



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DE LA VENTILACIÓN EN AULAS Y OTROS ESPACIOS  
FÍSICOS DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA “CAMPUS SUR”  
UTILIZANDO COMO REFERENCIA LA CONCENTRACIÓN INTERIOR DE CO<sub>2</sub>**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Ambiental

AUTOR: KEVIN DANIEL ÁLVAREZ LÓPEZ

TUTOR: CARLOS ANDRÉS ULLOA VACA

Quito-Ecuador

2022

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Kevin Daniel Álvarez López, con documento de identificación N° 1718136763, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 6 de abril del año 2022

Atentamente,



---

Kevin Daniel Álvarez López  
1718136763


**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Kevin Daniel Álvarez López, con documento de identificación No. 1718136763, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Trabajo Experimental: “Evaluación de la ventilación en aulas y otros espacios físicos de la Universidad Politécnica Salesiana “Campus Sur” utilizando como referencia la concentración interior de CO2” el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 6 de abril del año 2022

Atentamente,



---

Kevin Daniel Álvarez López  
1718136763

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Carlos Andres Ulloa Vaca, con documento de identificación N° 1716457971, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **EVALUACIÓN DE LA VENTILACIÓN EN AULAS Y OTROS ESPACIOS FÍSICOS DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA “CAMPUS SUR” UTILIZANDO COMO REFERENCIA LA CONCENTRACIÓN INTERIOR DE CO<sub>2</sub>**, realizado por Kevin Daniel Álvarez López con documento de identificación N° 1718136763, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 6 de abril del año 2022

Atentamente,



---

Bioq. Carlos Andrés Ulloa Vaca, M.Sc.  
1716457971

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres, Pablo y Marcia quienes, con su amor, su guía, su apoyo y su esfuerzo me han permitido avanzar durante todo mi desarrollo académico, enseñándome que no existe imposible, que si lo deseo lo puedo lograr, ellos han sido y serán la mayor fuente de inspiración para afrontar cualquier obstáculo que se presente en la vida.

A mi hermana Paula, mi mejor amiga, mi compañía y mi apoyo en todo momento, gracias por motivarme a siempre querer más, a ir más lejos, a confiar en mí y mis capacidades.

A mi hermana Victoria, la pequeña versión de mí, mi confidente, mi alegría, gracias por todo ese amor y ese cariño que siempre me ofreces, gracias a ti, sé que no debo rendirme y eso sumo a la culminación de este trabajo.

A mi amada esposa Verónica, mi complemento, mi fuerza, gracias a ese amor tan puro que me brindas puedo conseguir cualquier objetivo que me ponga en mente, gracias a esa felicidad que siempre me ofreces, puedo entender que la vida se vuelve mucho más sencilla cuando tienes a la persona correcta a tu lado.

Atentamente,  
Kevin Álvarez

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco sinceramente a la Universidad Politécnica Salesiana, que me brindo la oportunidad de poder realizar mi trabajo dentro de las instalaciones del Campus Sur, así como, a la carrera de Ingeniería Ambiental y a sus docentes, que me dieron la apertura para lograr obtener resultados del trabajo.

Agradezco a mi tutor de tesis y amigo el Bioq. Carlos Ulloa, que, con su aporte de conocimientos, con su guía, pero sobre todo, con su enseñanza, hizo posible culminar con éxito este trabajo experimental.

A mis padres, por brindarme su apoyo incondicional para poder finalizar con éxito este trabajo.

A todas las personas que supieron guiarme para así poder alcanzar el objetivo de este trabajo.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	xiii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiv
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1. Objetivo General. ....	2
1.2. Objetivos Específicos. ....	2
<b>2. FUNDAMENTACIÓN TEORICA</b> .....	3
2.1. Higiene Industrial .....	3
2.1.1. <i>Evaluaciones de Higiene Industrial</i> .....	4
2.1.2. <i>Prevención y Control de Riesgos</i> .....	5
2.2. Ventilación .....	5
2.2.1. <i>Importancia de la Ventilación</i> .....	6
2.3. Enfermedades Derivadas de una Mala Ventilación.....	7
2.3.1. <i>Confort Térmico</i> :.....	7
2.3.2. <i>Infecciones Respiratorias</i> .....	7
2.3.3. <i>Hipoxia</i> .....	8
2.4. Generación de CO <sub>2</sub> en Lugares Cerrados.....	8
2.5. Dióxido de Carbono y su Relación con la Ventilación .....	8
2.6. Temperatura y Confort Termico.....	9
2.7. Niveles Adecuados de CO <sub>2</sub> .....	10
2.8. Renovación de Aire .....	11
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS.</b> .....	13
3.1. Descripción general del trabajo experimental. ....	13
3.2. Esquema del procedimiento a realizar.....	14
3.2.1. <i>Dimensiones</i> .....	14
3.2.2. <i>Concentración de CO<sub>2</sub></i> .....	16
3.3. Cálculo de las renovaciones de aire por hora y método Steady-State.....	18
3.3.1. <i>Renovación de Aire por Hora</i> .....	18
3.3.2. <i>Método Steady-State</i> .....	19
3.4. Análisis de varianza (ANOVA).....	19
3.4.1. <i>MiniTab</i> .....	20
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	21
4.1. Recolección de datos .....	21
4.2. Análisis y discusión de resultados .....	21

4.2.1. Cálculo de renovaciones de aire por hora.....	21
4.2.2. Cálculo del método Steady-State .....	23
4.2.3. ANOVA número de personas vs variación de CO <sub>2</sub> .....	24
4.2.5. ANOVA área de apertura de ventana vs concentración de CO <sub>2</sub> .....	28
4.2.7. Correlaciones de las variables de respuesta .....	31
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>33</b>
5.1. Conclusiones.....	33
5.2. Recomendaciones .....	34
<b>6. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>35</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>39</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación Geográfica de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur .....	13
<b>Figura 2.</b> Esquema del procedimiento a realizar .....	14
<b>Figura 3.</b> Spectra Precision Laser HD50 .....	15
<b>Figura 4.</b> Botón para calcular el volumen. ....	15
<b>Figura 5.</b> Medición del volumen .....	16
<b>Figura 6.</b> Aranet4 .....	17
<b>Figura 7.</b> Objetivos de ventilación estándar propuesto por ASHRAE 62.1 para aulas.....	22
<b>Figura 8</b> Diagrama de caja de número de personas vs. la variación de concentración de CO <sub>2</sub> .....	26
<b>Figura 9</b> Diagrama de caja de número de personas vs la variación de temperatura. ....	27
<b>Figura 10</b> Diagrama de caja área apertura de ventanas vs concentración de CO <sub>2</sub> .....	29
<b>Figura 11</b> Relación del área de apertura de ventanas vs la temperatura. ....	30
<b>Figura 16</b> Correlación con línea de tendencia entre concentración de CO <sub>2</sub> frente a la temperatura.....	31

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Cálculo de renovaciones por hora de cada aula y espacio administrativo estudiado. .....	21
<b>Tabla 2.</b> Cálculo de la Concentración Steady-State de CO <sub>2</sub> .....	23
<b>Tabla 3.</b> Rango de análisis de número de personas.....	24
<b>Tabla 4.</b> Datos Generales ANOVA .....	25
<b>Tabla 5.</b> Análisis de la varianza ANOVA de No de personas vs Variación de Concentración de CO <sub>2</sub> .....	25
<b>Tabla 6.</b> Análisis de la varianza ANOVA de No de personas vs Variación de Temperatura	27
<b>Tabla 7.</b> Rango De Área Apertura De Ventanas .....	28
<b>Tabla 8.</b> Análisis de la varianza ANOVA de Área Apertura de Ventanas vs Concentración de CO <sub>2</sub> .....	28
<b>Tabla 9.</b> Análisis de la varianza ANOVA de Área Apertura de Ventanas vs Temperatura..	30

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Ecuación Renovación De Aire Por Hora.....	18
<b>Ecuación 2.</b> Ecuación del método Steady-State. ....	19

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Medición de los distintos espacios por medio del distanciómetro Spectra HD50. .....	39
<b>Anexo 2:</b> Medición de concentración de CO <sub>2</sub> en los distintos espacios de la Universidad Politécnica .....	42
<b>Anexo 3:</b> Recopilación información en tablas .....	45
<b>Anexo 4:</b> Resultado tabla .....	47

## **RESUMEN**

El presente trabajo experimental enfoca su desarrollo en evaluar la ventilación de aulas y espacios físicos de la Universidad Politécnica Salesiana “Campus Sur”. Como es conocido por todos, en la actualidad las instituciones educativas se enfrentan a la determinación de aforos que permitan a mantener una ventilación adecuada en lugares que se requiera de presencialidad. Cuando se produce una estanqueidad de aire, existe la posibilidad que se presenten efectos adversos para la salud, el discomfort térmico, hipoxia, afecciones respiratorias, incluso el contagio de COVID-19. Tomando en cuenta los riesgos mencionados a los que se ven expuestos las personas que requieren de ocupar estos espacios físicos, se debe contar con un sistema de ventilación que puede ser natural o mecánica, con los cuales se puede regular desde la temperatura, hasta la velocidad de recirculación de aire. En el caso de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur, se cuenta con un sistema de ventilación natural, la cual es obtenida de ventanas, puertas y rejillas. Este trabajo pretende determinar si los lugares de estudio: aulas, oficinas, laboratorios, disponen de una ventilación óptima e idónea para volver a clases presenciales, esto se lo hizo mediante mediciones de concentración interna de CO<sub>2</sub> que permitieron calcular la renovación de aire en cada sitio. Posteriormente, se compara y se propone posibles soluciones para llegar al objetivo de una correcta renovación de aire.

### **Palabras claves**

Estanqueidad, estrés térmico, hipoxia, sistemas de ventilación mecánicos, recirculación de aire, renovación de aire, COVID-19

## **ABSTRACT**

The present experimental work focuses its development on evaluating the ventilation of classrooms and physical spaces of the Universidad Politécnica Salesiana "Campus Sur". As is known by all, educational institutions currently face the determination of capacity that allows maintaining adequate ventilation in places that require attendance. When air tightness occurs, there is the possibility of adverse health effects, thermal discomfort, hypoxia, respiratory conditions, including the spread of COVID-19. Taking into account the risks mentioned to which people who need to occupy these working spaces are exposed, there must be a ventilation system that can be natural or mechanical, with which you can regulate everything from temperature to speed. air recirculation. In the case of the Universidad Politécnica Salesiana "Campus Sur", there is a natural ventilation system, which is obtained from windows, doors and grilles. This work aims to determine if the places of study: classrooms, offices, laboratories, have optimal and suitable ventilation to return to face-to-face classes, this was done through measurements of internal concentration of CO<sub>2</sub> that allowed calculating the renewal of air in each site. Subsequently, possible solutions are compared and proposed to reach the objective of correct air renewal.

### **Key Words**

Tightness, thermal stress, hypoxia, mechanical ventilation systems, air recirculation, air renewal, COVID-19

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo pretende determinar si los espacios físicos (aulas, oficinas administrativas, áreas comunes) en la Universidad Politécnica Salesiana, Campus Sur, cuentan con la suficiente circulación de aire, con la finalidad de prevenir la manifestación de distintas enfermedades causadas por una mala ventilación, especialmente, COVID-19. Las aulas y espacios administrativos de la Universidad Politécnica Salesiana, cuentan con un tipo de ventilación cruzada, es decir, las puertas y ventanas que permiten el ingreso de aire, se encuentran en direcciones opuestas.

