

CALIDAD DE AIRE INTERIOR EN AMBIENTES CERRADOS, CASO DE ESTUDIO: INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL

Iván Alexander Wong González¹, Gabriela Rosas Correa²,
Ricardo Enrique Vega Azamar³, Laura Isabel Guarneros Urbina⁴

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 13/06/2019 Aceptado: 20/09/2019 Publicado: 03/12/2019

Resumen.- La calidad de aire interior en los últimos años ha sido una de las principales causas en daños a la salud del ser humano, provocando complicaciones en el sistema inmunológico, entre otros padecimientos. La alta concentración de contaminantes en el interior de espacios habitables perjudica la estabilidad, rendimiento y confort del usuario quien a menudo no está consciente del problema. La investigación determina el grado de influencia de los emisores contaminantes de tipo aire acondicionado en la estabilidad de los niveles de dióxido de carbono recomendado para espacios habitables tomando como caso de estudio ambientes cerrados del Instituto Tecnológico de Chetumal. Mediante equipo especializado de CO₂, se hicieron mediciones en lapsos de 160 horas y se aplicaron encuestas a los ocupantes. Se encontraron irregularidades en concentraciones de CO₂ en cada uno de los sitios monitoreados, observándose que dependen de las dimensiones, de su relación con el entorno y las condiciones de uso.

Palabras clave: Calidad de aire interior; dióxido de carbono; espacios habitables; ambientes cerrados

INDOOR AIR QUALITY IN ENCLOSED ENVIRONMENTS, STUDY CASE: INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL

Abstract.- Indoor air quality in the last few years has been one of the main causes on health damage to human beings, provoking complications in the immunological system, among other conditions. The high concentration of pollutants inside habitable spaces harm the stability, comfort and performance of the user who is usually unaware of the problem. This research determines the degree of influence of pollutant emitters like air conditioners in the stability of carbon dioxide levels recommended for habitable spaces, taking as a study case the enclosed environments at Chetumal's Institute of Technology. Through specialized equipment of carbon dioxide, measures were made in lapses of 160 hours and surveys were applied to the occupants. Irregularities in concentrations of carbon dioxide were found in each of the monitored spaces, observing that they depend on the dimensions, on their relation with the environment and on the conditions of use.

Keywords: Indoor air quality; carbon dioxide; habitable spaces; enclosed environments.

Introducción

La calidad de aire se define como la manifestación de contaminantes que llega a un receptor más o menos lejano de la fuente emisora, una vez transportado y distribuido a la atmosfera (Troposfera, 2005). Asimismo, el termino calidad de aire interior, se aplica a entornos no industriales, como: edificios de oficinas, edificios públicos y viviendas.

En la actualidad, las personas pasan el 90% del tiempo en ambientes cerrados, por lo que una mala calidad de aire interior puede dañar la salud y provocar a su vez síntomas de migraña, irritación, variedad de alergias e incluso enfermedades respiratorias, como también una inadecuada productividad laboral (Servicios de Ingeniería Ambiental SIA BZF, 2015).

¹ Iván Alexander Wong González. Estudiante de la Maestría en Urbanismo en el Instituto Tecnológico de Chetumal, Tecnológico Nacional de México /I. T. Chetumal, alexanderwglez@gmail.com (**Autor correspondiente**)

² Gabriela Rosas Correa. Docente del Instituto Tecnológico de Chetumal, Tecnológico Nacional de México /I. T. Chetumal.

³ Ricardo Enrique Vega Azamar. Profesor-Investigador del Instituto Tecnológico de Chetumal, Tecnológico Nacional de México /I. T. Chetumal.

⁴ Laura Isabel Guarneros Urbina. Docente del Instituto Tecnológico de Chetumal, Tecnológico Nacional de México /I. T. Chetumal.

En definitiva, una mala calidad del aire interior se refiere a un alto índice de contaminantes en ambientes cerrados, ya que la presencia de estos compuestos es ineludible. Un ejemplo claro de estos agentes contaminantes es el CO₂, este compuesto es un gas incoloro e inodoro que está conformado por un átomo de carbono y dos de oxígeno, por sí solo no es dañino, ni nocivo para la salud, es un agente natural esencial para el ciclo biológico de las plantas y cosechas, por lo tanto, es altamente beneficioso para la vida en el planeta, sin embargo, si se libera en grandes cantidades en interiores, es nocivo para la salud.

