obtenidos, se hizo el siguiente análisis de cada una de las variables:

### TEMPERATURA (°C)

La temporada en que se midió la temperatura, se considera que está dentro de la época de frío. Teniendo en cuenta lo anterior, en el primer caso (salón H-302) se observa que al obtener valores entre los 20 y 21 °C, ubicamos dicho resultado dentro de la categoría II, mientras que en el segundo caso (salón H-215) al obtener resultados entre los 22 y los 23 °C, se ubica dentro de la categoría I.

Ambos espacios se encontraron dentro del nivel deseado dentro de la norma. Cabe mencionar que la diferencia entre las épocas es debido a las temperaturas que se llegan a alcanzar, así como al tipo de vestimenta que lo usuarios suelen usar, sin embargo, sabemos que

dicha variable es un tanto subjetiva pues la sensación térmica varía según la edad, sexo, ubicación, compleción, entre otras.

## *HUMEDAD (%)*

*Para ambos casos (salón H-302 y salón H-215) se observa que el porcentaje de humedad se mantuvo por encima de las cuatro categorías establecidas en la norma obteniendo en ambos casos un promedio por encima del 60 % de humedad durante las dos horas medidas.*

*Es necesario hacer el análisis del porcentaje promedio de humedad para la Ciudad de México para poder adaptar dicha norma a los valores que se tienen en el país, porque hay que recordar que como es una norma internacional, se generaliza a otros países de primer mundo.*

## *CALIDAD DEL AIRE (ppm)*

*La tabla de factores que afectan a las condiciones del ambiente interior es importante de realizar, pues con ella podemos analizar de una mejor manera los valores obtenidos dentro de los espacios.*

*En el primer caso (salón H-302) se observa que durante las dos horas medidas, el nivel se mantuvo dentro de la categoría II (medio), obteniendo un promedio de 794.88 ppm. Esto fue gracias a que durante todo el tiempo se mantuvo la puerta abierta permitiendo un correcto intercambio de aire a pesar del número de usuarios que se encontraban dentro del aula.*

*Por otro lado, para el segundo caso (salón H-215), el nivel de CO<sub>2</sub> medido dentro de las 2 horas, fue aumentando paulatinamente, llegando a obtener en su nivel máximo 1898 ppm. Analizando las condiciones que se obtuvieron podemos deducir que esto fue debido a que durante todo el tiempo se mantuvo la puerta y las ventanas cerradas, lo que provocó que se viciara la calidad del aire.*

*Las condiciones en las que los usuarios estuvieron trabajando fueron malas, pues sabemos que un espacio con buena calidad del aire se encuentra por debajo de las 1100*

ppm. Al superar dicho valor nos encontramos con un espacio asociado a usuarios con somnolencia y aire viciado.

Sin embargo, por el promedio que se obtuvo de 1282.2 ppm en el segundo espacio, se ubica en la categoría III.

### ILUMINACIÓN (lux)

En el primer caso (salón H-302) observamos que se obtuvo un promedio de 341.9 lux, ubicándose en la categoría II (medio). Dichas mediciones se realizaron durante la mañana, encontrando que la iluminación natural es suficiente para obtener valores deseados para un aula de clase, recordando que lo ideal es trabajar con luz natural para no dañar la vista.

Para el segundo caso (salón H-215) observamos que por las condiciones que se tuvieron que generar dentro del aula, la mayor parte del tiempo se obtuvieron niveles bajos de iluminación (lux), teniendo un promedio de 19.94 lux, ubicándose en la categoría IV. Sin embargo, al analizar los factores externos, se observa que, al finalizar la clase, al prenderse la luz, tenemos 335 lux, lo que nos estaría indicando que la luz artificial sería suficiente para cumplir esta variable. Esto debido a que el horario de medición es durante el tiempo en que se oculta el sol

### RUIDO (dBa)

Para ambos casos (salón H-302 y salón H-215) se observa que los decibeles que alcanzaron las mediciones realizadas superan las indicadas por la norma, llegando a obtener un promedio para el primer caso de 62.64 dBa y para el segundo caso de 66.04 dBa. Por lo anterior, para la variable de ruido, se encuentra en la categoría IV.

*Finalmente se realizó un manual dónde se muestra paso a paso la manera en que se deben realizar las evaluaciones a las aulas de clase en la Ciudad de México.*

*Así mismo, se adaptó la norma modificando los niveles de ruido (dB), a los presentados en la Norma Oficial Mexicana en el apartado de calidad del ambiente, debido a que es de nuestro país. Además, se adaptó la humedad (%) a lo establecido en ASHRAE*





07 MANUAL PARA  
EVALUAR LA CALIDAD DEL  
AMBIENTE INTERIOR





# 07 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AMBIENTE INTERIOR

*PARÁMETROS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AMBIENTE INTERIOR DE AULAS DE CLASE EN LA CIUDAD DE MÉXICO*

## 7.1 ALCANCE

*Dicho manual especifica los parámetros del ambiente interior los aspectos térmicos, calidad del aire interior, iluminación y acústica y especifica cómo se deben medir.*

*Este manual es aplicable para aulas de clase y cuando los criterios para el ambiente interior son establecidos por la ocupación humana.*

*El manual no especifica métodos de diseño, pero da parámetros de entrada para diseñar un edificio.*

## 7.2 REFERENCIAS DE NORMATIVIDADES

*Los siguientes documentos se mencionan en el texto de tal manera que parte o la totalidad de su contenido constituya los requisitos de este documento.*

*ISO 17772-1, Energy performance of buildings – Indoor environmental quality.*

*NMX-AA-164-SCFI-2013, Edificación sustentable – Criterios y requerimientos ambientales mínimos.*

*NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo*

*ANSI/ASHRAE STANDARD 55-2013, Thermal environmental conditions for human occupancy*

## 7.3 ABREVIACIONES

Para los fines de este documento y sus aplicaciones, se muestra la siguiente tabla:

Abreviación	Término
CAI	Calidad del ambiente interior
VME	Voto medio estimado
PEI	Porcentaje estimado de insatisfechos
ISO	Organización internacional de normalización

Tabla 23. Abreviaciones  
Tabla por el autor

## 7.4 PARÁMETROS PARA DETERMINAR LOS NIVELES DE CADA VARIABLE

### 7.4.1 General

Para la obtención de los niveles de cada una de las variables (temperatura, humedad, calidad del aire, ruido e iluminación), se hará mediante mediciones con instrumentación. Dichos instrumentos deberán colocarse en medio del aula de clases a la altura de una mesa de trabajo.