La comprobación de la calidad del aire se la puede realizar tomando como indicador la concentración de CO<sub>2</sub> existente. Si se superan niveles establecidos de 1000 ppm se consideraría como una mala ventilación y habría que ventilar de inmediato, con valores entre 500 y 700 ppm sería aceptable (UVA, 2021); para regular estos valores de concentración de CO<sub>2</sub> se deben hacer uno o varios ajustes: aumentar la frecuencia de apertura de sistemas de ventilación natural o reducir aforos y tiempo de permanencia de personas, etc.

En un aula puede haber varios contaminantes, los cuales requieren de tipos de ventilación adecuada. Dentro de estos espacios se encuentran contaminantes invisibles o imperceptibles, uno de ellos es el CO<sub>2</sub>, que precisa de una ventilación continua sin la intervención directa de los ocupantes del aula. Para ello se mide las concentraciones internas de CO<sub>2</sub>, que determinan la necesidad de renovación de aire, una vez obtenido los datos se formula la siguiente pregunta ¿Cómo se puede mejorar la ventilación en las aulas e instalaciones estudiadas de la Universidad Politécnica Salesiana, Campus Sur, que cuentan con una baja renovación de aire por hora?

La finalidad de una buena ventilación en un sitio de trabajo o estudio, es lograr el confort térmico de las personas, para ello es indispensable que las condiciones interiores y exteriores de temperatura, humedad y renovación de aire por horas, sean las establecidas reglamentariamente, así se generara una sensación de bienestar adecuada y suficiente a sus

ocupantes, además, tomando en cuenta la pandemia de COVID-19 por la que el mundo aún se encuentra atravesando, la renovación continua de aire evita que los ocupantes de un sitio cerrado respiren el mismo aire, es decir, se evita que una persona sana respire el aire de una persona contagiada con el virus SARS-CoV-2, evitando una mayor incidencia de contagios y disminuyendo la carga de pacientes en el sistema de salud pública.

Con los datos obtenidos de las mediciones de CO<sub>2</sub>, dimensiones de las aulas, número de ventanas, temperatura, ángulo de apertura de las ventanas y puertas, se procede a realizar análisis de varianza, y determinar que variables medidas son las que mejoran la ventilación en los lugares estudiados.

### **1.1. Objetivo General**

Evaluar la ventilación en las aulas y espacios físicos de la Universidad Politécnica Salesiana “Campus Sur”, mediante mediciones de concentración interna de CO<sub>2</sub> que determinen la necesidad de renovación de aire.

### **1.2. Objetivos Específicos**

- Monitorear el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en las aulas y espacios físicos en el Campus Sur de la UPS.
- Estimar la renovación de aire en las aulas y espacios físicos de la UPS campus sur con diferentes escenarios.
- Determinar las mejores prácticas de renovación de aire para cada aula y espacio físicos.



## 2. FUNDAMENTACIÓN TEORICA

### 2.1. Higiene Industrial

La higiene industrial es la ciencia encargada del control de riesgos originados en un sitio de trabajo, los mismos que pueden generar peligro tanto para la salud como para el bienestar de los trabajadores, está se orienta en proteger la salud ocupacional del personal a través de medidas preventivas en el sitio en el que se encuentran laborando (Herrick, 2012). En tanto para estudiantes y trabajadores de la Universidad Politécnica Salesiana “Campus Sur” se enfoca a la prevención en temas de salud y bienestar en sus sitios de permanecía durante las horas de estudio y trabajo.

Para identificar los posibles riesgos y su prevención; la higiene industrial cumple varias etapas:

- Identificación de posibles peligros para la salud en el área de estudio o trabajo;
- Evaluación de riesgos, que valoren la exposición a peligros para la salud humana;
- Prevención y control de riesgos, con implementación y adecuación de estrategias que los minimicen.

La manera más adecuada para evitar los riesgos es el enfoque preventivo, dentro de este se debe incluir una evaluación de los sistemas que se desea aplicar en los sitios de trabajo con el fin de evitar riesgos sobre la salud de las personas. La tecnología a implementar debería ser la menos peligrosa y menos contaminante con el objetivo de elaborar directrices y normas para el personal sobre el correcto uso de los procedimientos y a su vez implementar métodos seguros de trabajo, tomando en consideración tener procedimientos de emergencia.

Los agentes que representan riesgos para la salud de las personas en su sitio de estudio o trabajo pueden ser:

- Contaminantes atmosféricos
- Sustancias suspendidas en el aire

- Agentes físicos (calor, ruido)
- Agentes biológicos (virus SARS-CoV-2)
- Riesgos ergonómicos
- Estrés psicosocial

La protección de la salud constituye una identificación adecuada de los riesgos, para lo que es imprescindible una planificación correcta de prioridades. El diseño de medidas de prevención requiere la identificación de riesgos que determinan (Herrick, 2012): los agentes contaminantes, la naturaleza y magnitud de las consecuencias en la salud y bienestar de las personas.

### ***2.1.1. Evaluaciones de Higiene Industrial***

Una evaluación de higiene industrial se realiza con el objetivo de valorar la exposición del personal y obtener información para el diseño de medidas de prevención de riesgos, comienza al encontrar un agente que genere posible daño para la salud, para lo cual se precisa determinar los niveles de concentración de estos contaminantes en el sitio a los que se encuentran expuestas las personas (Herrick, 2012). Una de las formas de determinar si las personas se encuentran expuestas a una carga excesiva de contaminantes, es basándose en los niveles expresados como límites máximos.

Al realizar una evaluación de riesgos se logran obtener datos entre exposición y efectos sobre la salud, por lo que los resultados obtenidos deben tener un alto grado de precisión para garantizar que se ha caracterizado todos los posibles casos de exposición a contaminantes, para ello se debe realizar un diseño basado en estrategias de muestreo que estimen siempre la variabilidad de las situaciones. La interpretación de resultados dependerá del coeficiente de variación influenciado por el número de mediciones que se hayan obtenido durante la evaluación (Herrick, 2012).

Para hacer este tipo de evaluaciones son necesarios instrumentos de lectura que permitan un muestreo constante y reflejen los resultados en tiempo real, considerando que de estos instrumentos la exactitud de los datos no es tan importante como la evaluación a la exposición de las personas para conocer el comportamiento de los contaminantes. Las evaluaciones son necesarias especialmente cuando existe la necesidad de instalar medidas de control (Herrick, 2012).

El proceso de evaluación finaliza con la interpretación de resultados, con los que se lograría identificar y caracterizar los contaminantes, localizar puntos críticos en las áreas de estudio y trabajo, determinar vías de salida de los contaminantes y comparar diferentes alternativas de control y prevención (Herrick, 2012).

### **2.1.2. *Prevención y Control de Riesgos***

Uno de los principales objetivos de la higiene industrial es la prevención y control en el sitio de trabajo, esto en conjunto de la aplicación de normas y lineamientos, generan que la posibilidad de existir un peligro disminuya, debido a que se han implantado estrategias que ayudan a controlar la exposición a riesgos en el nivel mínimo posible.

El generar controles técnicos que eviten la exposición a contaminantes reduce la necesidad de que estudiantes y personal tenga que optar por medidas correctivas antes peligros inminentes. La mejor intervención siempre es desde la fuente, pero cuando no se puede modificar la fuente, se deberá prevenir la emisión y dispersión de contaminantes, interrumpiendo sus vías de generación o tomando medidas de aislamiento, como puede ser una ventilación adecuada. Otra forma es el diseño de lugares de trabajo adecuados con la suficiente ventilación y aeración, buena limpieza y métodos de trabajo seguros (Herrick, 2012).

## **2.2. Ventilación**

La ventilación es aquel proceso que tiene como objetivo principal dispersar la concentración de aire en un espacio, con la finalidad de favorecer las condiciones laborales, estudiantiles y

administrativas, puesto que, cuando un entorno no mantiene una ventilación adecuada no se alcanza a tener una producción óptima ni enfocada. Se puede definir a la ventilación como la limpieza del aire con altas concentraciones de gases y aerosoles; para una correcta disipación en un espacio de trabajo o estudio, se diseñan circuitos de ventilación mecánicos o naturales, los cuales se encargarán de guiar el aire concentrado en un lugar de trabajo hacia el exterior o viceversa (Llacho y Vargas, 2020). Mejorar la calidad de aire de un lugar no quiere decir que el aire del interior se vuelva completamente puro, pero sí que los ocupantes de las aulas académicas no tengan que estar expuestos a considerables niveles de contaminantes peores que el aire exterior ( Universidad de Cornell, 2002).

### ***2.2.1. Importancia de la Ventilación***

La importancia de la ventilación no solo se enfoca en trasladar el calor de un espacio que no cuenta con aire acondicionado o de quitar olores y humedad; aunque estas son, quizás, las aplicaciones más comunes con respecto al tema de la ventilación.

En situaciones donde se cuenta con un número considerable de personas en un aula o donde se deba estar alerta durante un tiempo prolongado (secretaría, sala de profesores, laboratorios), es aconsejable tener un óptimo nivel de ventilación para evitar una alta concentración de CO<sub>2</sub>, ya que, si esto sucede, puede provocar, somnolencia, pesadez y distracción. Al contar con un buen sistema de ventilación se puede evitar la propagación de enfermedades de tipo respiratorio, dolores de cabeza, reacciones alérgicas, infecciones respiratorias tipo virales como el SARS-CoV-2, y malestares generales; se ha observado un incremento de productividad en los estudiantes a corto plazo en aulas en donde el nivel de ventilación es adecuado. Se debe entender que además de ser una cuestión de confort o productividad, es un tema de seguridad (Nieto, 2014).

### **2.3. Enfermedades Derivadas de una Mala Ventilación**

Existen pocos datos que involucren que los niveles de ventilación influyen de manera directa en el riesgo de transmisión de enfermedades, la exposición a una mala calidad de aire puede no producir enfermedades en la inmediatez, pero es causante de varios síntomas de problemas de estrés por calor e infecciones respiratorias ( Universidad de Cornell, 2002).

#### **2.3.1. Confort Térmico**

“Se define como la carga de calor a la que las personas están expuestas y que se puede producir por la combinación de condiciones ambientales del lugar donde trabajan, la actividad física o mental que realicen e inclusive el tipo de ropa que llevan. Un nivel de estrés térmico que se encuentre en el rango de medio a moderado puede dificultar la ejecución del trabajo, concentración en el estudio, así como al momento de dictar una clase”. (FUNDACIÓN LABORAL DE LA CONSTRUCCIÓN, 2015). Pero cuando dicho estrés se aproxima a los límites máximos de tolerancia del ser humano, aumenta el riesgo de trastornos derivados de la exposición de estos cambios bruscos de temperatura, por eso, contar con un adecuado sistema

#### **2.3.2. Infecciones Respiratorias**

La aparición de complicaciones relacionadas con las vías respiratorias como congestión nasal o asma, son causadas muchas veces por contaminantes del aire e irritantes (Lara , 2020)

En la actualidad, se enfrenta una situación de pandemia del (SARS-CoV-2). El 31 de diciembre del 2019 se comunicó a la OMS u Organización Mundial de la Salud sobre una serie de casos de neumonía vírica en la ciudad de Wuhan, capital de la provincia Hubei. Aproximadamente el 9 de enero del año 2020 se decreta que el brote está provocado por un nuevo coronavirus, lo cual orillo a tomar medidas drásticas tornándose en una nueva normalidad (distanciamiento, uso de mascarilla y ventilación adecuada). Al ser una enfermedad que se produce por contagio a través de partículas

que se emiten al momento de hablar, respirar, o estornudar, al igual que de superficies contaminadas por estas partículas, que terminan en las mucosas por contacto directo, forman parte de las infecciones respiratorias (OMS, 2021).