Por otra parte, el CO₂ también es generado por los seres humanos, ya que de manera natural producen dióxido de carbono, además de aerosoles biológicos, vapor de agua y partículas. Por otro lado, dentro de los espacios habitables existen elementos contaminantes que son generados por el propio edificio, ya sea por las modificaciones constantes que sufre de manera natural, por su contenido o por su propia ubicación y también se generan por el uso de productos de limpieza, mantenimiento y artículos de belleza.

Así pues, el objetivo de la investigación es determinar el grado de influencia de los equipos de enfriamiento del tipo A/A en los niveles de CO₂, recomendado para espacios habitables, tomando como caso de estudio el área de cubículos del edificio T y el área de oficina del laboratorio de arquitectura del Instituto Tecnológico de Chetumal (ITCh).

Materiales y Métodos

Dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico de Chetumal, se llevó a cabo el monitoreo de CO₂ en ambientes cerrados. La investigación determina el grado de influencia de los emisores contaminantes de tipo aire acondicionado (A/A) en la estabilidad de los niveles de dióxido de carbono recomendado en espacios habitables. Llevando un registro de datos cualitativos y cuantitativos, tal como lo indica Sampieri en el libro Metodología de la Investigación (2014).

Los datos cuantitativos se obtuvieron mediante equipo especializado en el monitoreo de CO₂ en lapsos de 160 horas de funcionamiento y los datos cualitativos mediante encuestas perceptuales a los ocupantes de las instalaciones. A continuación, se expone en la Tabla 1 las variables que se tomaron en cuenta para la investigación.

Tabla 1. Clasificación de variables no controladas independientes y dependientes (elaboración propia)

Variables Independientes	Variables Dependientes
<ul style="list-style-type: none"> • Espacios de monitoreo • Número de habitantes en el espacio • Estructura del espacio habitables • Uso del espacio • Uso de los equipos de enfriamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Humedad interior • Temperatura interior • Concentraciones de CO₂

Para efectuar el monitoreo se contó con un equipo medidor de concentraciones de CO₂, que puede apreciarse en la Figura 1. El equipo se configuró de manera manual y cuenta con memoria interna que almacena los registros realizados para después ser exportados a una base de datos. El instrumento de monitoreo realizó alrededor de 4 a 8 registros durante el día, en un lapso de tiempo de una semana, teniendo una duración de aproximadamente 160 horas de uso. Cabe señalar que los monitoreo se realizó en las condiciones en las que se encontraba el espacio, no se manipuló nada al momento de empezar con la operación.



Figura 1. Instrumento de monitoreo de CO₂ (VAISALA, 2016)

Asimismo, se diseñó una ficha de control para el levantamiento de campo con la finalidad de conocer las características en las que se encontraba el entorno habitable, resaltando aspectos como fecha y hora en que inició y finalizó el monitoreo, datos generales del edificio y su uso, número de ocupantes, horarios de trabajo, horario de uso de equipos de ventilación mecánica, aspectos sociales, además de un levantamiento en croquis del espacio, indicando: orientación, puertas, ventanas y vegetación, si ése fue el caso.

Resultados

En la Figura 2 se observa el croquis de la planta baja del edificio T y en la Figura 3 se muestra el área donde se realizó el monitoreo. Igualmente, en la Figura 4, se ilustra el croquis general del laboratorio de arquitectura y la sección de la oficina puede apreciarse en la Figura 5. Se indican los lugares en los que se encuentran colocados los equipos de enfriamiento mecánico respectivamente, de tal forma que se ilustre gráficamente la distribución del aire acondicionado dentro del espacio ocupado y la dimensión de cada entorno donde se hizo el estudio.