Las mediciones se realizarán durante horarios de ocupación donde no se alterarán las variables que interactúan dentro del espacio. Se realizará una observación de los niveles reales que se tienen día con día.

Se deberá llevar un registro de los valores obtenidos en todas las mediciones. Además, se deberá llenar la Tabla 1 especificando número de personas, persianas, ventanas y puertas abiertas/cerradas, número de aparatos encendidos, así como alteraciones que ocurran durante las mediciones.

FECHA	HORA	SALÓN	TAMAÑO DEL SALÓN	INICIO	CO2	ILUMINACIÓN	TÉRMICO	RUIDO	ACCIONES

Tabla 24. Factores que intervienen en la CAI  
Tabla elaborada por el autor

Los valores obtenidos se proporcionan para determinar cada una de las diferentes categorías de la calidad del ambiente interior. Una breve descripción se muestra en la Tabla 2.

Categoría	Nivel de expectativa
CAI I	Alto
CAI II	Medio
CAI III	Moderado
CAI IV	Bajo

Tabla 25. Categorías de la CAI  
Imagen tomada de la Norma ISO 17772-1

NOTA: Las categorías están relacionadas al nivel de expectativa que los ocupantes pueden tener. Un nivel normal sería el nivel "medio". El nivel más alto puede ser seleccionado para ocupantes con necesidades especiales (niños, ancianos, discapacitados, etc.).

#### 7.4.2 Temperatura

Los criterios para el entorno térmico en aulas de clase se basarán en los índices de confort, con niveles de actividad típicos asumidos y valores típicos de aislamiento térmico para la ropa (invierno y verano). Según los criterios seleccionados, se establecerá un intervalo de temperatura operativa correspondiente.

La selección de categoría es específica para aulas de clase y se deben considerar las necesidades de grupo de ocupantes especiales, como personas de edad avanzada (tasa metabólica baja y control deficiente de la temperatura corporal). Para este grupo de personas, se recomienda utilizar los requisitos de la categoría I (ver Tabla 3).

Se deberán especificar fuentes que propicien altas temperaturas como aparatos electrónicos, usuarios dentro del aula y vanos abiertos/cerrados dentro del espacio.

	Rangos de temperatura para época de calor Aproximadamente 1 clo	Rangos de temperatura para época de frío Aproximadamente 0.5 clo
I	21 – 23	23.5 – 25.5
II	20 – 24	23 – 26
III	19 – 25	22 – 27
IV	17 – 25	21 – 28

Tabla 26. Categorías de temperatura  
Imagen tomada de la Norma ISO 17772-1

### 7.4.3 Calidad del aire interior

La calidad del aire interior se controlará por los siguientes medios: ventilación y posible filtración y/o limpieza del aire. Se especificarán vanos que propicien el flujo del aire. Así mismo, detallarán fuentes que propicien una mayor cantidad de dióxido de carbono

Los métodos propuestos suponen que las emisiones de contaminantes son constantes en cada periodo de tiempo considerado y conducen a una tasa de flujo de aire de ventilación constante para cada periodo de tiempo. Si la ocupación y las cargas contaminantes varían en el tiempo, se deberá especificar los periodos de tiempos con más o menos productores de contaminantes. Estos describirán al menos lo supuesto periodos de ocupación y de no ocupación.

NOTA: También se necesita ventilación durante las horas no ocupadas del edificio para evitar la acumulación de contaminantes en el aire interior o en superficies, o se puede iniciar la ventilación antes de la ocupación

Categoría	Concentración de CO2 al aire libre en PPM
I	550
II	800
III	1350
IV	1500

Tabla 27. Categorías de CO2  
Imagen tomada de la Norma ISO 17772-1

#### 7.4.4 Humedad

Los criterios de humedad dependen en parte de los requisitos para el confort térmico y la calidad del aire interior y en parte de los requisitos físicos del edificio (condensación, crecimiento de moho, etc.).

Por lo general no se requiere la humectación o deshumidificación del aire del aula, pero, si se usa, se debe evitar el exceso de humidificación y deshumidificación. Ver tabla 5.

Categoría	Nivel de humedad (%)
CAI I	<60
CAI II	<65
CAI III	<70
CAI IV	<75

Tabla 28. Categorías de humedad  
Imagen elaborada por el autor

#### 4.5 Iluminación

Para las personas que puedan realizar tareas visuales de manera eficiente y precisa, se proporcionará una iluminación adecuada. Los criterios de iluminación se seleccionan de acuerdo con las tareas y actividades que se realizan para proporcionar condiciones cómodas para los ocupantes.

Los niveles de iluminancia se obtendrán mediante la luz diurna, luz eléctrica o una combinación de ambas.

El diseño de las aberturas de luz diurna (por ejemplo, ventanas, luces de techo etc.) no debe causar molestias visuales debido al deslumbramiento o la pérdida de privacidad. La carga de calor de los sistemas e iluminación debe tenerse en cuenta al calcular la demanda de energía en aulas de clase.

NOTA: Las ventanas deben ser la principal fuente de luz durante el día. También proporcionan contacto visual con el ambiente exterior. Por razones de comodidad y energía, en la mayoría de los casos se prefiere el uso de la luz del día. Esto depende de factores como las horas de ocupación, la autonomía (parte del tiempo de ocupación durante la cual hay suficiente luz del día) la ubicación del edificio y la cantidad de horas de luz durante el verano y el invierno. Ver Tabla 6

Categoría	Iluminación (lux)
I	500
II	300
III	200
IV	100

Tabla 29. Categorías de humedad  
Imagen tomada de la Norma ISO 17772-1

#### 7.4.6 Ruido

Las categorías sólo se basan en el ruido debido al equipo de servicio del edificio y no en el ruido exterior. El ruido de los sistemas de servicio podría molestar a los ocupantes y evitar o deteriorar el uso previsto del espacio o edificio.

El ruido en un espacio se evaluará utilizando un nivel de presión acústica equivalente ponderado A.

