



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“EFECTO DE LOS EXTRACTORES EÓLICOS EN LA CALIDAD AMBIENTAL
INTERIOR DEL AULA PI- 203 DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR,
LIMA - PERÚ”**

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Presentado por:

KATYUSKA LUCIA BARJA PAREDES

Asesor:

ING. LUIS ANTONIO IBAÑEZ GUERRERO

LIMA, PERÚ

2019

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios y a mis padres.

A Dios, por cuidarme y darme la fortaleza para continuar y dar lo mejor de mí, sé que siempre está conmigo en cada paso que doy y daré. Por brindarme paz y enseñarme lo bella qué es.

A mi madre y padre, quienes han velado por mi bienestar desde pequeña y que lo siguen haciendo hasta el día de hoy. A ellos que me obsequiaron los dos mejores regalos que los padres pueden hacerles a sus hijos: el amor y la educación. Por creer en mí siempre, pues eso marca una diferencia abismal entre lograr un objetivo o dejarlo a medio camino. Gran parte de lo que soy, es gracias a ellos. Los amo con mi vida, hoy y siempre.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, por toda la paciencia y el apoyo en todo sentido mientras realizaba la investigación. Por su preocupación, ánimo y aliento de continuar con mi objetivo.

A mi asesor, Luis Antonio Ibañez, por su guía, su paciencia, sus críticas constructivas y su tiempo invertido en toda la investigación. Y al profesor de la Universidad Nacional de Ingeniería, Nel Quezada, por su apoyo con la estadística.

A mi facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Científica del Sur por su eficiencia en realizar las coordinaciones respectivas para brindarme la facilidad de monitorear en aulas y por los datos meteorológicos brindados. Especialmente a Yanina Calderón, por recibirme siempre con una sonrisa y por el apoyo incondicional en los trámites documentarios.

A INVEMSAC S.A por darme la confianza de sus equipos al alquilármelos a un buen precio debido a su visión de apostar por la investigación nacional y su interés en los jóvenes tesisistas.

A mis amigas, Maricela Camacho y Milagros Gutiérrez por haber asistido como ocupantes en mi trabajo de campo, trayendo sus pendientes al aula para así ayudarme sin descuidar su trabajo. A mi amiga, Cheryl Soto, por acogerme en su casa mientras realizaba mis monitoreos en la universidad. A mi amigo, Gian Marco Calderón, por ser mi apoyo en las mediciones durante casi todo el tiempo que se requirió; por su profesionalismo y paciencia.

INDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
ÍNDICE DE ANEXOS	10
RESUMEN.....	11
ABSTRACT	12
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1. Justificación de la investigación	5
II. MARCO TEÓRICO.....	7
1. Calidad ambiental Interior	7
2. Indicadores.....	10
2.1. <i>Ventilación</i>	10
2.2. <i>Dióxido de carbono</i>	12
2.3. <i>Confort térmico</i>	14
2.4. <i>Iluminación</i>	17
2.5. <i>Ruido</i>	19
3. Tecnologías para mejorar la ventilación	21
4. Antecedentes	23
III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	28
1. Hipótesis.....	28

2. Objetivos	28
IV. METODOLOGÍA.....	29
1. Descripción del área de estudio	29
2. Materiales	32
3. Método.....	33
3.1. <i>Medición de Indicadores</i>	34
3.2. <i>Data meteorológica</i>	39
3.3. <i>Pruebas estadísticas</i>	40
V. RESULTADOS	41
1. Resultados meteorológicos	41
1.1. <i>Dirección y velocidad del viento</i>	41
1.2. <i>Temperatura del aire</i>	43
1.3. <i>Humedad relativa</i>	43
2. Resultados de Indicadores	44
2.1. <i>Ventilación</i>	45
2.2. <i>Dióxido de Carbono</i>	51
2.3. <i>Confort Térmico</i>	58
3. Resultados estadísticos	62
3.1. <i>T de student</i>	62