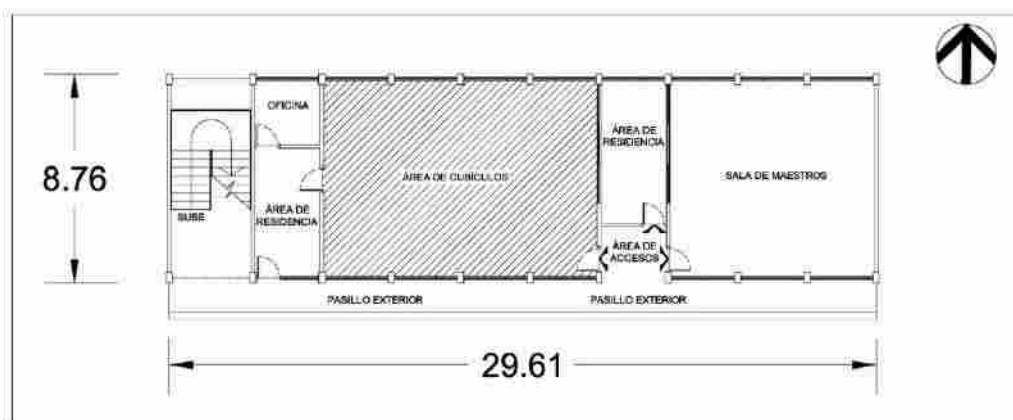


Figura 2. Croquis de levantamiento planta baja Edificio T (elaboración propia).

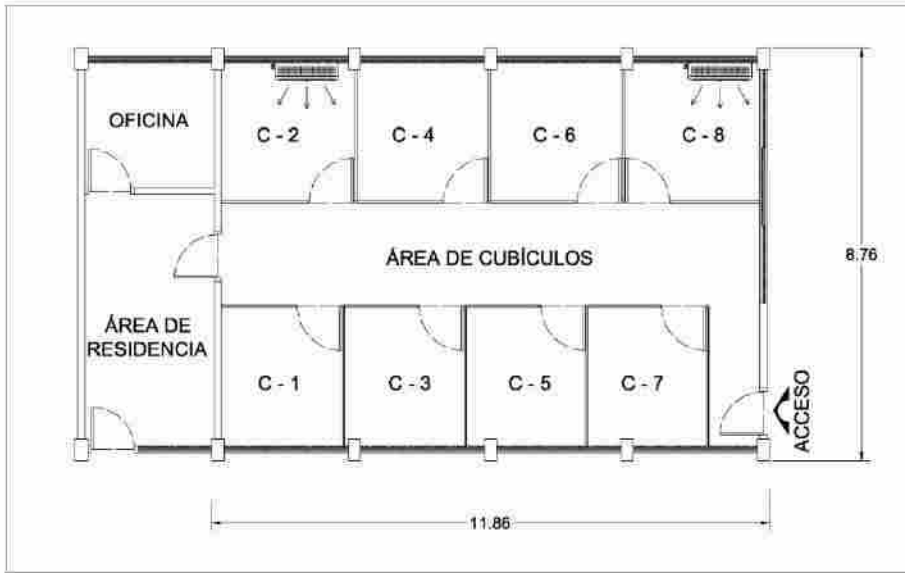


Figura 3. Sección del área monitoreada del Edificio T (elaboración propia).

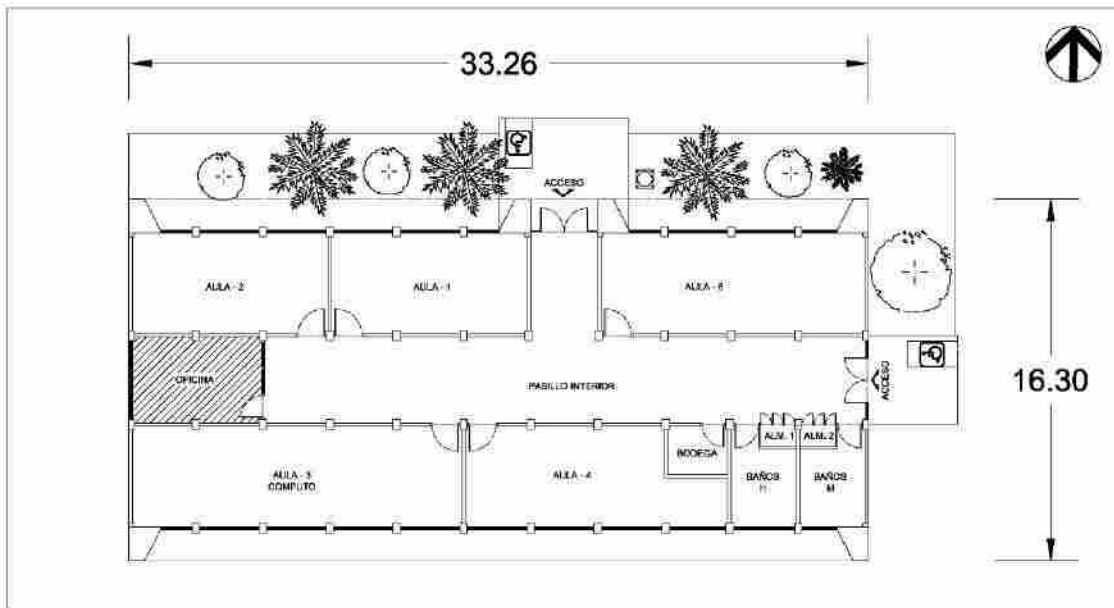


Figura 3. Croquis del Laboratorio de Arquitectura (elaboración propia).