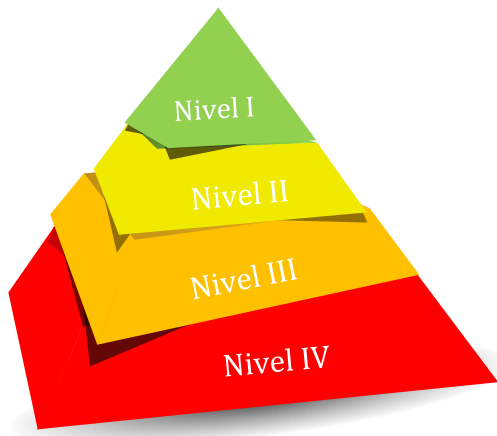
El ruido de los sistemas de ventilación y aire acondicionado también se puede utilizar para enmascarar las otras fuentes de sonido y mejorar la privacidad acústica.

Los valores recomendados se pueden exceder por un periodo a corto plazo si los ocupantes pueden controlar el funcionamiento del equipo o las ventanas. Incluso en este caso, el aumento del nivel de presión acústica sobre los valores está limitado a entre 5 dB y 10 dB. Ver Tabla 7.

<b>Categoría</b>	<b>Nivel de sonido continuo equivalente (dB)</b>
CAI I	< 55
CAI II	< 60
CAI III	< 63
CAI IV	< 65

Tabla 30. Categorías de ruido  
Imagen elaborada por el autor

## 7.5 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS



De acuerdo con la escala de colores indicada en la Imagen 1, se deberá llenar el polígono encontrado en la Tabla 8. Siguiendo con la escala de color, se deberá llenar la tabla de resultados encontrada en la misma, indicando en cada recuadro los promedios obtenidos en cada una de las variables (ver ejemplo en Tabla 9).

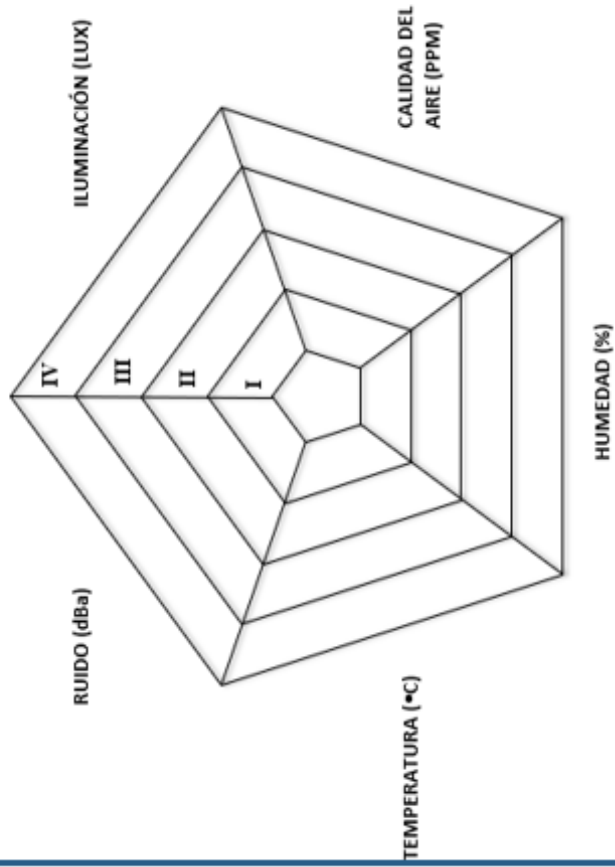
Además, se deberá llenar el registro de los datos generales del aula de clases (escuela, salón, dirección, fecha y hora de medición, metros cuadrados del área medida), así como un registro fotográfico del espacio analizado.

Finalmente, en el apartado de análisis de resultados se pondrá un breve resumen de los resultados obtenidos dentro de las mediciones.

En la Tabla 9 se muestra un ejemplo de cómo se debe llenar una ficha de resultados.



### Polígono de Resultados



### Datos generales

Escuela: \_\_\_\_\_ Salón: \_\_\_\_\_  
Dirección: \_\_\_\_\_  
Fecha de Medición: \_\_\_\_\_ Hora de Medición: \_\_\_\_\_  
Área Medida: \_\_\_\_\_

### Resultados

Categoría	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Calidad del Aire (ppm)	Iluminación (lux)	Ruido (dB)
I					
II					
III					
IV					

### Reporte Fotográfico

### Análisis de Resultados

Polígono de Resultados		Datos generales					
		Escuela: <u>Unidad de Estudios de Posgrado UNAM</u> Salón: <u>H - 302</u> Dirección: <u>Circuito de posgrado s/n, Coyoacán, Ciudad Universitaria. C.P. 04510, CDMX</u> Fecha de Medición: <u>30 / Agosto / 2018</u> Hora de Medición: <u>09:30 - 11:30 am</u> Área Medida: <u>25.38 m2</u>					
		Resultados					
		Categoría	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Calidad del Aire (ppm)	Iluminación (lux)	Ruido (dB)
		I				<b>341.9</b>	
II	<b>19.89 – 21.63</b>		<b>794.88</b>				
III							
IV		<b>61.16</b>			<b>62.64</b>		
Reporte Fotográfico		Análisis de Resultados					
		En cuanto a temperatura, calidad del aire e iluminación, el aula de clases medida obtiene buenos resultados con una categoría II (recomendable). Se sugiere atender las variables de ruido y humedad debido a los bajos resultados que se obtuvieron en la medición.					

Imagen 25. Ejemplo de llenado de ficha de resultados  
Por el autor





## CONCLUSIONES

*Como se menciona al inicio del proyecto, el objetivo principal de esta investigación era el de determinar el nivel de calidad del ambiente interior de un espacio educativo en la Ciudad de México, mediante la medición de las variables físicas (temperatura, humedad, calidad del aire, ruido e iluminación).*

*A partir de las mediciones realizadas dentro de diferentes aulas de clase en la Unidad de Posgrado de la Universidad Nacional Autónoma de México, damos por hecho que dicho objetivo se cumplió.*

*Al haber aplicado el método descrito dentro de la norma ISO 17772 2017-1 se determina que, para los casos de estudio analizados, las variables de humedad no se encontraron dentro de las categorías descritas, puesto que el porcentaje de humedad se mantuvo por encima de las cuatro categorías establecidas en la norma, obteniendo un promedio por encima del 60%; sin embargo se tendría que analizar la zona en que se realizó dicha norma, pues al ser internacional los valores no coinciden con los promedios que se encuentran en México, por lo que se debería considerar ajustar el rango de las categorías respecto al clima de la Ciudad de México.*