3.2.	<i>Análisis de Varianza de un factor (ANOVA)</i>	63
3.3.	<i>Correlación de Pearson</i>	64
VI.	DISCUSIÓN.....	65
VII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
1.	Conclusiones.....	71
2.	Recomendaciones	72
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
IX.	ABREVIATURAS.....	87
X.	ANEXOS	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de ventilación natural cruzada adecuada (izquierda) e inadecuada (derecha). En el primer caso cumple con el proceso de ventilación, para ser específicos con una ventilación cruzada.	11
Figura 2: Infografía sobre el efecto del CO ₂ en la percepción del ser humano.	14
Figura 3: Curva de Fanger. PPD vs. PMV.	17
Figura 4: Extractores eólicos y su función principal.	22
Figura 5: Ubicación de las aulas PI-203 y PI-204 de la Universidad Científica del Sur en la imagen satelital de Google Earth.	30
Figura 6: Vista interior del aula PI-204	31
Figura 7: Vista interior del aula PI-203	31
Figura 8: Dirección de viento aplicada al objeto de estudio.	42
Figura 9: Data meteorológica de la velocidad del viento en la semana de medición....	42
Figura 10: Data meteorológica de temperatura del aire en la semana de medición. ...	43
Figura 11: Data meteorológica de humedad relativa en la semana de medición.	44
Figura 12: Comparación del caudal exterior total entre las aulas PI-203 y PI-204; 5 de febrero del 2018.	46
Figura 13: Comparación del caudal exterior total entre las aulas PI-203 y PI-204; 6 de febrero del 2018.	46
Figura 14: Comparación del caudal exterior total entre las aulas PI-203 y PI-204; 7 de febrero del 2018.	47
Figura 15: Comparación del caudal exterior total entre las aulas PI-203 y PI-204; 8 de febrero del 2018.	47

Figura 16: Comparación del caudal exterior total entre las aulas PI-203 y PI-204; 9 de febrero del 2018. 48

Figura 17: Comparación del número de renovaciones entre las aulas PI-203 y PI-204; 5 de febrero del 2018. 49

Figura 18: Comparación del número de renovaciones entre las aulas PI-203 y PI-204; 6 de febrero del 2018. 49

Figura 19: Comparación del número de renovaciones entre las aulas PI-203 y PI-204; 7 de febrero del 2018. 50

Figura 20: Comparación del número de renovaciones entre las aulas PI-203 y PI-204; 8 de febrero del 2018. 50

Figura 21: Comparación del número de renovaciones entre las aulas PI-203 y PI-204; 9 de febrero del 2018. 51

Figura 22: Comparación de CO₂ neto entre las aulas PI-203 y PI-204; 5 de febrero del 2018. 52

Figura 23: Comparación de CO₂ neto entre las aulas PI-203 y PI-204; 6 de febrero del 2018. 52

Figura 24: Comparación de CO₂ neto entre las aulas PI-203 y PI-204; 7 de febrero del 2018. 53

Figura 25: Comparación de CO₂ neto entre las aulas PI-203 y PI-204; 8 de febrero del 53

Figura 26: Comparación de CO₂ neto entre las aulas PI-203 y PI-204; 9 de febrero del 2018. 54

Figura 27: Comparación de CO₂-40 entre las aulas PI-203 y PI-204; 5 de febrero del 2018. 56

Figura 28: Comparación de CO₂-40 entre las aulas PI-203 y PI-204; 6 de febrero del 2018.
 56

Figura 29: Comparación de CO₂-40 entre las aulas PI-203 y PI-204; 7 de febrero del 2018.
 57

Figura 30: Comparación de CO₂-40 entre las aulas PI-203 y PI-204; 8 de febrero del 2018.
 57

Figura 31: Comparación de CO₂-40 entre las aulas PI-203 y PI-204; 9 de febrero del 2018.
 58