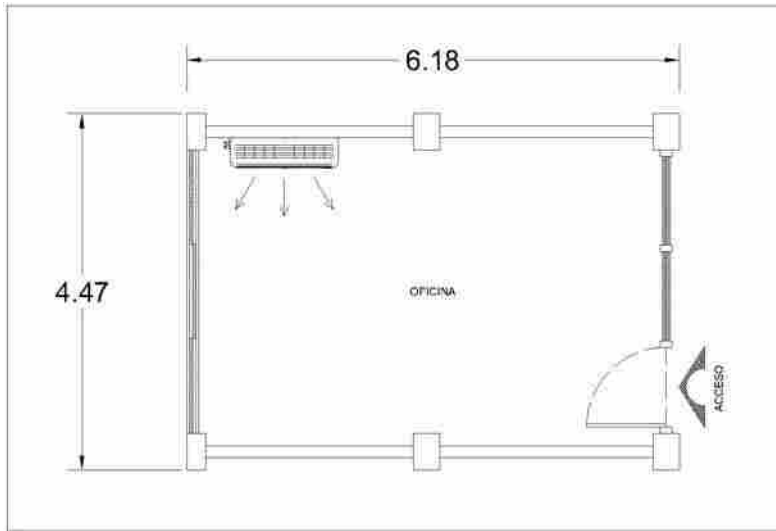
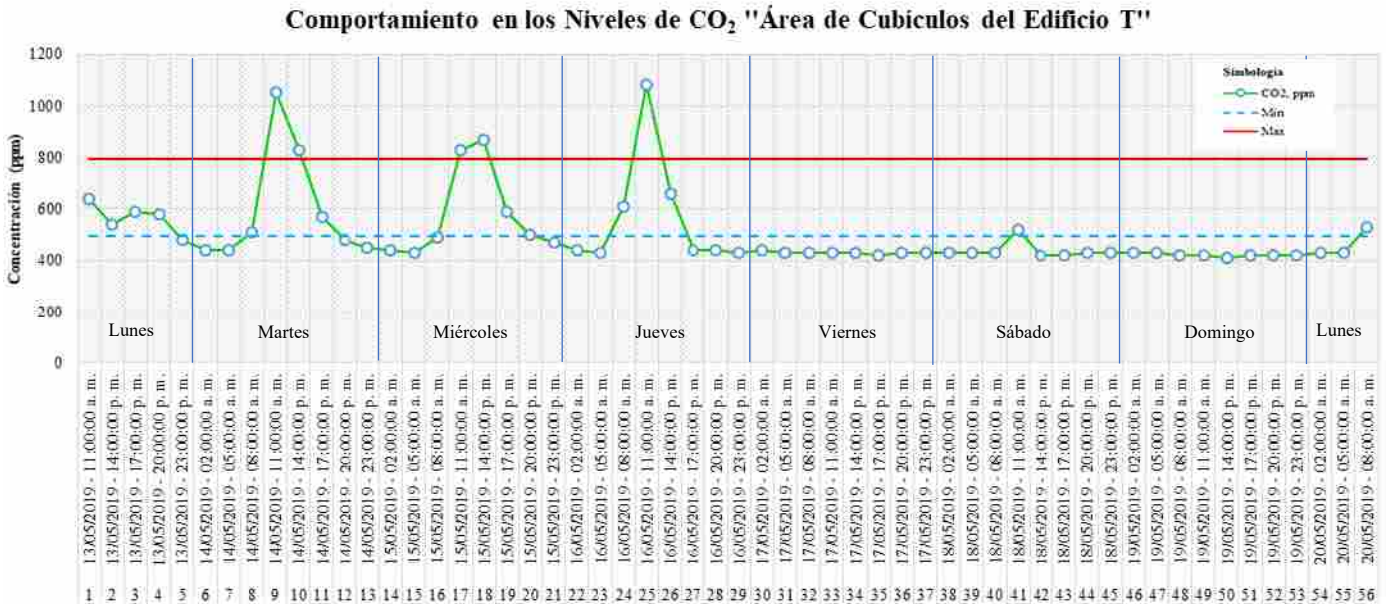