*De igual manera, con el ruido se observa que los decibeles que alcanzaron las mediciones realizadas superan las indicadas por la norma, encontrándose en la categoría IV, que es fuera de las categorías descritas.*

*Dentro de la variable de temperatura, el valor que obtuvimos es ideal para la edificación que tenemos, sin embargo, es importante tomar en cuenta algunos otros factores como la época del año, vestimenta del usuario, edad o sexo, pueden hacer variar estos resultados.*

*En cuanto a la calidad de aire, tuvimos dos resultados diferentes en ambos salones; el primero nos encontramos con una categoría II debido a las condiciones en que se encontraba, en este caso porque la puerta se encontraba abierta; en el segundo caso nos encontramos con*

una categoría III, puesto que tanto la puerta como la ventana se encontraban cerradas. En este punto tenemos un resultado dentro y otro fuera de la norma, con lo que podemos observar que pese a las evaluaciones que se hagan, siempre estamos propensos a resultados diferentes debido al contexto en el que nos encontramos.

Por último, respecto a la iluminación, encontramos nuevamente 2 resultados diferentes que fueron obtenidos con base en las condiciones en que se encontraban las aulas. Para el primero obtuvimos una categoría II, puesto que las condiciones fueron la evaluación por la mañana con luz natural; al contrario, en la segunda aula nos encontramos con categoría IV, obteniendo resultados fuera de la norma, que posteriormente observamos que con la luz artificial pudiera haber sido suficiente para obtener una buena iluminación.

Cabe mencionar que dicho patrón se encuentra sólo en la Unidad de Posgrado donde se realizaron las mediciones, lo cual, no garantiza que estos mismos resultados se encuentren en otras aulas de clase. Sin embargo, para conocer la categoría en que se encuentra la calidad del ambiente interior de diferentes espacios, se puede realizar el mismo método descrito en este proyecto.

Respecto a los aparatos de medición utilizados, no hubo problema al manipular los HOBOS, no se encontraron datos erróneos y dichos instrumentos son de fácil manejo debido a su tamaño y precisión. En cuanto al sonómetro, sí se encontraron complicaciones debido a que, en ocasiones, no se guardaban los datos medidos durante cierto tiempo, perdiendo dicha información y ocasionando un reporte incompleto de resultados.

Debido a lo anterior se concluye que se necesita manipular los instrumentos de manera cuidadosa para evitar errores. Así mismo, realizar las mediciones varias veces para cerciorarse que las mediciones se están realizando, y de ser posible, utilizar un modelo diferente de sonómetro. Esto debido a todos los inconvenientes que se encontraron a lo largo de este proyecto.

*El presente proyecto queda abierto a nuevas investigaciones que se pudieran realizar en otras áreas de la misma unidad e incluso fuera de ella, con la finalidad de generar ambientes que propicien un correcto espacio para la realización de actividades escolares, tomando en cuenta las especificaciones que se mencionan respecto a las condiciones en las que se debe encontrar el espacio; así mismo se presenta como apoyo un manual que ha sido adaptado a las condiciones de la Ciudad de México, permitiendo una evaluación más confiable para la creación de dichos espacios.*





## BIBLIOGRAFÍA

- 62-1989, ANSI/ASHRAE STANDARD. «Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.» Estados Unidos, 1998.
- Afacan, Y., y C. Erburg. «An Interdisciplinary Heuristic Evaluation Method for Universal Building Design.» *Applied Ergonomics*, 2009: 731 - 744.
- Agüero, Silvia Castillo, y otros. «Biodiversidad del ecosistema del pedregal de San Ángel. Capítulo 10.» *Lot y Cani-Santana*, 2009.
- Alexander, K., M Fenker, J. Granath , A. Hauten, T. K. Vissanen, y ). «Usability of Workplaces.» *CIB Report Publication*, 2008: 316.
- Altomonte, Sergio, Stefano Schiavon, Michael G. Kent, y Gail Brager. «Indoor environmental quality and occupant satisfaction in green-certified buildings.» *Building research & information*, 2017.
- Asmar, Mounir El, Abbas Chokor, y Issam Srour. «Are Building Occupants Satisfied with Indoor Environmental Quality of Higher Education Facilities?» *ELSEVIER*, 2014.
- Balears, Universidad de les Illes. *Prevención de riesgos laborales. UIB*, 2003.
- Baleta, Jakov, Hrvoje Mikulcic, Jiri Jaromir Klemes, Krzysztof Urbaniec, y Neven Duic. «Integration of energy, water and environmental systems for a sustainable development.» *Cleaner production*, 2019.
- Bevan, N. «Measuring Usability as Quality of Use.» *Software Quality*, 1995: 115 - 150.
- Campos, María de los Ángeles Herrera, y Roberto Lücking. «Biodiversidad del ecosistema del pedregal de San Ángel. Capítulo 7.» *Lot y Cano-Santana*, 2009.
- Cano-Santana, Zenon. «Reserva ecológica el pedregal de San Ángel: Ecología, historia natural y manejo.» *Ariel Rojo*, 1994.

- Castañeda, Noemí Chávez, y Marco A. Gurrola Hidalgo. «Biodiversidad del ecosistema del pedregal de San Ángel. Capítulo 19.» Lot y Cano-Santana, 2009.
- Clarkson, J., I. Coleman, Hosking, y S. Waller. «Inclusive Design.» Cambridge Engineering Design, 2007.
- educación, División de políticas y planeamiento de la. Normas y estándares para las construcciones escolares. París: UNESCO, 1985.
- Escobedo, Marcela Pérez, Guillermo Gil Alarcón, Saúl Rodríguez Palacios, Pedro Camarena, y Antonio Lot. «La reserva ecológica del pedregal de San Ángel: atlas de riesgos.» 2012.
- Federación, Diario Oficial de la. «Programa institucional del Instituto Nacional de Infraestructura Física Educativa 2014-2018.» 2014.
- Geng, Yang, Wenjie Ji, Borong Lin, y Yingxin Zhu. *The impact of thermal environmental on occupant IEQ perception and productivity.* ELSEVIER, 2017.
- Gifford, R. «Environmental Psychology.» *Encyclopedia of Human Behavior*, 2012.
- Gopikrishnan, S., y V. M. Topkar. «Attributes and Descriptors for Building Performance Evaluation.» Mumbai, India, 2015.
- Haverinen-Shaughnessy, U., D. J. Moschandreas, y R. J. Shaughnessy. «Association between Substandard Classroom Ventilation Rates and Students Academic Achievement.» *INDOOR AIR*, 2010.
- Haverinen-Shaughnessy, Ulla, Richard sy, Eugene C. Cole, Oluyemi Toyinbo, y Demetrios J. Moschandeas. «An Assessment of Indoor Environmental Quality in Schools and its Association with Healt and Performance.» ELSEVIER, 2014.
- Higuera, Armando Peralta, y Jorge Pardo Molina. «Biodiversidad del ecosistema del pedregal de San Ángel. Capítulo 2.» Lot y Cano-Santana, 2009.