Figura 32: Comparación de PVM entre las aulas PI-203 y PI-204; 5 de febrero del 2018.
 59

Figura 33: Comparación de PVM entre las aulas PI-203 y PI-204; 6 de febrero del 2018.
 59

Figura 34: Comparación de PVM entre las aulas PI-203 y PI-204; 7 de febrero del 2018.
 60

Figura 35: Comparación de PVM entre las aulas PI-203 y PI-204; 8 de febrero del 2018.
 60

Figura 36: Comparación de PVM entre las aulas PI-203 y PI-204; 9 de febrero del 2018.
 61

Figura 37: Los equipos utilizados durante el muestreo fueron los siguientes: a) Medidor de velocidad del viento (Termo-higro-anemómetro Extech 45160); b) Medidor de confort térmico (Quest Technologies, modelo QUESTemp[®]36.); c) Medidor de gas de CO₂ (Testo 535). 90

Figura 38: Certificado de calibración de la estación meteorológica. 92

Figura 39: Certificado de calibración de monitor de estrés térmico. 93

Figura 40: Certificado de calibración del anemómetro.....	95
Figura 41: Certificado de calibración del sensor de CO2.....	97
Figura 42: Ficha de toma de datos de ventilación para el aula PI-203.....	100
Figura 43: Ficha de toma de datos de ventilación para el aula PI-204.....	100
Figura 44: Ficha de toma de datos de dióxido de carbono para el aula PI-203.	100
Figura 45: Ficha de toma de datos de dióxido de carbono para el aula PI-204.	100
Figura 46: Ficha de toma de datos de confort térmico para el aula PI-203.....	101
Figura 47: Ficha de toma de datos de confort térmico para el aula PI-204.....	101
Figura 48: Vista externa del aula PI-203.....	103
Figura 49: Vista externa del aula PI-204.....	103
Figura 50: Vista externa de los 3 extractores eólicos instalados en el aula PI-203.....	104
Figura 51: Vista interna del aula PI-203, la cual se diferencia del PI-204 por los tres conductos de los extractores eólicos en el techo.	104
Figura 52: Vista panorámica del sistema de ventilación de puerta y ventanas cerradas (T1).....	104
Figura 53: Monitoreo de velocidad del viento en cada una de las entradas del aula.	105
Figura 54: Monitoreo de confort térmico en el aula. Se realizaron 3 mediciones a diferente nivel dentro del salón: bajo, medio y alto	105
Figura 55: Monitoreo de dióxido de carbono interior.	106
Figura 56: Monitoreo de dióxido de carbono exterior.....	106
Figura 57: Registro fotográfico del último día de monitoreo (09 feb). Se presenta bastante nubosidad desde las primeras horas de monitoreo.	107
Figura 58: Rosa de viento del día 05 al 09 de febrero (11-16 hrs).....	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Caudales mínimos del aire exterior por persona según la ISO 13779:2007.....	12
Tabla 2: Escala de sensación térmica en función del valor del Voto medio estimado (PMV) según ISO 7730:2006.....	16
Tabla 3: Medidas del aula y sus entradas.....	36
Tabla 4: Ubicación de la estación meteorológica.....	40
Tabla 5: Prueba de T de student para cada variable entre aulas.....	62
Tabla 6: Prueba de ANOVA para los tratamientos de cada variable del aula PI-203.....	63
Tabla 7: Correlación de Pearson entre las variables.....	64
Tabla 8: Resultados del muestreo de CO ₂ , PVM y ventilación de las dos aulas en el día 01 (05 feb de 2018)	109
Tabla 9: Resultados del muestreo de CO ₂ , PVM y ventilación de las dos aulas en el día 02 (06 feb de 2018).	110
Tabla 10: Resultados del muestreo de CO ₂ , PVM y ventilación de las dos aulas en el día 03 (07 feb de 2018).	112
Tabla 11: Resultados del muestreo de CO ₂ , PVM y ventilación de las dos aulas en el día 04 (08 feb de 2018).	113
Tabla 12: Resultados del muestreo de CO ₂ , PVM y ventilación de las dos aulas en el día 05 (09 feb de 2018).	115
Tabla 13: Resultados meteorológicos finales por día (entre las 11-14 hrs.).....	116
Tabla 14: Prueba T-student para comparación entre las aulas.....	120
Tabla 15: Prueba ANOVA para comparación de tratamientos del aula PI-203.....	121
Tabla 16: Prueba de Correlación de Pearson entre variables.....	122