### **2.3.3. Hipoxia**

La hipoxia es la falta de oxígeno en la sangre, células y tejidos, que altera la correcta función de los mismos. A pesar de que se debe a muchas causas, la mala ventilación de los espacios confinados podría aumentar el riesgo de padecer de esta enfermedad (Herrick, 2012).

## **2.4. Generación de CO<sub>2</sub> en Lugares Cerrados**

El dióxido de carbono es uno de los gases que más se generan y se distribuyen en espacios cerrados, formado gracias a procesos de combustión, se considera que la respiración humana es una gran fuente de CO<sub>2</sub> en interiores como espacios de trabajo (Gutierrez, 2010)

Aunque el CO<sub>2</sub> más que considerarse como un contaminante en este estudio, se lo considera un indicador de calidad de aire, ya que el principal foco de emisión en espacios interiores son las propias personas. Las concentraciones altas de CO<sub>2</sub> son un indicador de niveles de ventilación inadecuados; siendo estos muy bajos y produciendo un aumento de enfermedades respiratorias transmisibles, dolores de cabeza y mareo; que se ha comprobado que se reducen cuando disminuyen los niveles de CO<sub>2</sub> en el sitio (Meza y Matos, 2020)

## **2.5. Dióxido de Carbono y su Relación con la Ventilación**

La calidad de aire en el interior de aulas universitarias es de suma importancia para la salud de los estudiantes y la principal fuente de contaminación es el dióxido de carbono generado en estos espacios a consecuencia de la respiración, la capacidad de CO<sub>2</sub> dentro de las aulas depende del tamaño de estos espacios y su ventilación; evaluando así que las concentraciones de CO<sub>2</sub> influyen en la calidad de aire del sitio por lo que existe una relación directa con respecto a la ventilación y la concentración de CO<sub>2</sub>; a mayor concentración de CO<sub>2</sub> existe una menor ventilación y a menor concentración de CO<sub>2</sub> mayor es la ventilación, por lo que la falta de

circulación de aire genera altas concentraciones de CO<sub>2</sub> (Meza y Matos, 2020). Se ha llegado a considerar que la contaminación de aire tiene un nivel de riesgo para la salud, debido a que la exposición a contaminantes como el CO<sub>2</sub> agrava afecciones respiratorias; por lo que para una mejora de la calidad de aire se necesita implementar sistemas de ventilación y climatización, con un especial énfasis en el intercambio de aire exterior con el aire interior. (Meza y Matos, 2020).

Los niveles de contaminación de aire interior se vuelven relevantes considerando que estudiantes universitarios pasan gran parte de su tiempo dentro de las aulas, por lo que puede alterar de forma significativa su salud. Según Huaman (2015), menciona que los efectos de los óxidos de carbono (CO y CO<sub>2</sub>) presentes en espacios exteriores e interiores, son una de las principales preocupaciones a nivel mundial de la humanidad, ya que, la calidad del aire que se respira y los efectos contraproducentes que éste genera sobre su salud en medioambientes en los que se pasa ocho a más horas diarias.

## **2.6. Temperatura y Confort Térmico**

Se define como confort térmico al conjunto de factores que proporcionan una condición de bienestar para la persona, enfocado en el equilibrio de temperatura del aire que se presenta en el lugar donde desempeña sus labores. (Morales, 2018)

El interés por encontrar una metodología que permita evaluar el confort térmico de un sitio, nace de la iniciativa por lograr que las personas se sintieran confortables dentro de un lugar, determinando así que para la obtención de resultados se necesitaría la temperatura del sitio. Para medir el parámetro de temperatura de forma directa, se necesita de un termómetro, el cual registra la temperatura del aire, la diferencia esencial entre la temperatura medida al contacto con la piel de una persona, es que la temperatura del aire determina un intercambio de calor entre una persona y el aire, denominado intercambio de calor por convección (Morales, 2018).

Para un confort térmico adecuado, se recomienda mantener niveles de temperatura que oscilen entre 20° y 26°C, los cuales se consideran niveles de temperatura donde la mayoría de seres humanos experimenta una sensación térmica confortable, se ha comprobado que en los estudiantes aparecen distracciones y sensación de malestar por debajo de los 20°C, cuanto mayor sea la exposición al frío, la persona generara una menor productividad y un menor aprendizaje (Neffa, 2010).

El confort térmico nos ayuda a generar medidas de referencia para conocer si una persona se encuentra en un espacio adecuado, en el que su respuesta fisiológica al clima es la correcta (Cevallos, 2017). Según FUNDACIÓN LABORAL DE LA CONSTRUCCIÓN (2015), se puede estimar que temperaturas superiores a 25°C pueden causar dolores de cabeza y fatiga.

## **2.7. Niveles Adecuados de Co<sub>2</sub>**

La tasa de ventilación de aire adecuada se estima que es buena en valores de 12,5 litros/segundo por persona, la misma que corresponde a 5-6 renovaciones por hora; estos valores se logran, aumentando la entrada de aire exterior (apertura de ventanas en el tiempo necesario) o con una disminución de la cantidad de personas en el sitio. Así que, para determinar cuánto tiempo debería mantenerse un flujo de entrada de aire a un aula, se necesita las mediciones de valores de CO<sub>2</sub>.

Las concentraciones de CO<sub>2</sub> en el exterior oscilan entre 420-450 ppm en dependencia de si se encuentra en un sitio rural o urbano; cuando una aula está ocupada las concentraciones de CO<sub>2</sub> aumentan, debido a que, este se genera por el ser humano al exhalarlo del cuerpo, se determina que una correcta ventilación, es aquella que va de la mano con los niveles adecuados de CO<sub>2</sub>, los cuales no sobrepasan los 800-1000 ppm, pero cabe indicar que estas concentraciones de CO<sub>2</sub> no estiman niveles perjudiciales para el ser humano, solo son indicadores para mejores en la ventilación del lugar (Universidad Autónoma de Madrid , 2020).



Cuando no existe una ventilación adecuada en aulas académicas, los niveles bajos de intercambio de aire generan que el ingreso de aire fresco al edificio sea insuficiente, aportando así a que los niveles de concentración de contaminantes dentro del sitio sean mucho más altos ( Universidad de Cornell, 2002).

## **2.8. Renovación de Aire**

Los expertos aseveran que la calidad de aire en centros educacionales, es proporcional a los niveles de ventilación adecuados que consideran importante la renovación de aire cada cierto tiempo, para garantizar condiciones internas saludables (Universidad de Sevilla, 2020).

La renovación de aire se puede definir, como la sustitución del aire contenido en un lugar, por otro lugar del que ingresa aire limpio en un periodo de tiempo determinado (Contreras, 2020)

La necesidad de renovación de aire en aulas requiere un control adecuado y niveles óptimos de ventilación, para evitar efectos adversos en la salud de los ocupantes. La gran mayoría de universidades utilizan sistemas de ventilación mecánica, como aires acondicionados, pero una alternativa viable para la ventilación de aulas entre otros, es la apertura de ventanas (Contreras, 2020)

El tiempo de permanencia de alumnos y docentes en las aulas genera una estrecha relación con la renovación de aire, debido a que la concentración de CO<sub>2</sub> está relacionado con el número de personas que ocupan un aula de clases. Para ellos una de las soluciones al problema de elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub> en el aire, es el establecer guías de renovación de aire, como objetivo de proporcionar un ambiente dentro de las aulas de calidad (Contreras, 2020).

La renovación de aire en un aula significa que, en una hora, un volumen de aire exterior igual al volumen de la habitación, entra, y debido a la mezcla constante de aire, esto da como resultado que el aire interno sea reemplazado por aire externo. Un buen indicador del nivel de ventilación de un espacio, es la concentración del CO<sub>2</sub>. La concentración

ideal de CO<sub>2</sub> en un espacio perfectamente ventilado es de alrededor de 400 ppm aproximadamente (Viceconcejería de organización educativa , 2020).

Una ventilación cruzada radica en el intercambio de aire exterior al abrir puertas y ventanas para renovar con el aire interior sin la utilización de aparatos mecánicos para generar un flujo de aire (Viceconcejería de organización educativa , 2020). Es importante reconocer que al abrir tanto ventanas como puertas se tiene dos sitios por donde circulara aire y no solo uno logrando así conseguir una renovación de aire mucho más eficiente.

### 3. MATERIALES Y METODOS.

#### 3.1. Descripción General del Trabajo Experimental

El trabajo se lleva a cabo en los distintos bloques de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur (Bloques A, B, F G, laboratorios) y los distintos espacios administrativos. Como base del experimento se ocupa el método propuesto por (Allen, et al, 2020).

#### Figura 1.

*Ubicación Geográfica de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur*



Nota: En la figura 1, la línea blanca el área de estudio correspondiente a la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur ubicada en las Av. Moran Valverde y Av. Rumichaca Ñan. Tomado de Google Maps.

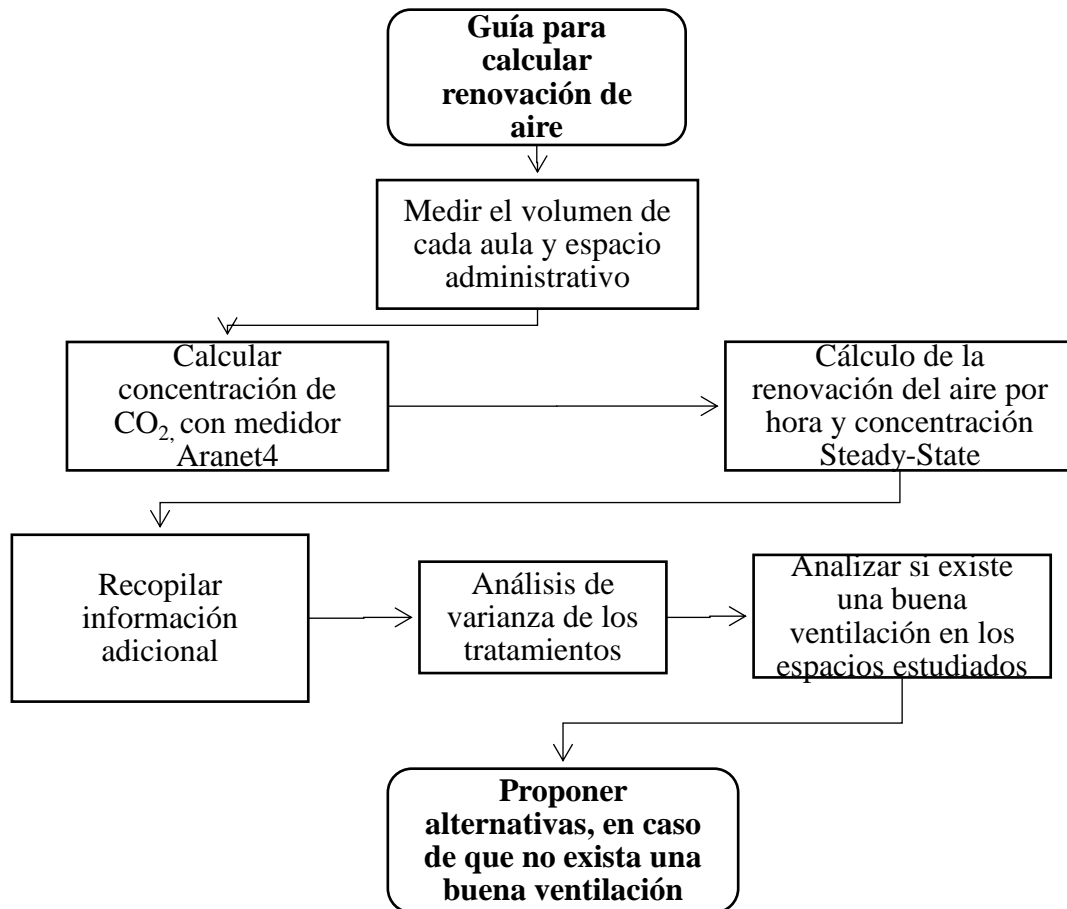
Se proponen cuatro pasos para medir la tasa de renovación de aire en aulas y espacios administrativos.