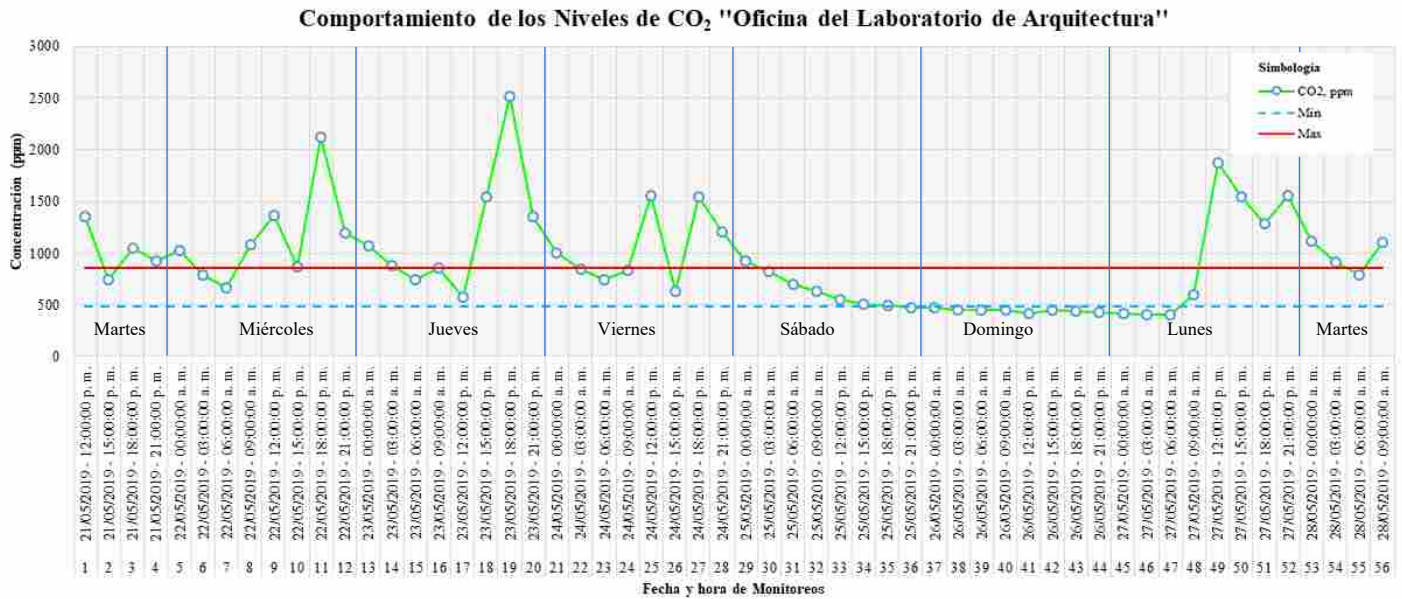
Figura 4 . Sección del área monitoreada del Laboratorio de Arquitectura (elaboración propia).

Los resultados obtenidos durante el análisis son representados en las gráficas para entender como interactúa el CO₂ dentro de los espacios habitables en un lapso de tiempo de 160 horas. Cada espacio fue monitoreado durante 7 días, para tener datos precisos. De esta manera, se puede tener un margen de comparación más amplio, ya que comúnmente los estudios de calidad de aire interior se llevan a cabo con monitoreos de una semana o más. Se tamizaron los 2 casos analizados, los cuales presentaron anomalías críticas en niveles de calidad de aire interior. A continuación, se presentan los resultados en las siguientes gráficas.



Gráfica 1. Comportamiento de CO₂ en el área de cubículos (elaboración propia).

Nota: Los registros monitoreados del día viernes son bajos, ya que, fue inhábil para la Institución



Gráfica 2. Comportamiento de CO₂ en oficina del Laboratorio de Arquitectura (elaboración propia).

De acuerdo a lo que se observa en las gráficas anteriores, la línea continua representa el rango más alto recomendable (800 ppm) de partículas por millón (ppm) registradas y la línea discontinua el menor (500 ppm). Estos datos se obtuvieron del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de Madrid (INSHT). Así mismo, el eje vertical de la gráfica representa la concentración de ppm y el horizontal las fechas y horas de toma de datos.