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Equipos de muestreo.....	89
Anexo 2: Certificados de calibración de los equipos,	91
Anexo 3: Fichas de trabajo de campo.	99
Anexo 4: Registro fotográfico.....	102
Anexo 5: Detalle de resultados finales.	108
Anexo 6: Detalle de resultados estadísticos.....	119

RESUMEN

El extractor eólico es conocido como una alternativa tecnológica que favorece la ventilación obteniendo como consecuencia la mejora la Calidad Ambiental Interior (CAI) y, que, a su vez, permite un ahorro energético. En ese sentido, el presente estudio busca determinar cuál es el efecto de los extractores eólicos en la CAI del aula PI-203, mediante la evaluación del CO₂, la ventilación (caudal mínimo requerido y renovaciones de aire) y el confort térmico.

La metodología de esta investigación es aplicada, con enfoque cuantitativo y de diseño experimental. Las mediciones de los indicadores se realizaron de forma simultánea en ambas aulas PI-203 y PI-204, en el verano. Donde, la primera aula mencionada posee extractores eólicos y la segunda, no posee extractores eólicos; es importante mencionar que ambas aulas son similares en el diseño por dentro y por fuera. Asimismo, se aplicaron cinco sistemas de ventilación (tratamientos) de una hora de duración por cada uno, entre las 11 y 16 horas.

Como resultado, se observa que aula PI-203 tiene una mejor ventilación, menor concentración de CO₂ y la temperatura se mantiene en la zona de confort. A pesar de que, estadísticamente, en algunos indicadores no existen diferencias significativas entre las aulas, estas sí indican una diferencia importante que determina si se encuentran dentro de los límites recomendados por las normas referidas. Por consiguiente, se concluye que los extractores eólicos del aula PI-203 tienen un efecto positivo en los indicadores evaluados, de modo que se genera mayor bienestar en la CAI.

Palabras clave: extractores eólicos, calidad ambiental interior, sistemas de ventilación, confort térmico, dióxido de carbono.

ABSTRACT

The wind extractor is known as a technological alternative that favours ventilation, resulting in the improvement of Indoor Environmental Quality (IEQ) and, at the same time, it allows energy savings. In that sense, the present study seeks to determine the effect of wind extractors on IEQ of the PI-203 classroom, through evaluation of CO₂, ventilation (minimum required flow and air renewals) and thermal comfort.

The type of methodology of this study is applied research, quantitative approach and experimental design. Measurements of the indicators were made simultaneously in both classrooms PI-203 and PI-204, in summer. Where, the first referred classroom has wind extractors and the second does not have wind extractors. It is important to mention that both classrooms are similar in design inside and out. Likewise, five ventilation systems (treatments) of one hour duration were applied for each one, between 11 and 16 hours.

As a result, it is observed that classroom PI-203 has better ventilation, lower concentration of CO₂ and the temperature is maintained in the comfort zone. Although, statistically, in some indicators there are no significant differences between the classrooms, they do indicate an important difference that determines whether they are within the limits recommended by indicated standards. Therefore, it is concluded that wind extractors of the PI-203 classroom have positive effects on indicators evaluated, so that, greater well-being is generated on the IEQ.