- Medir las dimensiones del aula y zonas administrativas.
- Medir y estimar la tasa de ventilación de aire interior de cada espacio de estudio (Allen, et al, 2020).
- Comparar los resultados obtenidos.
- Si es necesario, considerar estrategias complementarias.

### 3.2. Esquema del Procedimiento a Realizar

**Figura 2.**

*Esquema del Procedimiento a Realizar*



Nota: El esquema muestra el orden que sigue la investigación con base en la información recopilada. Fuente: elaboración propia.

#### 3.2.1. Dimensiones

Se ocupó el distanciómetro Spectra Precision Laser HD50, para calcular el volumen de las aulas y espacios administrativos estudiados de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur.

**Figura 3.**  
*Spectra Precision Laser HD50*



Nota: Ilustración del distanciómetro Spectra. Tomado de laserman

El distanciómetro portátil Spectra Precision Laser HD50 está diseñado para brindar una estimación y medición de lugares de difícil acceso. Con una precisión de 1,5 mm (1/6") en todo el rango de medición, la HD50, es más precisa que las cintas convencionales para ayudar a tener una distancia, área o volumen más exactos.

**Figura 4.**  
*Botón para calcular el volumen.*



Nota: En la figura 4 se representa cual botón se debe seleccionar al momento de calcular el volumen. Fuente: elaboración propia.

Mediante el botón de cálculo de medidas (Figura 4) se selecciona la opción de volumen, una vez que se encuentre en esa opción nos pide que se tomen tres medidas:

- Largo
- Altura
- Ancho

Al distanciómetro se lo coloca de forma estática como muestra en la figura 5, para obtener las anteriores medidas ya descritas.

**Figura 5.**  
*Medición del Volumen*



Nota: En la figura 5, se muestra como es la forma correcta para medir el volumen de un espacio físico. Fuente: elaboración propia.

Una vez ya obtenidas las tres medidas previamente mencionadas, automáticamente el distanciómetro calcula el volumen (figura 4)

### **3.2.2. Concentración de CO<sub>2</sub>**

Para calcular la concentración de CO<sub>2</sub> se utilizó el medidor Aranet4.

“Aranet4 es un sensor inalámbrico que funciona con baterías doble AA, que sirve para monitorear el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), la temperatura, la humedad y la presión atmosférica en los espacios físicos u otros entornos interiores”. (Aranet4, 2022)

**Figura 6.**  
*Aranet4*



Nota: En la figura 6, se muestra el medidor de CO<sub>2</sub> Aranet4. Tomado de (Aranet4, 2022)

“El dispositivo es portátil, fácil de instalar, fácil de utilizar y le permite saber cuándo los niveles examinados se han vuelto insalubres. Cuenta con la función de poder enlazar mediante Bluetooth a cualquier dispositivo tipo Android o iOS para poder monitorear las concentraciones de CO<sub>2</sub>, temperatura, humedad y presión”. (Aranet4, 2022).

Para poder enlazar el medidor de CO<sub>2</sub> al smartphone, en el cual se puede configurar las opciones de medida, lo primero es descargar la app Aranet4, activar el bluetooth, y sincronizar con el dispositivo, para este trabajo se ocupó la configuración de medida cada cinco minutos (Anexo 1) es decir, dentro de ese rango de tiempo, se actualizaba las concentraciones y demás variables que dispone Aranet4 (Aranet4, 2022). Antes de usar se debe calibrar el dispositivo; Aranet4 solo se debe calibrar siempre y cuando se vaya a cambiar de ambiente.

El medidor de CO<sub>2</sub> cuenta también con la opción de exportar los datos medidos a un archivo de Excel de toda la información recopilada.

### 3.3. Cálculo de las renovaciones de aire por hora y método Steady-State

#### 3.3.1. Renovación de Aire por Hora

En primer lugar, se debe estimar el flujo de aire interior y exterior entrante en un aula desocupada/ocupada utilizando un medidor de CO<sub>2</sub>.

Seguir los siguientes pasos:

1. Configurar el sensor de Aranet4 para registrar medidas una vez por 5 minutos. Esto ayudará a corroborar el comienzo y el final de un período de disminución o aumento de concentración.
2. Medir la concentración de CO<sub>2</sub> con el sensor durante al menos 5 minutos. Para el trabajo se realizaron medidas entre alrededor de veinte minutos a una hora. Si bien la concentración en exteriores es de aproximadamente 400 ppm, para la presente investigación se llegó a tener una concentración en exteriores de aproximadamente 410 ppm; Se debe tomar nota de las concentraciones en exteriores previamente, ya que se requerirá para calcular el promedio para estimar la tasa de ventilación. (Allen, et al, 2020)
3. Registrar la concentración inicial como final, así mismo, el tiempo de inicio y tiempo final, para poder aplicar la (fórmula 1).

#### **Ecuación 1.**

*Ecuación Renovación de Aire por Hora*

$$ACH = \frac{-1 * \ln\left(\frac{C_{final} - C_{ambiente}}{C_{inicial} - C_{ambiente}}\right)}{t_{final} - t_{inicial}}$$

Nota: En la ecuación 1, se muestra la fórmula de cómo se debe calcular las renovaciones de aire por hora. Tomada de (Allen, et al, 2020)



### 3.3.2. Método Steady-State

Para este método se necesita contar con las variables independientes previamente ya recopiladas, número total de personas y el volumen.

Se debe seguir los siguientes pasos para poder realizar el método:

1. Configurar el sensor de CO<sub>2</sub> para registrar medidas cada 5 minutos.
2. Medir la concentración de CO<sub>2</sub> exterior, los pasillos de los espacios físicos a estudiar durante al menos 5 minutos. Si bien la concentración exterior es de aproximadamente 400 ppm.
3. Estimar la tasa de generación de CO<sub>2</sub> multiplicando el número de estudiantes en el aula o espacio administrativo por la tasa de exhalación de CO<sub>2</sub>. La tasa de generación de CO<sub>2</sub> para adolescentes se debe usar el valor de 0.24636 litros por minuto (lpm) por cada uno. Para docentes (edad promedio de 30 a 40 años) se debe usar 0.36812 litros por minuto (lpm).
4. Estimar el flujo objetivo de aire exterior. Para este trabajo como objetiva se ocupa el valor de 4 ACH. (Allen, et al, 2020)
5. Estimar el estado estable (steady state) de CO<sub>2</sub> mediante la fórmula 2.

#### **Ecuación 2.**

*Ecuación del Método Steady-State.*

$$C_{S-S} = \frac{\text{Generación de CO}_2 + \text{objetivo flujo aire exterior} * \text{conc CO}_2 \text{ exterior} * (1 * 10^{-6})}{\text{objetivo flujo aire exterior} * (1 * 10^{-6})}$$

Nota: En la ecuación 2, se muestra la fórmula para calcular la concentración estable o estacionaria del CO<sub>2</sub>. Tomado de (Allen, et al, 2020)

### 3.4. Análisis de varianza (ANOVA)

El método de varianza ANOVA (Analysis of variance, por su terminología en inglés) es una serie de técnicas estadísticas de muy útiles. Es apropiado cuando se tiene más de dos grupos

para comparar, cuando las mediciones se repiten más de dos veces, o cuando pueden diferir en una o más características que afectan los resultados y se debe ajustar su impacto, o cuando se desea analizar simultáneamente la efectividad de dos o más tratamientos diferentes (Dagnino, 2014).

Dentro del desarrollo de este trabajo se cuenta con una población de 85 (entre cursos y laboratorios) y una muestra de 27. Todos estos datos se recopilaban de forma manual mediante una bitácora de información.

Una vez que los datos de la bitácora se transfirieran a una plantilla de Excel, se propone dos tratamientos para dos variables de respuesta.

- **Tratamiento 1**

- ✓ N° de personas
- ✓ Variables de respuesta: variación de concentración y variación de temperatura.

- **Tratamiento 2**

- ✓ Porcentaje del área de apertura de las ventanas
- ✓ Variables de respuesta: variación de concentración y variación de temperatura.

### **3.4.1. MiniTab**

Para realizar el análisis de varianza de los tratamientos mencionados, se hace uso del software Minitab, el cual proporciona herramientas concisas y fáciles de usar para aplicaciones estadísticas generales. En un entorno que siempre está cambiando y evolucionando, las organizaciones necesitan evaluar todos los aspectos relacionados con sus procesos. Así, las herramientas estadísticas nos permiten comprender mejor la información contenida en los datos a través de los métodos y procesos de recolección, análisis e interpretación de los mismos. (Minitab, 2022)

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Recolección de datos

Los resultados se recolectaron a partir del registro de valores tomado por el medidor de CO<sub>2</sub> Aranet4, equipo que provee, a más de la medida de CO<sub>2</sub>, otras variables como: temperatura inicial-final, hora de inicio de medición y hora final de medición. Por otro lado, los variables correspondientes a número total de ventanas, número de ventanas abiertas o cerradas, número de personas y volumen, se apuntaba de forma manual en la bitácora de información.

### 4.2. Análisis y discusión de resultados

Los datos obtenidos de las mediciones, así como también de las variables realizados de forma manual ya mencionados, se sometieron a un análisis estadístico, que con la ayuda del software Excel y Minitab, se realizó análisis de media, mediana, análisis de varianza ANOVA.

#### 4.2.1. Cálculo de Renovaciones de Aire por Hora.

Para el cálculo de renovaciones de aire por hora se aplica la (Ecuación 1), se obtienen los siguientes resultados.

**Tabla 1.**

*Cálculo de Renovaciones por Hora de Cada Aula y Espacio Administrativo Estudiado.*

	<b>Espacios estudiados</b>	<b>ACH</b>	<b>Interpretación</b>
1	Bloque A	3	Mínimo
2	Bloque A	3	Bajo
3	Bloque A	5	Excelente
4	Bloque A	5	Excelente
5	Bloque A	6	Excelente
6	Bloque B	5	Bueno
7	Bloque B	6	Excelente
8	Bloque F	2	Bajo
9	Bloque F	6	Excelente
10	Bloque F	6	Excelente
11	Biblioteca	5	Bueno
12	Bloque G	5	Bueno
13	Bloque G	4	Bueno
14	Bloque G	2	Bajo

	<b>Espacios estudiados</b>	<b>ACH</b>	<b>Interpretación</b>
15	Bloque G	5	Bueno
16	Bloque G	3	Bajo
17	Bloque G	2	Bajo
18	Bloque G	4	Mínimo
19	Lab. Mecánica	3	Mínimo
20	Bloque G	3	Mínimo
21	Bloque G	6	Ideal
22	Bloque A	2	Bajo
23	Dispensario médico	4	Mínimo
24	Bloque G	6	Excelente
25	Sala de profesores	6	Ideal
26	Secretaria	5	Bueno
27	Bloque G	5	Bueno

Nota: En la tabla 1, se encuentra detallado el valor de renovación de aire por hora de cada espacio estudiado, ver Anexo 2

**Figura 7.**

*Objetivos de Ventilación Estándar Propuesto por ASHRAE 62.1 para aulas*



En la figura 7, se encuentran los objetivos de ventilación que están basados en la densidad de ocupación estipulada en el estándar americano ASHRAE 62.1 para aulas, como objetivo principal una aula o zona administrativa debe tener como objetivo una renovación buena a excelente.