Discusión

La mayor concentración de CO₂ se presentó en la oficina del laboratorio de arquitectura alcanzando un punto de concentración entre los 1050 ppm a 2520 ppm, como se observa en la Gráfica 2. Cabe señalar que las concentraciones más altas se presentaron entre las 12 del día y las 6 de la tarde, a diferencia del monitoreo realizado en el área de cubículos del edificio T, donde se alcanzó una concentración máxima de 1050 ppm a 1080 ppm a diferencia de lo que se encontró en la oficina del laboratorio de arquitectura. Asimismo, los índices más altos encontrados en el área de cubículos tuvieron lugar entre las 11 de la mañana y las 2 de la tarde como se observa en la Gráfica 1.

Las concentraciones de CO₂ registradas al realizar el monitoreo en cada una de los espacios analizados fueron críticas, esto se debe a diferentes factores como: su distribución, horarios de uso de los equipos mecánicos de ventilación, usos del espacio, horarios de trabajo, dimensión, etc. Es importante recalcar que dentro del área de cubículos se encontraron dos casos particulares de sensibilidad al entorno en los cuales se presentaron síntomas como: fatiga mental, dolor de cabeza, irritación de nariz y garganta e infección en las vías respiratorias a diferencia de la oficina donde no se presentó ningún caso crítico a la salud.

Para comparar los resultados se utilizaron normas oficiales y documentos que avalan los índices estandarizados de concentrados del tipo dióxido de carbono en espacios habitables. Como se puede observar, ciertamente existen problemas de concentraciones altas de CO₂ en la oficina del laboratorio de arquitectura, esto puede ocasionar diversas dificultades relacionadas con la calidad de aire y este problema está vinculado con la restricción de la ventilación del espacio, ya que sus condiciones de habitabilidad son muy diferentes al del área de cubículos del edificio T.

Por otra parte, en el proceso de monitoreo de Dióxido de Carbono en las dos áreas estudiadas en todo momento sobrepasaron los 1000 ppm. Estos resultados mantienen la hipótesis de que los equipos de enfriamiento mecánico influyen en los niveles de calidad de aire interior en espacios habitables, los dos espacios poseen ventilación mecánica del tipo minisplit, además de que puertas y ventanas disponen de elementos que impiden una ventilación adecuada en el entorno.

A continuación, se presentan los estudios realizados a fin para comparación de los resultados que se obtuvieron en el proceso de monitoreo e investigación.

Se entiende que el CO₂ en un gas no dañino para la salud humana, pero en altas concentraciones puede ser letal, ya que puede ser asfixiante debido a la reducción de oxígeno. El umbral de concentración para efectos en la salud se detalla en la Tabla 2. El CO₂ es 1.5 más pesado que el aire con el cual interactuamos (Lide, 2003).

Tabla 2. Efectos a la exposición respiratoria de dióxido de carbono.
(Baxter, 2000; Faivre-Pierret and Le Guern, 1983 and refs therein; NIOSH, 1981).

Límite de exposición (% en el aire)	Efectos en la salud
2 – 3	Imperceptible en reposo, pero en actividad marcada falta de aliento.
3	Respiración se hace notoriamente más profunda y más frecuente durante el reposo.
3 – 5	Aceleramiento del ritmo respiratorio. Repetida exposición provoca dolor de cabeza.
5	Respiración se hace extremadamente dificultosa dolores de cabeza, transpiración y pulso irregular.
7.5	Respiración acelerada, promedio cardíaco aumentado, dolor de cabeza, transpiración, mareos, falta de aliento, debilidad muscular, pérdida de habilidades mentales, somnolencia y zumbido auricular.
8 – 15	Dolor de cabeza, vértigo, vómitos, pérdida de conciencia y posible muerte si el paciente no recibe oxígeno inmediatamente.
10	Agotamiento respiratorio avanza rápidamente con pérdida de conciencia en 10 – 15 minutos.
15	Concentración letal, la exposición por encima de este nivel es intolerable.
25+	Convulsiones y rápida pérdida de conciencia luego de unas pocas aspiraciones. Si se mantiene el nivel, deviene la muerte.

La Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE), constantemente elabora estudios abordando temas de la contaminación en ambientes interiores y con tales objetivos han desarrollado niveles estándar para conservar una calidad del ambiente interior adecuado y conservar la salud y en confort del habitante.