Keywords: wind air extractors, indoor environmental quality, ventilation systems, thermal comfort, carbon dioxide.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La calidad ambiental interior (CAI) se define como el estado de la calidad del aire interior (ventilación y composición), la iluminación, las condiciones térmicas, sonoras y vibraciones dentro de un recinto no industrial (colegios, universidades, lugares de ocios, etc.) (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2004, p.1; Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía [OSMAN], 2010, p. 5; U.S. Green Building Council [USGBC], 2014, p.1). La definición de la CAI busca visibilizar la necesidad de enfocarse en aspectos relacionados al ambiente interior y no solo del exterior. Tiene como objetivo reconocer y manejar adecuadamente la CAI para que esta no represente ningún peligro a la salud humana y que, a su vez, resulte cómodo y agradable para sus ocupantes.

En las últimas dos décadas, la comunidad científica ha tomado interés en el estado de la CAI por los efectos adversos que un inadecuado manejo de sus parámetros podría causar en la salud y en la comodidad de los ocupantes. Esta especial relevancia puede verse relacionada al término “Síndrome de Edificio Enfermo (SEE)” que comprende un amplio rango de síntomas o enfermedades que las personas presentan y que son vinculadas a ambiente interior de un edificio (OSMAN, 2010, p.5). Adicionalmente, las edificaciones actuales tienden a acumular contaminantes en su interior debido a la naturaleza de las mismas. Un claro ejemplo de lo anteriormente mencionado, es la preferencia actual por diseños interiores que prioricen lo estético en vez de lo fundamental como una adecuada ventilación. Así como permitir un número de ocupantes mayor a lo permitido en espacios reducidos y/o emplear materiales sintéticos que emanen gases tóxicos (Contreras, 2010; Hess, 2005).

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) en su documento “Calidad del ambiente interior” menciona que el mayor número de quejas sobre el ambiente interior inadecuado están vinculadas a la ventilación y al confort térmico. El primero porque disminuye los niveles de oxígeno para los ocupantes, mientras que el segundo, produce una sensación térmica incómoda.

Las casas de estudio donde las personas asisten para educarse por muchos años (primaria, secundaria, instituto y/o universidad) son considerados los lugares más frecuentados a lo largo de la vida. Por lo que, Rajkumar, Amirtham y Horrison (2015) junto a Contreras (2010) cuestionan si los administradores de estos lugares alguna vez se habrán preguntado si sus ambientes interiores son realmente sanos y cómodos para los ocupantes. Ellos coinciden al afirmar que el confort térmico y calidad del aire interior son factores importantes por sus efectos vinculados al estudiante. Así, por ejemplo, la disminución del rendimiento en el aprendizaje, la incomodidad y síntomas nocivos por acumulación de contaminantes, como el CO₂.

Las emisiones de CO₂ en ambientes interiores se producen principalmente por la respiración humana y son consideradas como un contaminante cuando la concentración del gas es elevada a causa de la poca ventilación dentro de un recinto (INSHT, 2000, p.1). A razón de ellos se produce una alteración en la CAI por el CO₂, dando como consecuencia en los ocupantes diferentes tipos de cefalea, somnolencia, asfixia (>1000 ppm interior) y bajo rendimiento en las actividades en las personas (ASHRAE, 2013). Si bien es cierto, por sus características y niveles de concentración que puede alcanzar,

según el caso (> 1000 ppm), el CO₂ asociado a la CAI es considerado, por la bibliografía internacional, un contaminante (Crump, 2001; Flores, 2008; OSMAN, 2011, ; INSHT, 2015); en el caso de la calidad del aire exterior, por los niveles bajos a los que suele encontrarse (300 – 400 ppm), este es considerado por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (*IPCC*, en sus siglas en inglés) como un GEI (Gas de Efecto Invernadero) el cual, en esos cambios menores a 100 ppm en la tropósfera, es generador de efectos en el clima¹ más no en la calidad del aire.