- Horr, Youseg Al, Mohammed Arif, Martha Katafygiotou, Ahmed Mazroei, Amit Kaushik, y Esam Elsarrag. «Impact of Indoor Environmental Quality on Occupant Well-Being and Comfort: A Review of the Literature.» ELSEVIERE, 2016.
- Hortelano-Moncada, Yolanda, Fernando A. Cervantes, y Aída Trejo. «Biodiversidad del ecosistema del pedregal de San Ángel. Capítulo 1.» Lot y Cano-Santana, 2009.
- Huizenga, C., S. Abbaszadeh, L. Zagreus, y E. Arens. «Air Quality and Thermal Comfort in Office Buildings: Results of a Large indoor Environmental Quality Survey.» CBE, 2006.
- Huizenga, C., S. Abbaszadeh, L. Zagreus, y E. Arens. «Air Quality and Thermal Comfort in Office Buildings: Results of a Large Indoor Environmental Quality Survey.» CBE, 2006.
- INEGI. «Volumen y crecimiento. Población total según tamaño de localidad para cada entidad federativa.» 2010.
- Ingrao, Carlo, Antonio Messineo, Riccardo Beltramo, Tan Yigicanlar, y Giuseppe Loppolo. «How can life cycle thinking support sustainability of buildings? Investigatin life cycle assessment applications for energy efficiency and environmental performance.» ELSERVIER, 2018.
- Institute, International Well Building. «The WELL Building Standard.» 2014.
- ISO, 16813:2006. «Building environment design. Indoor environment. General principles.» 2006.
- ISO, 7730. «Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.» s.f.
- Jordan, P. «An Introduction Usability.» Taylor y Francis Group, 2002.
- Klepeis, NE, y otros. «The national human activity pattern survey (NHAPS): un recurso para evaluar la exposición a contaminantes ambientales.» 2001.
- Kluwer, Wolters. «Agentes biológicos.» Guías Jurídicas, 2018.

Laborales, Fundación para la Prevención de Riesgos. «Ambiente Físico, Condiciones Termohigrométricas.» 2008.

Landstrom, Ulf, y Elisabeth Akerlund. *Exposure levels, tonal components, and noise annoyance in working environments.* ELSEVIER, 1994.

López, Fernando Hernández. «Las instituciones de educación superior en México: Origen y evolución.» *Revista de educación y cultura*, 2017.

López, Patricia. «Avistan una zorra gris en el Pedregal.» *Gaceta UNAM* (no. 4899), 2017.

Lourenco, Patricia, Manuel Duarte Pinheiro, y Teresa Heitor. *Light use patterns in Portuguese school buildings: User comfort perception, behaviour and impacts on energy consumption.* Portugal: ELSEVIER, 2019.

M., Claudio Delgadillo, y Ángeles Cárdenas S. «Biodiversidad del ecosistema del pedregal de San Ángel. Capítulo 9.» *Lot y Cano-Santana*, 2009.

M., Turunen, O. Toyinbo, T. Putus, A. Nevalainen, R. Shaughnessy, y U. Haverinen-Shaughnessy. «Indoor Environmental Quality in Schools Buildings, and the Health and Wellbeing of Students.» ELSEVIER, 2013.

Marín, José Pablo Arellano. *Guía del diseño de espacios educativos.* Chile: UNESCO, 1999.

Martí, Consuelo Ibáñez. «Síndrome del Edificio Enfermo (SEE). La maldición de los edificios inteligentes.» *Madrid+d Blogs*, 2009.

Martínez, Francisco Javier Rey, y Rafael Ceña Callejo. *Edificios saludables para trabajadores sanos: Calidad del ambiente interior.* España, 2006.

Mendell, M. J., y G. A. Heath. «Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical of the literature.» *Indoor Air*, 2004.

Michaelis. «Dicionário online da Língua Portuguesa. em: <http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/index.php> - acesso em 2012.» s.f.

- Moncada, Yolanda Hortelano, Fernando A. Cervantes, y Aída Trejo. «Biodiversidad del ecosistema del pedregal de San Ángel. Capítulo 20.» *Lot y Cano-Santana*, 2009.
- Mujan, Igor, Aleksandar Andelkovic, Vladimir Muncan, Miroslav Kljajic, y Dragan Ruzic. «Influence of indoor environmental quality on human health and productivity - A review.» *Journal of cleaner production*, 2019.
- Munter, A. «Usability and User Driven Innovation Unity Or Clash? .» *International FM&REM-Congres* , 2011.
- Naidoo, Merle, y Alexandros Gasparatos. «Corporate environmental sustainability in the retail sector: Drivers, strategies and performance measurement.» *ELSEVIER*, 2018.
- Nielsen, J. «What is Usability?» *Your Guide to Getting Right Design*, 2009: 3 - 22.
- NOM-025-STPS-2008, Norma Oficial Mexicana. *Condiciones de la iluminación en los centros de trabajo*. México, 2008.
- OMS. «Sick Building Sindrome.» 1982.
- Penna, A. C., M Lacerda, J. A. Castro, H. S Rodrigues, I. S. Soares, y P. A. Rehingantz. «Avaliacao Pós Ocupacao (APO) en Edificacoes da Fundacao Oswaldo Cruz.» *NUTAU - UFJR*, 2002.
- Pfautz, J., y E. Roth. «Using Cognitive Engeneering for System Design and Evaluation.» *Journal of Usability Studies*, 2007: 102 - 111.
- Pistore, Lorenza, Francesca Cappelletti, Piercarlo Romagnoni, y Antonio Zonta. «Assessment of the IEQ in two High Schools by Means of Monitring, Surveys and Dynamic Simulation.» *ELSEVIER*, 2015.
- Quang, T. N., C. He, L. D. Knibbs , R. de Dear, y L. Morawska. «Co-optimisation od indoor environmental quality and energy consimption within urban office buildings.» *Energy Build*, 2014: 85, 225-234.
- RAE. *Diccionario de la lengua española*. Madrid, 2018.