Uno de los estándares más importantes que se relacionan con la calidad de aire interior es el ASHRAE 62; a esta guía se le conoce como “Ventilación para la calidad de aire aceptable”. En él se incluye una serie de prácticas y elementos tecnológicos para ayudar a contrarrestar el aumento de organismos, prevenir y remover contaminantes. Asimismo, se menciona que la ventilación recomendada en oficinas es de 8.0 L/seg. por persona y la concentración de CO₂ recomendada es de <1000 ppm; esta cifra es con la que debe contar un ambiente interior para garantizar el confort para la mayoría de las personas que entren al lugar (Flores de Jesus , 2008).

Por otra parte, la falta de aporte de aire exterior puede elevar los índices de CO₂. El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de Madrid (2015), menciona que la renovación mínima del aire de los locales de trabajo, es de 30 m³ de aire limpio por cada hora y por trabajador, en el caso de trabajos sedentarios en entornos no calurosos, ni contaminados por el humo de tabaco es de 50 m³, como también en los casos restantes con el fin de evitar un ambiente viciado y con olores desagradables.

El sistema de ventilación empleado y en particular, la distribución de las entradas de aire limpio y salidas de aire viciado, deberán asegurar una efectiva renovación del aire del área de trabajo. Igualmente, el Centro Nacional de condiciones de trabajo (2000), menciona que el límite de exposición profesional del INSHT para exposiciones diarias de 8 horas es de 5.000 ppm con un valor límite para exposiciones cortas de 15 minutos de 15.000 ppm.

Estos valores son complicados de encontrar en entornos interiores no industriales como son oficinas, escuelas y servicios en general. En la práctica, en estos recintos se encuentran índices de 2.000 y hasta 3.000 ppm. Si se rebasan estos niveles puede deberse a una combustión incontrolada, en este caso el riesgo para la salud puede no ser resultado del dióxido de carbono sino a la disposición de otros subproductos de la combustión, principalmente el monóxido de carbono (CO), donde el límite de exposición es muy inferior a los 25 ppm (CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO, 2000).

Por otra parte, el termino cambios de aire por hora está íntimamente ligado con la calidad del aire interior, este se puede definir como una forma de medir la renovación del aire en un volumen dado por una unidad de tiempo. Se expresa por porcentajes de volumen renovado por hora (Stamper & Koral, 1979).

Esta acción es crucial, ya que el proceso de ventilación es la técnica de remplazar el aire ambiental existente en el interior de un espacio, el cual se considera inadecuado porque carece de una temperatura adecuada, pureza o humedad, por otro que aporte una mejora a estas características. Para lograr el cometido se emplea un sistema de extracción de aire y otro de inyección, y a su vez esto provoca el barrido de aire que se llevara todas las partículas no deseadas. Para poder emplear el termino de ventilación es necesario que existan parámetros adecuados de inyección, extracción y barrido de aire dentro del edificio (Nieto, 2012).

Es importante mencionar que el Reglamento de Desarrollo Urbano y Seguridad Estructural para el Municipio de Othón P. Blanco (2003), en su artículo 38, establece los mínimos de ventilación artificial que garanticen condiciones aceptables de ventilación a sus ocupantes, haciendo referencia a la siguiente Tabla.

Tabla 2. Cambios de volumen de aire por tipo de local (elaboración propia con base en H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco (2003)

Áreas	Cambios por hora
Vestíbulos	1 cambio por hora
Locales de trabajo y Reunión en general, y Sanitarios domésticos	6 cambios por hora
Cocinas domésticas, Baños públicos, Cafeterías, Restaurantes y Estacionamientos.	10 cambios por hora
Cocinas en comercios de alimentos	20 cambios por hora
Centros nocturnos, Bares, Salones de fiesta y Salones de gimnasia	25 cambios por hora

La humedad relativa del aire acondicionado deberá ser del 50% + - 5%, los sistemas tendrán filtros mecánicos o porosos que propicien una limpieza adecuada. Es fundamental que en los locales un sistema de aire acondicionado que requiera condiciones herméticas, de la misma forma, se instalarán ventilas de emergencias hacia áreas exteriores con áreas cuando menos del CH= 12% de lo que se indica en el artículo 38 del mencionado Reglamento.

Conclusiones

Es bien sabido que las áreas que están dotadas con equipos de aire acondicionado son más vulnerables a padecer altos niveles de concentración de dióxido de carbono. También se puede observar que una de las áreas monitoreadas, además de contar con equipos de enfriamiento mecánico sus puertas y ventanas cuentan con aditamentos que perjudican la circulación del aire dentro del espacio o se encuentran dentro de una edificación como es el caso de la oficina del laboratorio de arquitectura, esto ocasiona un estancamiento y dificulta la filtración del aire de los espacios.