En la investigación realizada el 74% de las instalaciones se encuentra en la categoría de renovación excelente.

#### 4.2.2. Cálculo del método Steady-State

Para encontrar la concentración estacionaria de CO<sub>2</sub> o Steady-State se aplica la (Ecuación 2), se obtienen los siguientes resultados para un objetivo de tasa de renovación 4:

**Tabla 2.**  
*Cálculo de la Concentración Steady-State de CO<sub>2</sub>*

Csteady-state		Valor(ppm CO <sub>2</sub> )
1	Bloque A	490
2	Bloque A	559
3	Bloque A	669
4	Bloque A	831
5	Bloque A	960
6	Bloque B	742
7	Bloque B	924
8	Bloque F	947
9	Bloque F	965
10	Bloque F	667
11	Biblioteca	1100
12	Bloque G	619
13	Bloque G	720
14	Bloque G	682
15	Bloque G	655
16	Bloque G	567
17	Bloque G	661
18	Bloque G	614
19	Lab. Mecánica	1084
20	Bloque G	896
21	Bloque G	586
22	Bloque A	646
23	Dispensario médico	593
24	Bloque G	791
25	Sala de profesores	483
26	Secretaria	583
27	Bloque G	485

En la tabla 2, se indican las concentraciones estacionarias máximas para los espacios estudiados, no obstante, los espacios 11 y 19 tendrían una concentración de CO<sub>2</sub> elevada, lo

que no garantiza una ventilación adecuada. Estos datos corresponden a mediciones realizadas in situ en periodos de tiempo entre 20 y 60 minutos, con estudiantes y un docente por aula. Según Allen, et al (2020) y Cedeno (2020) “si el sensor de CO<sub>2</sub> lee aproximadamente 800 ppm mientras se encuentra 14 estudiantes y 1 docente en clase, se estaría cumpliendo el objetivo establecido de 4 ACH de ventilación de aire interior. Si en cambio, el sensor de CO<sub>2</sub> lee aproximadamente 1400 ppm o más, mientras los 14 estudiantes y 1 docente están en clase, con las mismas condiciones físicas y ambientales, se tendría que examinar la ventilación porque el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> en estado estable indica que la ACH real está por debajo del objetivo establecido de 4 ACH”

Para los espacios 11 y 19 con 1100 y 1084 ppm de CO<sub>2</sub> respectivamente, se deben evaluar medidas que mejoren la ventilación, para no superar el valor de ellos 1000 ppm. En el espacio 11 se observó que la ventilación se concentra en la zona de los cubículos, los mismos que poseen estructuras de separación que podrían actuar como barreras, lo que ocasionaría que la circulación del aire no sea continua en un sentido, e incluso, se sabe que estas barreras pueden ocasionar una reflexión del aire hacia afuera. Igualmente, en el espacio 19 en existen maquinarias que al igual que en el caso anterior (espacio 11) podrían actuar de barreras interfiriendo la circulación del aire. En este caso podría recomendarse ventilación mecánica.

#### **4.2.3. ANOVA número de personas vs variación de CO<sub>2</sub>**

Se realizó un análisis estadístico para verificar si el número de personas dentro de un aula influye en la variación de concentración de CO<sub>2</sub>. Mediante un diagrama de cajas se puede analizar la dispersión de los datos.

**Tabla 3**

*Rango de análisis de número de personas.*

<b>Rango</b>	<b>No Personas</b>
a	[0-6]
b	[7-12]

c	[13-18]
d	[19-24]

Nota: En la tabla 3, se puede observar el rango de personas dentro de los espacios estudiados para encontrar si existe una relación entre la cantidad de personas y el aumento de concentración de CO<sub>2</sub>, así mismo, en la variación de temperatura.

**Tabla 4**

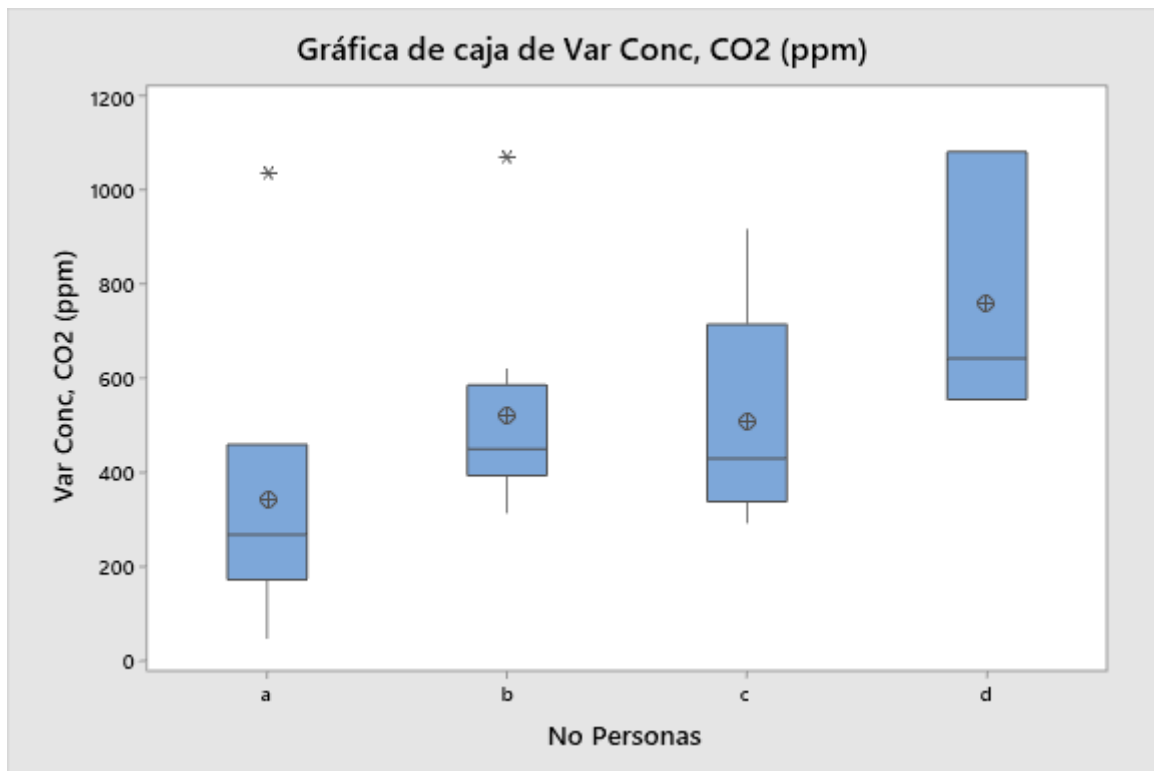
*Análisis de la varianza ANOVA de No de personas vs Variación de Concentración de CO<sub>2</sub>*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
No Personas	3	444373	148124	2,20	0,117
Error	22	1482315	67378		
Total	25	1926689			

Mediante el análisis de la varianza, en la tabla 5 se puede determinar que, el número de personas que se encuentren en un espacio, no es determinante en la concentración final de CO<sub>2</sub> durante el tiempo de medición. Se puede observar que, el valor crítico de F es, 3.049 es mayor al valor de F estadístico de 2.20.

**Figura 8**

*Diagrama de Caja de Número de Personas vs. la Variación de Concentración de CO<sub>2</sub>*



En la figura 9, se grafican los valores de la concentración de CO<sub>2</sub> registrados para espacios ocupados por los rangos a(0-6), b(7-12), c(13-18), y d(19-24) personas, con un  $R^2 = 0,23$  ver Tabla 5, que indicaría que no existe una relación importante entre las dos variables estudiadas, en contraste con lo indicado por Krishnamurti (2020) señala que, la concentración de CO<sub>2</sub> es directamente proporcional a la cantidad de personas que se encuentren dentro de las aulas, no obstante relación obtenida podría depender también de otros factores, como el volumen, la temperatura, el sistema de ventilación, que no son los mismos en los espacios estudiados. Cabe indicar que, en este estudio, todas las variables indicadas no se mantienen fijas.

**Tabla 5**

*Cálculo de R<sup>2</sup> No de personas vs concentración de CO<sub>2</sub>*

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
259,573	23,06%	12,57%	0,00%



En la tabla 5, se puede determinar que, el valor del  $R^2$ , tiene una relación baja entre las dos variables.

#### 4.2.4. ANOVA número de personas vs variación de $T^0$

Se realizó un análisis estadístico para verificar si el número de personas dentro de un aula influye en la variación de temperatura en grados Celsius.

**Tabla 6**

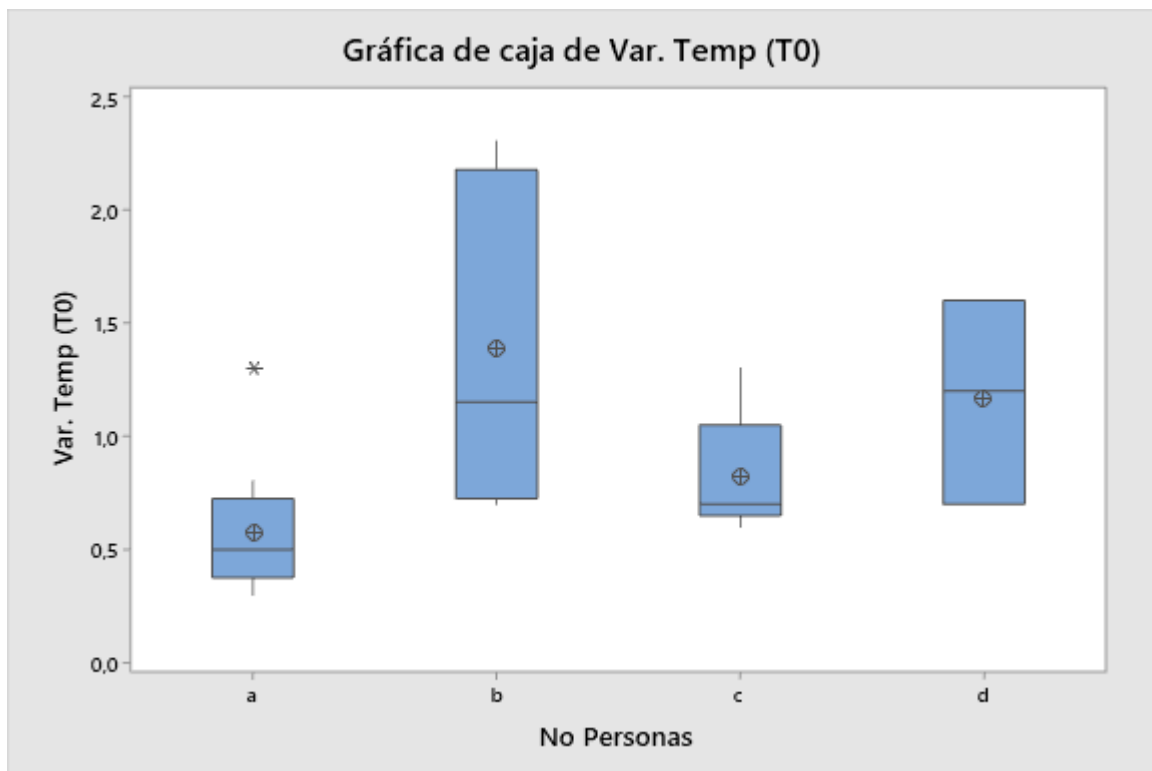
*Análisis de la varianza ANOVA de No de personas vs Variación de Temperatura*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
No Personas	3	3,197	1,0657	4,70	0,011
Error	22	4,984	0,2266		
Total	25	8,182			

Mediante el análisis de varianza, en la tabla 6 se puede determinar que, existe interacción entre el número de personas y la variación de temperatura.