Actualmente el Perú no cuenta con una norma vigente, ni una guía o manual de apoyo relacionado a la CAI de recintos no industriales. A pesar de que no exista una normativa como tal, el Reglamento Nacional de Edificaciones (Decreto Supremo N° 015-2004-VIVIENDA) regula la tasa de ventilación, el CO₂ y la temperatura dentro de las edificaciones. Sin embargo, esta norma es menos exigente que las normas internacionales actualizadas.

Históricamente en el 2014, se presentó al Congreso de la República la primera iniciativa para mejorar la CAI en el Perú. El grupo parlamentario “Nacionalista Gana Perú”

¹ Se define como la medición de la media y la variabilidad de cantidades relevantes de ciertas variables (como temperatura, precipitación o viento) durante un período de tiempo, que varía de meses a miles o millones de años. El período clásico es de 30 años, según lo definido por la Organización Meteorológica Mundial. El clima en un sentido más amplio es el estado, incluida una descripción estadística, del sistema climático.

presentó el Proyecto de Ley N° 3295/2013-CR, titulado “Ley que promueve la calidad del aire en los interiores de los locales de atención pública”. La propuesta legislativa se fundamentó en la creciente problemática nacional de enfermedades respiratorias, dolencias en las vías respiratorias y en otros órganos vinculadas a la inadecuada CAI en los locales públicos. El documento tiene como premisa al inciso 22 del artículo 2° de la Constitución Política del Estado, donde menciona que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para desarrollarse de forma integral con los demás derechos fundamentales. Al día de hoy (mayo del 2019), el estado del proyecto de ley se encuentra “en comisión”, es decir, que aún sigue en revisión (Congreso de la República, 2014).

En cambio, los países como Estados Unidos, España y otros de Europa están trabajando junto a las organizaciones públicas y privadas con el objetivo de desarrollar más instrumentos legales sobre la calidad ambiental interior en edificios públicos no industriales. Una de las iniciativas más importantes fue desarrollada por La Organización Mundial de la Salud en 1982 al definir el término de “Síndrome del Edificio Enfermo (SEE)” como una enfermedad que causa síntomas como: dolor de cabeza, fatiga, congestión nasal, tos, estornudos, irritación ocular, nasal y de garganta, mareos y náuseas a causa de la contaminación ambiental interior (OSMAN, 2010; Contreras, 2010).

Entonces, teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente y que además las personas ocupan aproximadamente el 90% de su tiempo en espacios cerrados (Del Campo y Mendívil, s.f.) esta problemática toma aún más importancia.

1. Justificación de la investigación

El Cambio Climático se define como el cambio de clima relacionado directa o indirectamente a la actividad humana, la cual altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2014). Esta es causada principalmente por el incremento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) tales como el CO₂ y el CH₄.

Acorde con el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI] (2017), el Perú por su ubicación geográfica es uno de los tres países más vulnerables frente al Cambio Climático, lo cual ha sido evidenciado mediante el incremento de temperatura ambiental registrada a través de los años. Las consecuencias vinculadas al aumento de temperatura pueden constituir uno de las principales causas y/o problemas para alcanzar el confort térmico en ambientes internos. Por lo que es necesario el desarrollo de investigaciones que identifiquen mecanismos y tecnologías más eficientes en control térmico en ambientes internos.

Por otro lado, los ciudadanos de hoy en día no están totalmente conscientes de lo que engloba la calidad ambiental interior, sin embargo, estos exigen espacios interiores cada vez más limpios, más confortables, más flexibles e incluso climatizados (Vargas y Gallego, 2005, p.244). Es así como nace, de forma empírica, la necesidad social de buscar bienestar y confort en los ambientes interiores. Por lo que, actualmente, se ha recurrido

a la tecnología para encontrarla, tales como: los extractores eólicos, aire acondicionado, extractores eléctricos, ventiladores, etc.