Por lo que se puede concluir que las emisiones de CO₂ producidas por el uso de equipos de enfriamiento mecánico sí afectan la calidad de aire interior en ambientes laborales, ya que existen además de dióxido de carbono otros compuestos que al combinarse con este alteran los estándares que establece el INSHT y ASHRAE.

Muchas veces los sistemas de ventilación mecánica se colocan en estos espacios para mejorar el confort de la temperatura en el ambiente interior, y así prevenir que se introduzcan contaminantes que se originan en el exterior, pero se ignoran las consecuencias que se pueden generar por su uso de estos equipos y muy pocas veces se realizan los estudios necesarios del área para mejorar las condiciones de habitabilidad y de calidad de aire interior antes de colocarlos.

Con los resultados obtenidos se pone de manifiesto que las instalaciones de los equipos de enfriamiento mecánico deben estar relacionadas con un adecuado sistema de intercambio de aire interior y exterior para consolidar y resguardar una correcta ventilación que obedezca los estándares establecidos. Además de que con los datos que genere una campaña permanente de monitoreo, se puede llevar un control de información de la situación de calidad de aire interior de la edificación y el entorno habitado y de su correcta e incorrecta ventilación.

Bibliografía

- Ayuntamiento de Othón P. Blanco. (2003, mayo 29). Artículo 38.- MÍNIMOS DE VENTILACIÓN ARTIFICIAL. Periódico Oficial del Estado, Reforma, 30. 2019, julio 19, De www.opb.gob.mx/ Base de datos.
- Baxter, P.J., 2000. Gases. In: P.J. Baxter, P.H. Adams, T.-C. Aw, A. Cockcroft and J.M. Harrington (Editors), *Hunter's Diseases of Occupations*. Arnold, London, pp. 123-178. <https://www.ivhnh.org/index.php/es/information/information-different-volcanic-gases/carbon-dioxide>
- CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO. (2000). NTP 549: El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Faive-Pierret, R. and Le Guern, F., 1983. Health risks linked with inhalation of volcanic gases and aerosols. In: H. Tazieff and J.C. Sabroux (Editors), *Forecasting Volcanic Events*. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, pp. 69-81. <https://www.ivhnh.org/index.php/es/information/information-different-volcanic-gases/carbon-dioxide>
- Flores, J. (2008). Determinación de las concentraciones de Dióxido de Carbono en salones de escuelas elementales del distrito escolar de Caguas II. Puerto Rico: B.S., Química Industrial, Universidad de Puerto Rico - Humacao.
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P.. (2014). Metodología de la Investigación. México: McGraw Hill Education. http://ut.suagm.edu/sites/default/files/uploads/Centro-Estudios-Doctorales/Tesis-2005-06/Tesis-2008-09/8_Flores_J_Tesis_UT_2008.pdf
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2015). Calidad de ambiente interior en oficinas; identificación, análisis y priorización de actuación frente al riesgo. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).
- Lide, D.R. (2003-2004) CRC Handbook of Chemistry and Physics. 84th Edition, CRC Press, Florida, USA. <https://www.ivhnh.org/index.php/es/information/information-different-volcanic-gases/carbon-dioxide>

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 1981. Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, DHHS (NIOSH) Publication No. 81-123. <https://www.ivhhn.org/index.php/es/information/information-different-volcanic-gases/carbon-dioxide>

Servicios de Ingeniería Ambiental . (2015). Estudios de Calidad del Aire Interior: evaluación, mediciones in situ, estudios ambientales e informe para evitar el Síndrome del Edificio Enfermo.. mayo 25, 2019, de Servicios de Ingeniería Ambiental SIA BZF Sitio web: www.estudiosambientales.com.mx

Stamper, E.& Koral, R.L.. (1979). Handbook of Air Conditioning, Heating, and Ventilating. Nueva York: Industrial Press, Inc.; Edición:3. https://books.google.com.mx/books?id=G47biva6gtwC&printsec=frontcover&hl=es&source=gs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Troposfera . (2005). ¿Qué es la Calidad del Aire?. mayo 26, 2019, de Troposfera. Portal Temático de Contaminación Atmosférica Sitio web: <http://www.troposfera.org>

VAISALA. (2016). Manual de uso VAISALA GM70 CO₂. julio 07, 2019, de VAISALA Sitio web: <https://www.vaisala.com>