- Rasila, H., P. Roth, y H. Kerosuo. «Dimensions of Usability Assessment in Built Environments.» *Journal of Facilities Management*, 2002.
- Regulation, Greek. *Building and planning regulation*. Grecia, 1989.
- Rzedowski, Jerzy. «Reserva ecológica el pedregal de San Ángel: Ecología, historia natural y manejo. Capítulo 1.» Ariel Rojo, 1994.
- Seppänen, O., y W. Fisk. «Association of Ventilation System Type with SBS Symptoms in Office Workers.» *Indoor Air*, 2002.
- Shan, X., AN Melina, y EH Yang. «Impacto de la calidad ambiental interior en el bienestar y el rendimiento de los estudiantes en el edificio educativo a través de la perspectiva del costo del ciclo de vida.» 2018: 298 - 309.
- Solar, Espacio. *Los beneficios de la luz natural*. Tecnología Bioclimática, 2016.
- Sundstrom, E., J. P. Town, R. W. Rice, D. P. Osborn, y M. Brill. «Office noise, satisfaction, and performance.» *Environ*, 1994: 195-222.
- Tookaloo, Ardavan, y Ryan Smith. «Post Occupancy Evaluation in Higher Education.» Chicago, USA, 2015.
- Turunen, Mari, Oluyemi Toyinbo, Tuula Putus, Richard Shaughnessy, y Ulla Haverinen-Shaughnessy. «Indoor Environmental Quality in School Buildings, and the Health and Wellbeing of Students.» ELSEVIER, 2013.
- UNE, Norma 171330:2008. *Calidad ambiental en interiores. Parte 1. Diagnóstico de la calidad del ambiente interior*. España, 2008.
- Valez, Ayde Medina. *La calidad acústica arquitectónica. El ambiente acústico en edificios escolares de nivel superior*. Tecamachalco, Estado de México, 2009.

*Viičeková, S., L. Miciarová, E. Křídlová, J. Katunská, D. Kasíčanová, y S. Doroudiani. «Indoor Environmental Quality of Classrooms and Occupants Comfort in a Special Education School in Slovak Republic.» ELSEVIER, 2017.*

*Wargoeki, P., Z. Bako-Biro, G. Clausen, y P. O. Fanger. «Air Quality in a Simulated Office Environment as a Result of Reducing Pollution Sources and Increasing Ventilation.» Energy Build, 2002.*

*WELL building standar. 2015.*

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Niveles mínimos de iluminación.</i>	23
<i>Tabla 2. Nivel de intensidad sonora.</i>	25
<i>Tabla 3. Niveles y recomendaciones para CO<sup>2</sup>.</i>	27
<i>Tabla 4. Contaminantes y químicos.</i>	30
<i>Tabla 5. Certificaciones.</i>	36
<i>Tabla 6. Atributos para la evaluación del desempeño del edificio.</i>	47
<i>Tabla 7. Características de iluminación y su descripción.</i>	48
<i>Tabla 8. Características y descripción de seguridad y protección.</i>	48
<i>Tabla 9. Categorías del nivel de expectativa.</i>	61
<i>Tabla 10. Rangos de temperatura.</i>	61
<i>Tabla 11. Rangos de humedad relativa.</i>	62
<i>Tabla 12. Rangos de iluminación.</i>	62
<i>Tabla 13. Rangos de ruido.</i>	62
<i>Tabla 14. Rangos de concentración de CO<sup>2</sup>.</i>	62
<i>Tabla 15. Formato de factores que alteran aulas.</i>	68
<i>Tabla 16. Características de aulas medidas.</i>	70
<i>Tabla 17. Formato lleno de los factores que interviene en las mediciones.</i>	73
<i>Tabla 18. Promedios obtenidos en las mediciones.</i>	78
<i>Tabla 19. Correlación de CO<sup>2</sup> con tiempo salón H-302.</i>	83
<i>Tabla 20. Correlación de CO<sup>2</sup> con tiempo salón H-215.</i>	84
<i>Tabla 21. Correlación de CO<sup>2</sup> con humedad salón H-302.</i>	86
<i>Tabla 22. Correlación de CO<sup>2</sup> con humedad salón H-215.</i>	87
<i>Tabla 23. Abreviaciones.</i>	98
<i>Tabla 24. Factores que intervienen en la CAI.</i>	99
<i>Tabla 25. Categorías de la CAI.</i>	99
<i>Tabla 26. Categorías de temperatura.</i>	100



Tabla 27. Categorías de CO <sup>2</sup> .....	101
Tabla 28. Categorías de humedad.....	101
Tabla 29. Categorías de iluminación.....	102
Tabla 30. Categorías de ruido.....	103

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Calidad de ambientes interiores.....	20
Diagrama 2. Calidad ambiental interior.....	21

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráficas 1. Aumento de vida urbana a través de las décadas.....	17
Gráfica 2. Diagrama de B. Civone para el confort.....	29
Gráfica 3. Temperatura del salón H-302.....	79
Gráfica 4. Temperatura del salón H-215.....	79
Gráfica 5. Humedad del salón H-302.....	79
Gráfica 6. Humedad del salón H-215.....	80
Gráfica 7. CO <sup>2</sup> del salón H-302.....	80
Gráfica 8. CO <sup>2</sup> del salón H-215.....	80
Gráfica 9. Iluminación del salón H-302.....	81
Gráfica 10. Iluminación del salón H-215.....	81
Gráfica 11. Ruido del salón H-302.....	81
Gráfica 12. Ruido del salón H-215.....	82
Gráfica 13. Correlación de CO <sup>2</sup> con tiempo salón H-302.....	84
Gráfica 14. Correlación de CO <sup>2</sup> con tiempo salón H-215.....	85
Gráfica 15. Correlación de CO <sup>2</sup> con humedad salón H-302.....	86
Gráfica 16. Correlación de CO <sup>2</sup> con humedad salón H-215.....	87