**Figura 9**

*Diagrama de Caja de Número de Personas vs la variación de temperatura.*



En la figura 9, se puede observar que, personas, con un  $R^2 = 0,39$  ver Tabla 7, donde se indica que, existe una relación entre las dos variables estudiadas, en concordancia con lo indicado por (Universidad de Sevilla, 2020) señala que, la temperatura es relevante a la cantidad de personas que se encuentren dentro de las aulas.

**Tabla 7**

*Cálculo de  $R^2$  No de Personas vs Temperatura.*

<b>S</b>	<b>R-cuad.</b>	<b>R-cuad. (ajustado)</b>	<b>R-cuad. (pred)</b>
0,475988	39,08%	30,77%	15,49%

#### 4.2.5. ANOVA área de apertura de ventana vs concentración de CO<sub>2</sub>

**Tabla 8**

*Rango de Área Apertura de Ventanas*

<b>Donde:</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>
a	[0-25]
b	[26-50]
c	[51-75]
d	[76-100]

En la tabla 7, se especifica el rango de apertura en porcentaje de cada área para comprobar si existe una correlación con la concentración de CO<sub>2</sub> y la temperatura.

**Tabla 9**

*Análisis de la Varianza ANOVA de Área Apertura de Ventanas vs. Concentración de CO<sub>2</sub>*

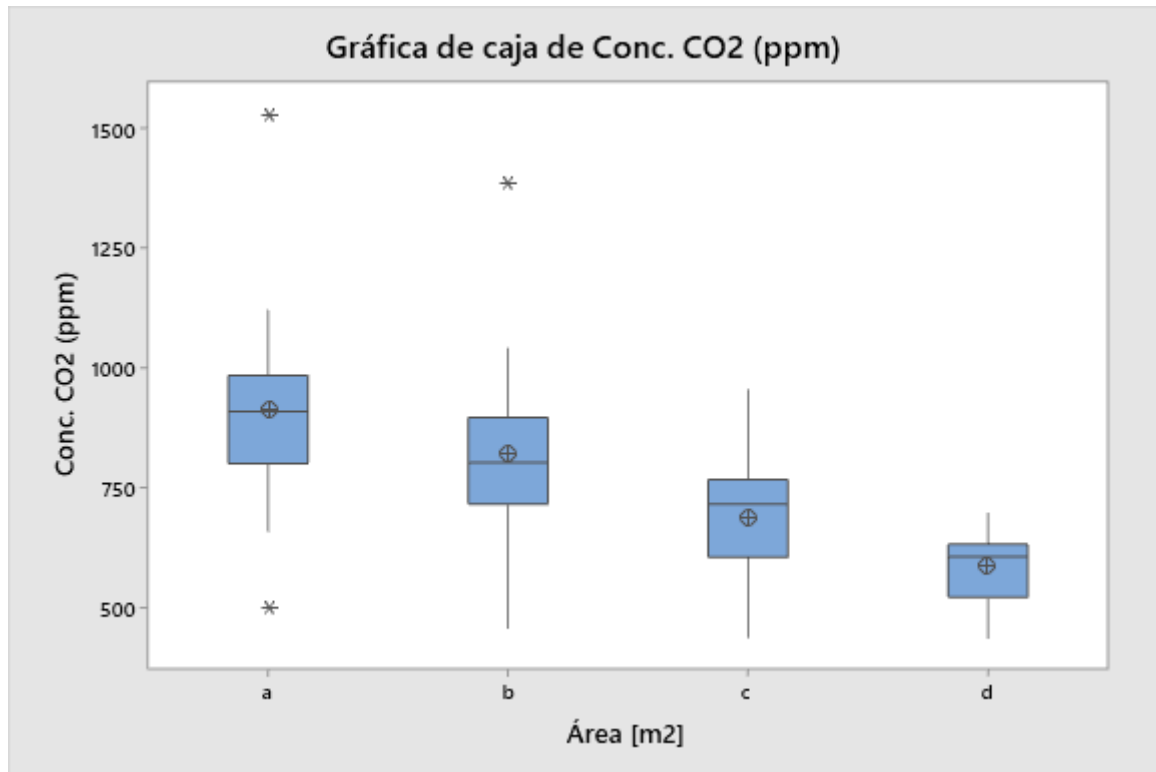
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Área [m <sup>2</sup> ]	3	930192	310064	12,84	0,000
Error	64	1903333	29740		
Total	67	2833525			

Una vez comprobado el análisis de la varianza, en la tabla 8 se puede determinar que, la diferencia entre las medias del área de apertura de ventas frente a la concentración de CO<sub>2</sub> es diferente, siendo el valor P menor a 0,05 esto quiere decir que existe interacción entre el área

de apertura y la concentración. El valor crítico de F es, 2.748 es menor al valor de F estadístico de 12.84, indicando que las variables tienen interacción entre sí.

**Figura 10**

*Diagrama de Caja Área Apertura de Ventanas vs Concentración de CO<sub>2</sub>*



En la figura 10, se puede observar que, con un  $R^2 = 0.38$  ver Tabla 10, a mayor rango de apertura del área de la ventana, menor es la concentración de CO<sub>2</sub>, llegando a una homogenización dentro de los parámetros permisibles, posteriormente ya descritos.

**Tabla 10**

Cálculo de  $R^2$  área de apertura de ventanas vs concentración.

	<b>R- S</b>	<b>R-cuad. cuad. (ajustado)</b>	<b>R-cuad. (pred)</b>
	165,374	37,58%	34,65%
			29,53%

#### 4.2.6. ANOVA Área de apertura de ventana vs temperatura

**Tabla 11**

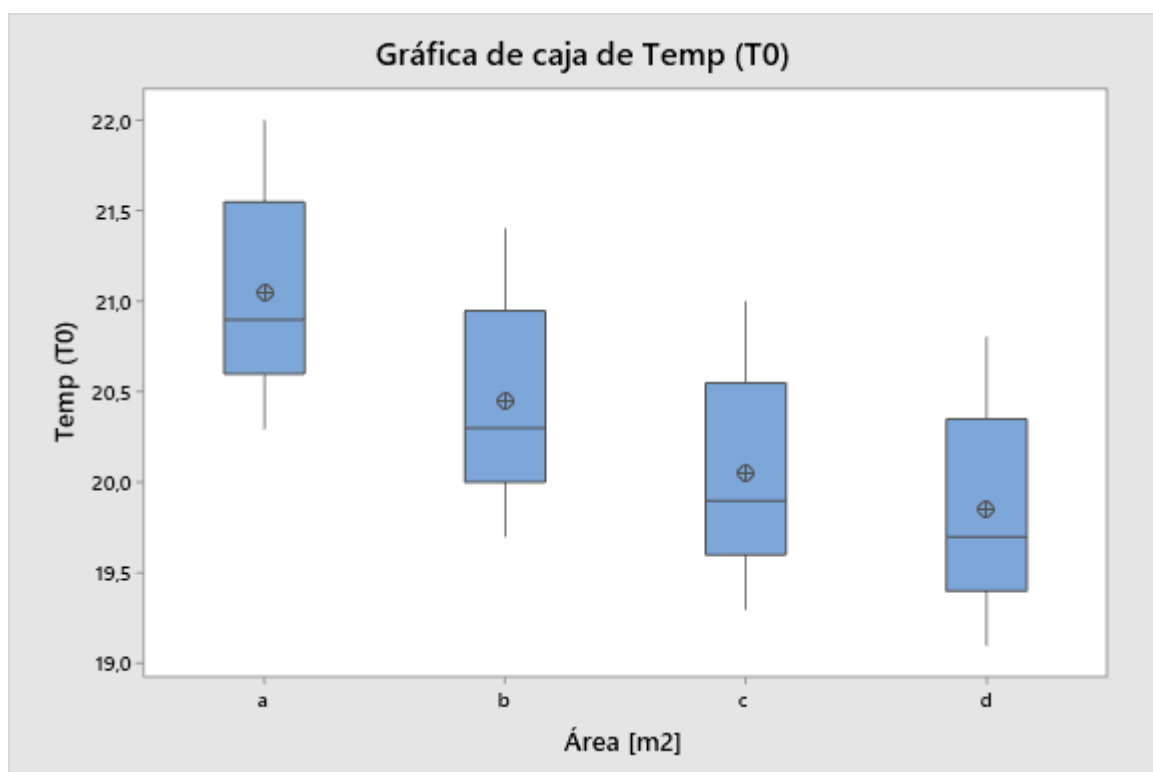
*Análisis de la Varianza ANOVA de Área Apertura de Ventanas vs Temperatura*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Área [m <sup>2</sup> ]	3	14,28	4,7600	16,34	0,000
Error	64	18,65	0,2914		
Total	67	32,93			

Al igual que en el análisis anterior, en la tabla 11, se puede determinar que, el valor P es menor a 0,05 esto quiere decir que existe interacción entre el área de apertura y la temperatura. El valor crítico de F es, 2.748 es menor al valor de F estadístico de 16.34, indicando que las variables tienen interacción entre sí.

**Figura 11**

*Relación del Área de Apertura de Ventanas vs la Temperatura.*



En la figura 11, se puede determinar que, la temperatura va bajando progresivamente conforme el rango de apertura del área de la ventana sea mayor en cada intervalo de tiempo. Se obtiene un  $R^2 = 0.43$

**Tabla 12**

*Cálculo de  $R^2$  Área de Apertura de Ventanas vs Temperatura.*

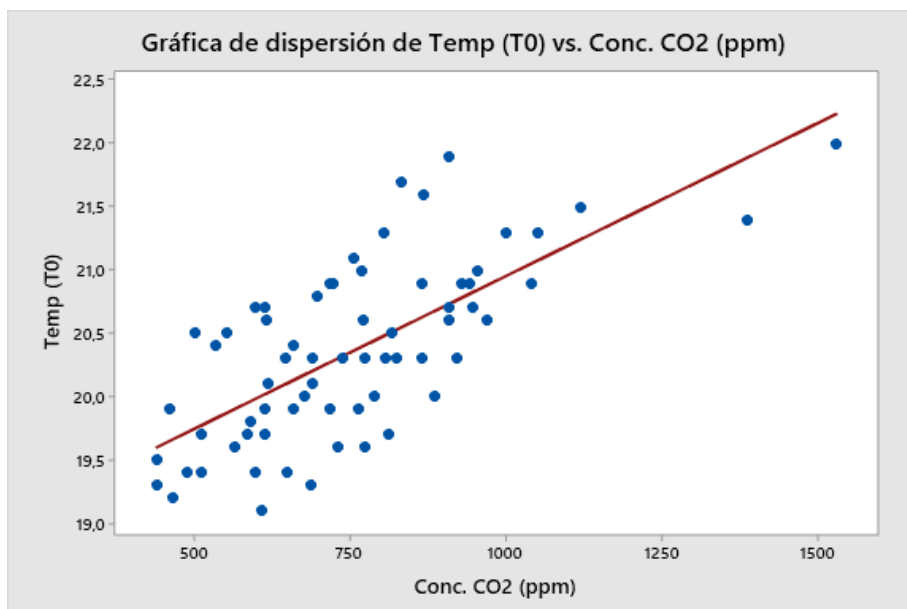
S	R- cuad. (ajustado)	R- cuad. (pred)
0,539812	43,37%	36,06%

#### 4.2.7. *Correlaciones de las variables de respuesta*

En el siguiente apartado del trabajo experimental, se analiza las dos correlaciones ambos tratamientos para verificar la relación entre las variables. Para el primer tratamiento del número de personas frente a las variables de respuesta: variación de concentración y variación de temperatura, en el cual, con la última variable se puede demostrar que existe una relación del cual se obtiene el siguiente grafico:

**Figura 12**

Correlación con línea de tendencia entre concentración de CO<sub>2</sub> frente a la temperatura.