La presente investigación se enfocó en evaluar el efecto de los extractores eólicos en la CAI del aula PI-203 mediante el análisis de la ventilación, el dióxido de carbono y el confort térmico. En ese sentido, investigar sobre este tema permitió sistematizar una primera experiencia de investigación que integre el análisis de estos tres parámetros en un solo estudio, vinculados a la tecnología como herramienta de control. Así mismo, este estudio confirmó si los extractores eólicos favorecen a la ventilación y si se obtienen resultados de reducción de contaminación y un mejor nivel de confort térmico.

Ahondando en las propiedades particulares de los extractores eólicos, podemos resaltar el trabajo continuo, el bajo costo de mantenimiento y la eficiencia, por lo que sería una alternativa replicable en aquellas infraestructuras en las cuales se utilizan aire acondicionado, extractores eléctricos u otro aparato que tenga como objetivo reducir la temperatura del ambiente interior y/o mejorar la renovación del aire (Náder y Radar, 2013; Quelal, 2014). Así mismo, esta tecnología renovable posee un equilibrio entre las exigencias sociales, el consumo de energía y el bienestar personal sin degradar el ambiente gracias a su fuente de energía que proviene del viento, el cual representa un 0% de consumo de energía eléctrica traducida a cero emisiones de CO₂.

Este documento puede ser tomado como una referencia técnica para la formulación de guías que permitan ahondar en estudios sobre la calidad ambiental interior y/o

tecnologías para su control, con el objetivo de evitar que los edificios experimenten efectos nocivos sobre la salud de sus ocupantes, así como incomodidad térmica. Más aún, la investigación propuesta debe servir para llamar la atención de aquellas instituciones, comunidad científica, ministerios u organismos no-gubernamentales avocadas a buscar la mejoría de la calidad de vida de los ciudadanos, para una futura toma de acciones preventivas y legales frente a esta problemática poco tangible. De modo que, los esfuerzos se canalicen a fin de lograr una nueva normativa (o mejorar el proyecto de ley N° 3295/2013-CR) con el propósito de regular la calidad ambiental interior dentro de edificios no industriales.

La importancia de esta investigación radica, entonces, en el impacto social, ambiental y económico que tiene en la calidad de vida de las personas gracias a las conclusiones y recomendaciones obtenidas. Lo que demuestra que es posible usar opciones más eficientes a un menor costo con resultados óptimos.

II. MARCO TEÓRICO

1. Calidad ambiental Interior

La primera vez que se mencionó el término de Calidad Ambiental Interior (CAI) fue en 1986, durante una conferencia de la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Acondicionamiento de Aire (ASHRAE, por sus siglas en inglés). Esta reunión tuvo como objetivo revisar las últimas investigaciones sobre la contaminación del aire en interiores y proporcionar datos actuales que faltaban para la norma “Standard 62: Ventilación para una calidad de aire aceptable en edificios residenciales”

con el entendimiento de que el ambiente interior debería minimizar cualquier impacto en la salud y no debería tener ningún impacto en la comodidad y el control de esta debe minimizar el uso de energía (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers [ASHRAE], 2016)

Franchimon *et al.* (2009) y Alfano *et al.* (2010) (citado por Almeida, De Freitas y Delgado, 2015) coinciden al definir a la CAI como un tema muy amplio por su dependencia a diversas variables: la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del aire, el flujo de aire, la ocupación, la concentración de contaminantes, el ruido y la iluminación.

OSMAN (2010) menciona especificando que la calidad del aire interior se aplica a ambientes interiores no industriales: edificios de oficinas, edificios públicos (colegios, lugares de ocios, restaurantes, etc.) y viviendas particulares. Para complementar, Guasch (2001) comenta que, una de las funciones principales de un edificio donde se realizan actividades no industriales es proporcionar a los ocupantes un ambiente saludable y confortable para desarrollarse. La calidad de este ambiente depende en gran medida del correcto diseño, mantenimiento y funcionamiento de los sistemas de ventilación y climatización del edificio (p.14).