## ÍNDICE DE IMÁGENES

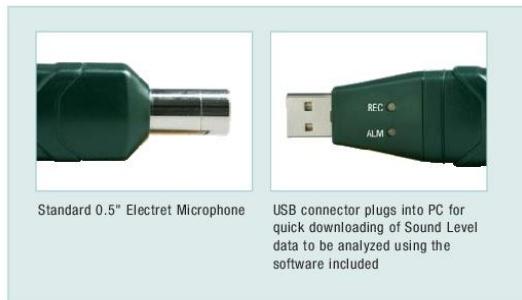
<i>Imagen 1. Síndrome del edificio enfermo.</i>	19
<i>Imagen 2. Salud, bienestar y rendimiento.</i>	52
<i>Imagen 3. Ubicación de la Unidad de Posgrado.</i>	58
<i>Imagen 4. Sound level datalogger.</i>	62
<i>Imagen 5. HOBO datalogger.</i>	63
<i>Imagen 6. HOBO mx CO<sup>2</sup> datalogger.</i>	63
<i>Imagen 7. Calibración de HOBO.</i>	65
<i>Imagen 8. Programación de sonómetro.</i>	66
<i>Imagen 9. Programación de HOBO.</i>	67
<i>Imagen 10. Planta arquitectónica de la Unidad de Posgrado.</i>	69
<i>Imagen 11. Medición en aulas.</i>	70
<i>Imagen 12. Colocación de instrumentos de medición.</i>	70
<i>Imagen 13. Ubicación de aulas de clase.</i>	71
<i>Imagen 14. Aula H-302.</i>	71
<i>Imagen 15. Aula H-302.</i>	71
<i>Imagen 16. Aula H-302.</i>	71
<i>Imagen 17. Aula H-215.</i>	72
<i>Imagen 18. Aula H-215.</i>	72
<i>Imagen 19. Aula H-215.</i>	72
<i>Imagen 20. Escala de colores de acuerdo a las categorías.</i>	77
<i>Imagen 21. Ficha para recabar resultados.</i>	88
<i>Imagen 22. Ficha de resultados salón H-302.</i>	89
<i>Imagen 23. Ficha de resultados salón H-215.</i>	90
<i>Imagen 24. Ficha de resultados.</i>	105
<i>Imagen 25. Ejemplo de llenado de ficha de resultados.</i>	106

## USB Sound Level Datalogger

 **High accuracy datalogging of up to 129,920 records**  
Designed to meet ANSI and IEC 61672 Class 2 standards

### Features:

- USB interface for easy setup and data download
- 30 to 130dB range
- Datalogging capability up to 129,920 records
- Selectable data sampling rate
- Records readings with real time clock
- Two start methods: programmed (from PC) or manual
- 0.5" electret microphone
- Includes 3.6V Lithium battery, Windows<sup>®</sup> compatible software, USB cover, tripod, USB extension cable, and windscreen



Specifications	
Range	30 to 130dB
Frequency Range	31.5 to 8kHz
Basic accuracy	±1.4dB
Weighting	A and C
Response Time	Fast (125ms)/Slow (1s)
Datalogging	129,920 points
PC Interface	USB
Dimensions	5.1 x 1.1 x 0.9" (130 x 30 x 25mm)
Weight	1oz (20g)

### Ordering Information:

- 407760 .....USB Sound Level Datalogger  
 407760-NISTL .....USB Sound Level Datalogger with NIST Certificate (single point)  
 42299 .....3.6V Lithium Battery (pkg of 2)





## HOBO<sup>®</sup> U12-013 Data Logger

### Temperature/Relative Humidity/2 External Channel Data Logger

The HOBO U12-013 data logger has a built in temperature and relative humidity sensor along with 2 external channels for a wide range of energy and environmental sensors. This product can store up to 43,000 measurements of 12-bit resolution readings.

#### Supported Measurements:

4-20mA, AC Current, AC Voltage, Air Velocity, Carbon Dioxide, Compressed Air Flow, DC Current, DC Voltage, Gauge Pressure, Kilowatts (kW), Relative Humidity, Temperature and Volatile Organic Comp.



#### Key Advantages:

- 12-bit resolution provides high accuracy
- Large memory for long-term deployments or fast sampling
- Programmable and push button start
- Direct USB interface for fast data offload
- Compatible with Onset's HOBO U-Shuttle for convenient data transport
- Compatible with HOBOWare and HOBOWare Pro for logger setup, graphing and analysis

## HOBO U12-013 Data Logger Specifications

### Measurement Range

**Temperature:** -20° to 70°C (-4° to 158°F)

**RH:** 5% to 95% RH

**Analog channels:** 0 to 2.5 Vdc (w/CABLE-2.5-STEREO); 0 to 5 Vdc (w/CABLE-ADAP5); 0 to 10 Vdc (w/ CABLE-ADAP10); 4-20 mA (w/CABLE-4-20MA)

### Accuracy

**Temperature:**  $\pm 0.35^{\circ}\text{C}$  from 0° to 50°C ( $\pm 0.63^{\circ}\text{F}$  from 32° to 122°F)

**RH:**  $\pm 2.5\%$  from 10% to 90% RH (typical), to a maximum of  $\pm 3.5\%$ , see Plot B in manual

External input channel (see sensor manual):  $\pm 2\text{ mV} \pm 2.5\%$  of absolute reading

### Resolution

**Temperature:** 0.03°C at 25°C (0.05°F at 77°F), see Plot A in manual

**RH:** 0.05% RH

**Sample rate:** 1 second to 18 hours, user selectable

### Drift

**Temperature:** 0.1°C/year (0.2°F/year)

**RH:** <1% per year typical; RH hysteresis 1%

**Time accuracy:**  $\pm 1$  minute per month at 25°C (77°F), see Plot C in manual

Response time in airflow of 1 m/s (2.2 mph)

**Temperature:** 6 minutes, typical to 90%

**RH:** 1 minute, typical to 90%

### Operating temperature

**Logging:** -20° to 70°C (-4° to 158°F); 0 to 95% RH (non-condensing)

**Launch/readout:** 0° to 50°C (32° to 122°F), per USB specification

**Battery life:** 1 year typical use

**Memory:** 64K bytes (43,000 12-bit measurements)

**Weight:** 46 g (1.6 oz)

**Dimensions:** 58 x 74 x 22 mm (2.3 x 2.9 x 0.9 inches)

The CE Marking identifies this product as complying with all relevant directives in the European Union (EU).