En la figura 17, se obtuvo una  $r=0.71$ , pertenece al rango de 0.51-0.75, una correlación moderada-fuerte, al ser una muestra pequeña tiende a ser significativo el valor calculado, esto

quiere decir que, la concentración de CO<sub>2</sub> y la temperatura en base al área de apertura de las ventanas bajan considerablemente a límites permisibles.

Según Cámara (2020) el CO<sub>2</sub> no es tóxico ni sugiere ser tan perjudicial para la salud humana, influye directamente sobre la respiración humana, de manera que, cuando existen elevadas concentraciones en el aire interior de instalaciones, en este caso los espacios de la universidad, el dióxido de carbono produce una sensación incómoda debido a que desplaza el oxígeno del aire y hace que la respiración se vuelve sofocante. Depende del tipo de área donde las personas se encuentren, a un mayor volumen existe mejor dispersión del aire, si el número de personas ocupa gran parte del espacio, se necesita de una correcta ventilación, así no superar los 1000 ppm.

En los espacios interiores es imposible no contar con dióxido de carbono, debido a que este es producido por la respiración, por lo tanto, los sensores de dióxido de carbono se usan muy a menudo para monitorear los equipos de renovación del aire interior. Según el portal S&P (2020) estos procesos constituyen una de las categorías llamadas Demanda Controlada de Ventilación. El sistema es sencillo: el sensor de dióxido de carbono envía una señal proporcional a la concentración de CO<sub>2</sub> que excede a la normal (800 ppm – 1000 ppm). Esto envía al motor del ventilador de extracción una frecuencia de rotación proporcional a la señal de entrada del sensor.

En la Universidad Politécnica Salesiana, al no contar con un sistema mecánico, se debe controlar mediante el tiempo de exposición al contaminante en el espacio físico, es decir, después de cierto tiempo, se debe tener abiertas las distintas formas de ventilación natural previamente ya mencionadas al inicio del trabajo experimental.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- Los valores obtenidos de CO<sub>2</sub> en las aulas y espacios físicos analizados mostraron rangos de entre 490-1100 ppm. Durante las mediciones realizadas, un 78% de las mismas se mantuvieron por debajo de lo recomendado (800 ppm).
- El 74% de la aulas y espacios físicos analizados tienen valores ACH mayores de 4 (bueno), no obstante, los aforos con los que se midieron no son los que habitualmente tendrían si se existe una presencialidad total. En aulas que tuvieron excepcionalmente un número de estudiantes “normal” (recepción de exámenes y laboratorios) los resultados obtenidos de ACH también son mayores o iguales a 4 cuando se promovió la ventilación natural posible para cada espacio.
- En base al análisis de los resultados, se logra indicar que, para obtener valores de ventilación mayores a 4 (Bueno) se debe mantener temperaturas hasta 22 °C y promoviendo la ventilación natural disponible, que, en los espacios estudiados, se traduce en apertura de ventanas y puertas.

## 5.2. Recomendaciones

- De acuerdo con los resultados, se recomienda la apertura de las ventanas de todos los bloques en un 75%, para controlar y mantener una concentración estacionaria dentro de los límites. La colocación de termómetros en las aulas y espacios físicos de la universidad reducirá el costo de instalación de sistemas de ventilación mecánica y sensores de CO<sup>2</sup>.
- Se recomienda que para la sala de profesores del bloque F (planta baja) y el curso F2 se mantenga siempre abierto estos sistemas de ventilación manual; en el caso de la sala de profesores se debe optar por el 50% todo el tiempo, o a su vez, realizar una ventilación cruzada entre la puerta y la venta frontal, en el caso del curso F2, se recomienda tener la puerta siempre abierta en un 50%.
- En base a los resultados obtenidos en el análisis de varianza del número de personas, se recomienda un futuro estudio cuando se pueda volver a una normalidad para poder comparar entre los otros tratamientos restantes, así poder contar con la evaluación y una guía para un correcto proceso de ventilación.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Universidad de Cornell. (2002). Las causas de la mala calidad del aire interior y qué puede hacer al respecto. Estados Unidos .
- Achen, C. H. (1982). Interpreting and using regression. Londres: Sage.
- Allen, J., Spengler, J., Jones, E., & Cedeno-Laurent, J. (2020). Guía en 5 pasos para medir la tasa de renovación de aire en aulas. Boston: Harvard Healthy Buildings program.
- ATEAAR(Asociación Técnica Ecuatoriana de Aire Acondicionado y Refrigeración). (2019). ATEAAR. Obtenido de <http://www.ateaar.org/>
- Berenguer Subils, J., & Bernal Domínguez , F. (2017). El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire. España.
- Berry, W., & Feldman, S. (1985). Multiple Regression in Practice. California: Sage University.
- Camara, A. (2020). Captura y Almacenamiento de CO<sub>2</sub>. Madrid: Conama.
- CASALS. (2020). Como calcular las renovaciones por hora segun la actividad e un local. Casals.
- Cevallos Morejon, G. A. (2017). CONFORT TERMICO EN LAS INSTALACIONES DE USO EDUCATIVO ESTUDIO DE CASOS: " UNIDAD EDUCATIVA MANABI" Y "UNIDAD EDUCATIVA TRAJANO VITERI MEDRANDA" DE MANTA. Manta, Ecuador.
- Chipana Meza , M. M., & Matos Zavaleta, N. (julio de 2020). Evaluación de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en interiores y su influencia en la salud de los estudiantes de la Universidad Peruana Unión. Lima, Perú.
- Contreras Carillo , J. C. (2020). Metodología para establecer los criterios de renovación del aire de un aula asociada a la concentración de CO<sub>2</sub> emitido por sus ocupantes según su actividad. Cataluña, España.
- CSIC. (2020). Guia de ventilacion de espacios interiores. Valencia: Csic.

- FUNDACIÓN LABORAL DE LA CONSTRUCCIÓN. (2015). Buenas prácticas para la prevención de los riesgos laborales de los trabajadores expuestos a condicionesclimatológicas adversas.
- Gutiérrez Muñoz, F. (2010). Insuficiencia respiratoria aguda. ACTA MÉDICA PERUANA.
- Herrick, R. F. (2012). ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO.
- HF. (2009). Normas ASHRAE. Handbook funmental.
- INSTT. (2020). La ventilacion como medida preventiva frente al coronavirus Sars-Cov2. Madrid: Instt.
- Jhon. (1994). Ingenieria de los materiales. Wilmington: DE/Addison -.
- Krishnamurti, j. (2020). En Talks whit American Students(168). Buenos Aires: Kier.
- Lara , A. R. (Mayo de 2020). Manual MSD. Obtenido de Manual MSD: <https://www.msdmanuals.com/es/hogar/trastornos-del-pulm%C3%B3n-y-las-v%C3%ADas-respiratorias/enfermedades-pulmonares-de-origen-ambiental/enfermedades-relacionadas-con-la-contaminaci%C3%B3n-atmosf%C3%A9rica>
- Lindwell, O. (1983). Airborne contamination of wounds in joint replacement. Chicago.
- Llacho Alhuirca, U. C., & Vargas Castro Cuba, A. D. (2020). Estudio del sistema de ventilación para el control de agentes químicos y físicos, U.O. Pallancata – veta Pablo – 2018. Arequipa: Universidad Tecnológica del Perú.
- Mangonon, P. (2001). Ciencia de Materiales: Selección y Diseño. Mexico: Pearson.
- Morales Martinez, A. Y. (2018). EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR EN SALAS DE CLASES EN LA UTFSM, SEDE CONCEPCIÓN.
- Neffa, J. C. (2010). LOS RIESGOS PSICOSOCIALES EN EL TRABAJO. Buenos Aires: CEIL-CONICET.
- Nieto, A. (2014). La importancia de la ventilación. Ciudad de Mexico: HVACR.

- OMS. (29 de Enero de 2021). Organización Mundial de Salud . Obtenido de Organización Mundial de Salud : <https://www.who.int/es/news/item/29-06-2020-covidtimeline>
- Quispe Izquierdo, A. O. (diciembre de 2020). Calidad de aire en interiores por dióxido de carbono y su relación con la ventilación de las oficinas de la Municipalidad Provincial de Tocache. Tarapoto, Perú.
- Soler and Papau. (2018). Entiende la ventilacion en todos sus ambitos. En Soleranpapau, Ventilacion (pág. Capitulo 3).
- Universidad Autónoma de Madrid . (2020). PLAN DE MEDICIONES DE CO2 EN AULAS Y ESPACIOS DOCENTES. Madrid , España.
- Universidad Autónoma de Madrid. (2021). PLAN DE MEDICIONES DE CO2 EN AULAS Y ESPACIOS DOCENTES. Madrid: UAM.
- Universidad de Sevilla. (25 de Agosto de 2020). Cómo mejorar la calidad del aire en las aulas. Sevilla, España.
- Universidad de Valladolid. (2021). Fundamentos para comprobar el estado de la ventilación en aulas y espacios docentes de trabajo, a través de medición de CO2. Valladolid: UVA.
- UVA. (09 de febrero de 2021). Fundamentos para comprobar el estado de la ventilación en aulas y espacios docentes de trabajo, a través de medición de CO2. Valladolid, España.
- Viceconsejería de organización educativa . (2020). INSTRUCCIÓN DE LA VICECONSEJERIA DE ORGANIZACIÓN EDUCATIVA DE LA COMUNIDAD DE MADRID PARA LA CORRECTA VENTILACION DE LOS CENTROS EDUCATIVOS. Madrid , España.
- Villanueva Pruneda, S. A. (1994). Manual de Métodos de Fabricación. Mexico: AGT.
- Vinkesteyn, J., & Zamora, J. V. (2014). Guía de renovación de aire en el sector residencial. Madrid : Fundacion de energia.

Whyte, W. (1982). The importance of airborne bacterial contamination of wounds. Nueva York: Pearson.

## 7. ANEXOS

### 7.1. Anexo 1: Medición de los distintos espacios por medio del distanciómetro Spectra HD50.

- Medidas de los distintos bloques.



- Medidas de las zonas administrativas

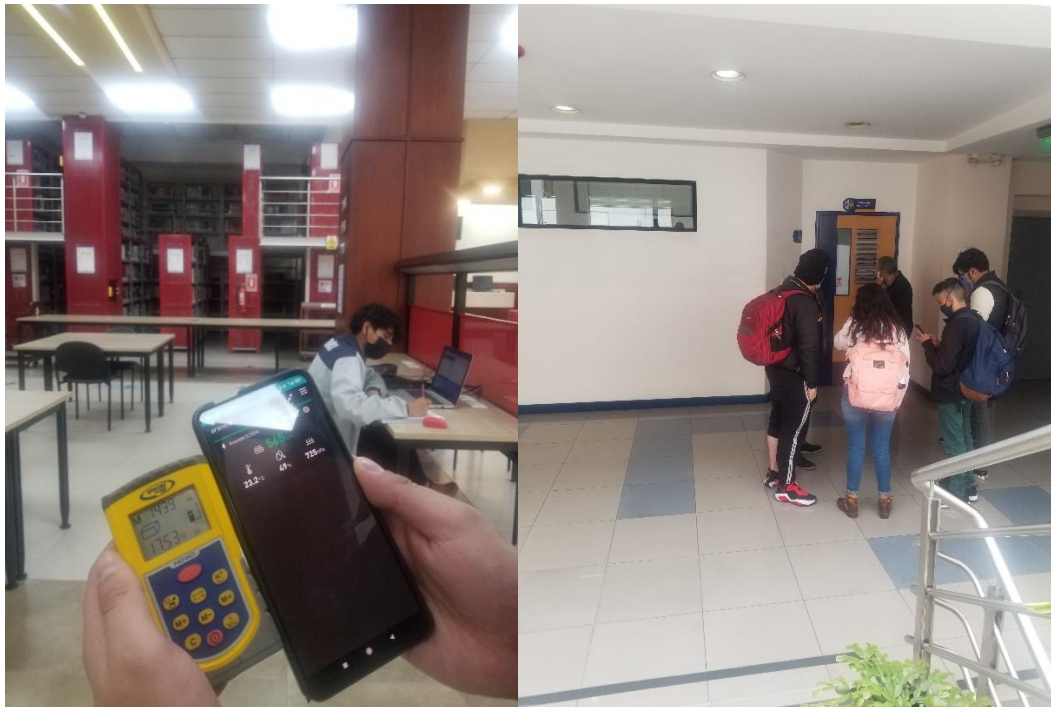


- Medidas laboratorios.





- Control de concentración de CO<sub>2</sub>



- Calibar Aranet4 (Interfaz)



## DEVICE SETTINGS

### GENERAL

Sensor display name

Name

Aranet4 025DA

Serial No.

381121009690, rev.6

### SETTINGS

Measurement interval

5 minutes

Buzzer

Off

Bluetooth range

Normal

Smart Home integration



### ADVANCED

Firmware

v0.4.10

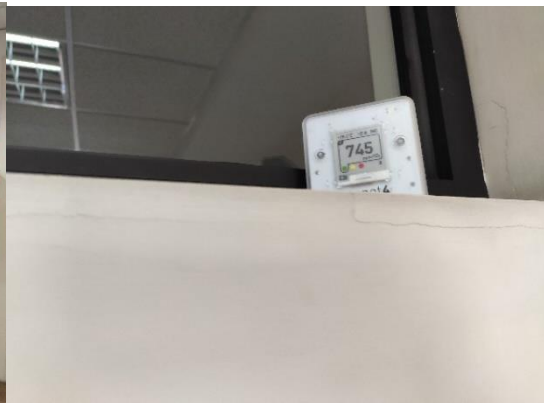
CO<sub>2</sub> indication mode

Default

**7.2. Anexo 2: Medición de concentración de CO<sub>2</sub> en los distintos espacios de la Universidad Politécnica**



- Colocar el medidor de CO<sub>2</sub> en un sitio que no cuente con ventilación directa.



- Contabilizar el número de personas que se encuentre en el aula a medir





### 7.3. Anexo 3: Recopilación información en tablas

BITACORA INFORMACIÓN CO2													
Lugar	Aula	Hora inicio (24h)	Hora final (24h)	#Personas	#Ventanas abiertas	#Ventanas cerradas	Total ventanas	Volumen (m3)	Temp. Inicial (oC)	Temp. Final (oC)	Conc. Inicial (ppm)	Conc. Final (ppm)	Observaciones
Biblioteca		10:00	10:40	14	0	7	7	1439	21.1	21.8	450	745	1. Puerta cerrada-abierta (automática) 2. Constante entrada de estudiantes
Bloque A	Gimnasio	11:35	12:10	6	2	7	9	772.4	20	20.7	523	745	1. Puerta cerrada 2. Uso permanente de la mascarilla
Bloque A	A-28	10:00	10:35	8	0	2	2	162.1	20.1	20.9	453	942	1. Puerta cerrada 2. Proyector encendido
Bloque A	A-25	11:20	12:00	15	1	1	2	161.3	20	20.6	453	968	1. Puerta cerrada. 2. Proyector encendido. 3. Aranet lejos de ventanas y puertas
Bloque A	A-22	12:10	12:40	21	2	0	2	161.6	20.6	21.3	446	1001	1. Puerta cerrada. 2. Proyector encendido. 3. Aranet lejos de ventanas y puertas

Bloque B	B1	8:00	8:55	12	0	4	4	195.4	18.8	20.9	487	928	1. Puerta cerrada 2. Proyector apagado 3. Puerta semi-abierta 897ppm
Bloque B	B2	11:50	12:20	22	2	2	4	194.8	20.3	21.5	478	1120	1. Puerta cerrada. 2. Proyector encendido. 3. Aranet lejos de ventanas y puertas
Bloque F	Lab. Aguas	11:05	11:35	10	5	2	7	87.4	20.4	21.4	461	854	1. Puerta abierta 2. Aranet cerca del pasillo.
Bloque F	Lab. Química	11:45	12:40	11	0	6	6	200.9	20	22.3	437	1507	1. Puerta cerrada (1) y ventanas cerradas (6) 2. Mecheros de bunsen encendidos (3) 3. Venta y puerta abierta, corriente de aire directa (860) 4. Homogenización (1238pm) 513ppm
Bloque F	F3	11:35	12:30	17	5	0	5	105.1	20.4	21.7	450	832	1. Puerta cerrada 2. Proyector apagado 3. Día de examen, mejor estimación de concentración de CO2
Bloque F	F2	11:10	11:45	3	0	0	0	102.3	20	20.3	457	920	1. Puerta cerrada. 2. Proyector apagado. 3. No se encontraba ningún profesor.

Bloque G	Sala de profesores	11:00	11:40	6	0	3	3	101.3	19	20.3	447	698	1. Puerta abierta 2. Corriente de aire directa.
Bloque G	G-15	11:45	12:10	7	1	2	3	148.3	19.4	21.6	470	868	1. Puerta cerrada 2. Aranet cerca del pasillo. 3. Proyector apagado
Bloque G	G-23	12:10	12:40	6	2	1	3	149.9	20.1	20.4	470	659	1. Puerta cerrada 2. Aranet cerca del pasillo. 3. Proyector apagado
Bloque G	G-28	11:15	11:40	4	0	3	3	150.9	20.1	20.6	432	769	1. Puerta cerrada 2. Proyector prendido 3. Ventana abierta 11:42 baja concentracion (748) 4. 11:51 2 ventanas abiertas (728)
Bloque G	G-27	10:25	10:50	7	0	3	3	148.9	21.2	21.9	450	909	1. Puerta cerrada 2. Proyector encendido 3. Puerta abierta (10:40am) baja a 874ppm 4. Puerta abierta y ventanas (10:50pm) 837ppm
Bloque G	G-19	10:00	10:30	5	0	3	3	146.4	20	20.5	450	499	1. Puerta cerrada 2. Proyector encendido
Bloque G	G-27	15:00	15:55	24	1	2	3	148.7	20.4	22	450	1531	1. Puerta cerrada 2. Proyector apagado 3. Día de examen 4. Puerta abierta baja concentracion a 1269ppm, homogenizacion en 989
Bloque G	G-27	14:30	15:15	17	2	1	3	148.4	20.1	20.9	435	865	1. Puerta abierta 2. Proyector apagado 3. Día de examen
Bloque G	G-27	10:25	10:50	4	0	3	3	148.9	20.2	20.6	450	909	1. Puerta cerrada 2. Proyector encendido 3. Puerta abierta (10:40am) baja a 874ppm 4. Puerta abierta y ventanas (10:50pm) 837ppm
Bloque G	G-25	11:10	11:45	7	0	3	3	146.9	20	21.3	432	1051	1. Puerta cerrada 2. Proyector apagado 3. Puerta cerrada (Sin profesor)

Boque A	A-13	10:00	10:30	5	0	2	2	154.7	20.1	20.9	438	723	1. Puerta abierta 2. Aranet cerca del pasillo.
Dispensario médico		11:35	12:05	3	2	0	2	45.35	19.7	20.1	425	548	1. Puerta cerrada 2. Baja la concentración porque sale la gente (515)
Lab. Mecánica		10:35	11:30	13	8	3	0	1001.3	21.3	22	430	1345	1. Puerta abierta 2. Uso constante de maquinaria 3. Homeginizacion a 867ppm
Sala de profesores	F	10:00	11:15	4	0	4	4	132.6	20.1	20.6	430	1467	1. Puerta cerrada 2. Espacio pequeño 3. Ventanas cerradas 4. La concentracion baja progresivamente con la puerta y ventanas abiertas, no baja a la misma cantidad de los otros cursos, se homogeniza en 984 ppm
Secretaría		12:00	12:30	7	8	2	10	565.8	20.1	20.8	430	746	1. Puerta permanentemente abierta

#### 7.4. Anexo 4: Resultado tabla

BITACORA INFORMACIÓN CO2										
Lugar	Aula	Volumen (m3)	Temp. Inicial (oC)	Temp. Final (oC)	Conc. Inicial (ppm)	Conc. Final (ppm)	25%	50%	75%	Área total ventana
Bloque A	A-28	162.1	20.1	20.9	453	942	0.44	0.88	1.31	1.75
Bloque A	A-25	161.3	20	20.6	453	968	0.44	0.88	1.32	1.76
Bloque A	A-22	161.6	20.6	21.3	446	1001	0.44	0.87	1.31	1.74
Bloque A	A-13	154.7	20.1	20.9	438	723	0.44	0.88	1.32	1.76
Bloque B	B1	195.4	18.8	20.9	487	928	0.45	0.90	1.34	1.79
Bloque B	B2	194.8	20.3	21.5	478	1120	0.44	0.89	1.33	1.77
Bloque F	F3	105.1	20.4	21.7	450	832	0.44	0.88	1.32	1.76
Bloque F	F2	102.3	20	20.3	457	920	0.44	0.89	1.33	1.77
Bloque G	G-15	148.3	19.4	21.6	470	868	0.18	0.37	0.55	0.73
Bloque G	G-23	149.9	20.1	20.4	470	659	0.18	0.36	0.54	0.72
Bloque G	G-28	150.9	20.1	20.6	432	769	0.19	0.37	0.56	0.74
Bloque G	G-27	148.9	21.2	21.9	450	909	0.18	0.37	0.55	0.73
Bloque G	G-19	146.4	20	20.5	450	499	0.18	0.36	0.54	0.72
Bloque G	G-27	148.7	20.4	22	450	1531	0.18	0.37	0.55	0.73
Bloque G	G-27	148.4	20.1	20.9	435	865	0.18	0.37	0.55	0.73
Bloque G	G-27	148.9	20.2	20.6	450	909	0.18	0.37	0.55	0.73
Bloque G	G-25	146.9	20	21.3	432	1051	0.18	0.37	0.55	0.73