# HOBO® MX CO<sub>2</sub> Logger (MX1102) Manual



The HOBO MX CO<sub>2</sub> data logger records carbon dioxide, temperature, and relative humidity (RH) data in indoor environments using non-dispersive infrared (NDIR) self-calibrating CO<sub>2</sub> sensor technology and integrated temperature and RH sensors. This Bluetooth® Low Energy-enabled logger is designed for wireless communication with a mobile device and also supports a USB connection. Using the HOBOMobile® app on your phone or tablet or HOBOWare software on your computer, you can easily configure the logger, read it out, and view plotted data. The logger can calculate minimum, maximum, average, and standard deviation statistics and can be configured to trip audible or visual alarms at thresholds you specify. In addition, it supports burst logging in which data is logged at a different interval when sensor readings are above or below certain limits. This logger also has a built-in LCD screen to display the current CO<sub>2</sub> level, temperature, RH, logging status, battery use, memory consumption, and more.

## HOBO MX CO<sub>2</sub> Logger

MX1102

### Included Items:

- Four AA 1.5 V alkaline batteries

### Required Items:

- HOBOMobile app and device with iOS 8.3–9.0 or Android™ 4.4, 5.0, or 5.1 and Bluetooth 4.0  
OR
- HOBOWare 3.7.3 or later and USB cable

### Accessories:

- Mounting kit with mounting brackets, screws, tie wraps, and Command™ strip

## Specifications

### Temperature Sensor

Range	0° to 50°C (32° to 122°F)
Accuracy	±0.21°C from 0° to 50°C (±0.38°F from 32° to 122°F), see Plot A
Resolution	0.024°C at 25°C (0.04°F at 77°F), see Plot A
Drift	<0.1°C (0.18°F) per year

### RH Sensor\*

Range	1% to 70% RH when CO <sub>2</sub> sensor is enabled (non-condensing) 1% to 90% RH when CO <sub>2</sub> sensor is disabled (non-condensing)
Accuracy	±2% from 20% to 80% typical at 25°C (77°F), see Plot B
Hysteresis	±2% RH
Resolution	0.01% at 25°C (77°F)
Drift	<1% per year typical

### CO<sub>2</sub> Sensor

Range	0 to 5,000 ppm
Accuracy	±50 ppm ±5% of reading at 25°C (77°F), less than 70% RH and 1,013 mbar
Warm-up Time	15 seconds
Calibration	Auto or manual to 400 ppm
Non-linearity	<1% of FS
Pressure Dependence	0.13% of reading per mm Hg (corrected via user input for elevation/altitude)
Operating Pressure Range	950 to 1,050 mbar (use Altitude Compensation for outside of this range)
Compensated Pressure Range	-305 to 5,486 m (-1,000 to 18,000 ft)
Sensing Method	Non-dispersive infrared (NDIR) absorption

### Response Time

Temperature	12 minutes to 90% in airflow of 1 m/s (2.2 mph)
RH	1 minute to 90% in airflow of 1 m/s (2.2 mph)
CO <sub>2</sub>	1 minute to 90% in airflow of 1 m/s (2.2 mph)

### Logger

Radio Power	1 mW (0 dBm)
Transmission Range	Approximately 30.5 m (100 ft) line-of-sight
Wireless Data Standard	Bluetooth Low Energy (Bluetooth Smart)
Logger Operating Range	0° to 50°C (32° to 122°F); 0 to 95% RH (non-condensing)

\*Per RH sensor manufacturer data sheet

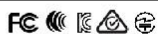
Note: The HOBO U-Shuttle (U-DT-1) is not compatible with this logger.

Specifications (continued)

<b>Logging Rate</b>	1 second to 18 hours
<b>Logging Modes</b>	Fixed interval (normal, statistics) or burst
<b>Memory Modes</b>	Wrap when full or stop when full
<b>Start Modes</b>	Immediate, push button, date & time, or next interval
<b>Stop Modes</b>	When memory full, push button, date & time, or after a set logging period
<b>Time Accuracy</b>	±1 minute per month at 25°C (77°F), see Plot C
<b>Power Source</b>	4 AA 1.5 Volt batteries (user replaceable) or USB power source (5 V DC, 2 Watts)
<b>Battery Life</b>	6 months, typical with logging and sampling intervals of 5 minutes or slower; 6 months or less with logging and sampling intervals faster than 5 minutes while logging CO <sub>2</sub> . Entering burst logging mode will impact battery life. With HOBOMobile use, battery life can be reduced by remaining connected, excessive readouts, checking of Full Status Details, audible alarms, and paging. Visual/audible alarms and other events can have a marginal impact on battery life.
<b>Memory</b>	128 KB (84,650 measurements, maximum)
<b>Download Type</b>	USB 2.0 interface or via Bluetooth Smart
<b>Full Memory Download Time</b>	20 seconds via USB; approximately 60 seconds via Bluetooth Smart, may take longer the further the device is from the logger
<b>LCD</b>	LCD is visible from 0° to 50°C (32° to 122°F); the LCD may react slowly or go blank in temperatures outside this range
<b>Size</b>	7.62 x 12.95 x 4.78 cm (3.0 x 5.1 x 1.88 inches)
<b>Weight</b>	267.4 g (9.43 oz)
<b>Environmental Rating</b>	IP50



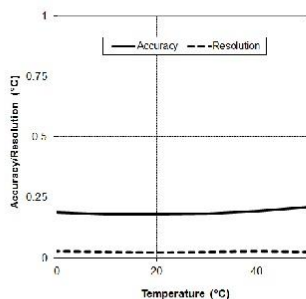
The CE Marking identifies this product as complying with all relevant directives in the European Union (EU).



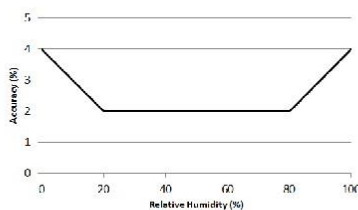
See last page

\*Per RH sensor manufacturer data sheet

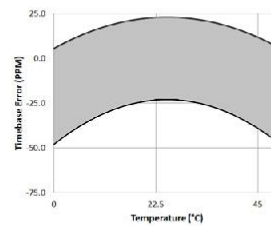
Note: The HOBO U-Shuttle (U-DT-1) is not compatible with this logger.



Plot A: Temperature Accuracy and Resolution



Plot B: Typical RH Accuracy\*



Plot C: Time Accuracy