U.S. Green Building Council (USGBC, 2014) y Sustainable Facilities Tool (s.f.), conceptualizan a la CAI como las condiciones que se encuentran dentro del ambiente interno de un edificio. Incluye parámetros como: la calidad del aire interior (ventilación y composición), luz, condiciones térmicas, sonoras y ergonómicas.

La OMS (2014) por su parte también afirma que la CAI depende de contaminantes químicos, biológicos e inclusive de la percepción de los ocupantes acerca de estresores específicos como: la temperatura, la humedad, la luz artificial, el ruido y la vibración; estos son los que ocasionan efectos negativos en la salud y la comodidad. Algo semejante sucede con lo que el INSHT (citado por Centers for Disease Control and Prevention [CDCP], 2015) menciona sobre el vínculo que existe entre los parámetros de la CAI con la salud y el bienestar de los ocupantes en un determinado espacio cerrado.

Es importante señalar que los problemas en la calidad ambiental interior son más significativos en los edificios públicos que en las viviendas. Esto se debe a que en estos primeros la toma de decisiones está restringida sobre el control del ambiente interior, mientras que en los últimos existe autonomía sobre el manejo de los hogares.

Las estrategias dirigidas a la CAI incluyen proteger la salud humana, mejorar la calidad de vida de los ocupantes y reducir el estrés y los potenciales daños a la salud (USGBC, 2014). OSMAN (2010) menciona la existencia de estudios internos recientes que muestran que la mejora de la CAI incrementa la productividad en oficinas y el aprendizaje en colegios de forma significativa, mientras que disminuye el riesgo de síntomas alérgicos y asma en hogares.

En ese sentido, de acuerdo a las diferentes definiciones mostradas líneas arriba, debe comprenderse que el termino CAI, en resumen, hace referencia al estado de la calidad

del aire interior (ventilación y composición), iluminación, condiciones térmicas, sonoras y vibraciones, dentro de un recinto no industrial.

2. Indicadores

De acuerdo a la ASHRAE, los principales indicadores vinculados a la CAI:

2.1. *Ventilación*

Instituto Valenciano de Edificación (como se citó en Yarke, 2005) menciona que la ventilación natural a través de solo ventanas y puertas no es suficiente, por esta razón se requiere un sistema de ventilación híbrida (mecánica y natural) para gestionar el confort térmico en los edificios. Pues mediante la adecuada renovación de caudal del aire dentro del ambiente interior se logra disminuir la carga térmica y mantener el CO₂ dentro de sus estándares, obteniendo una apropiada calidad ambiental interior.

El proceso de ventilación o renovación se basa en suministrar suficiente aire limpio (aire exterior) y eliminar al aire viciado o cargado, mediante sistemas naturales y/o mecánicos. Tiene como finalidad proporcionar el oxígeno necesario para la respiración, diluir el CO₂ y controlar la temperatura y humedad del interior del edificio. La ventilación se considera uno de los más importantes factores para determinar la CAI (INSHT, s.f.).

El Comité Científico de los Riesgos Sanitarios y Ambientales (SCHER, por sus siglas en inglés, 2007) junto a la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. EPA, s.f.) afirman que, la ventilación deficiente trae consigo diversos problemas en el ambiente interior. La principal consecuencia es el aumento de los niveles de

contaminación lo que conlleva indirectamente a aumentar los niveles de temperatura y humedad, comprometiendo la salud y el desempeño laboral o académico de los ocupantes (Vaquero, 2011).

Es por ello que la ventilación cruzada natural (Figura 1) es una de las opciones más adecuadas para proporcionar caudales de aire. Se caracteriza por poseer aberturas en paredes opuestas o adyacentes, lo que permite la entrada y salida de aire. Indicada para edificios en zonas climáticas con temperaturas más altas, el sistema permite cambios constantes de aire dentro del edificio, renovándolo y, aun así, reduciendo considerablemente la temperatura interna (Romero, 2000).

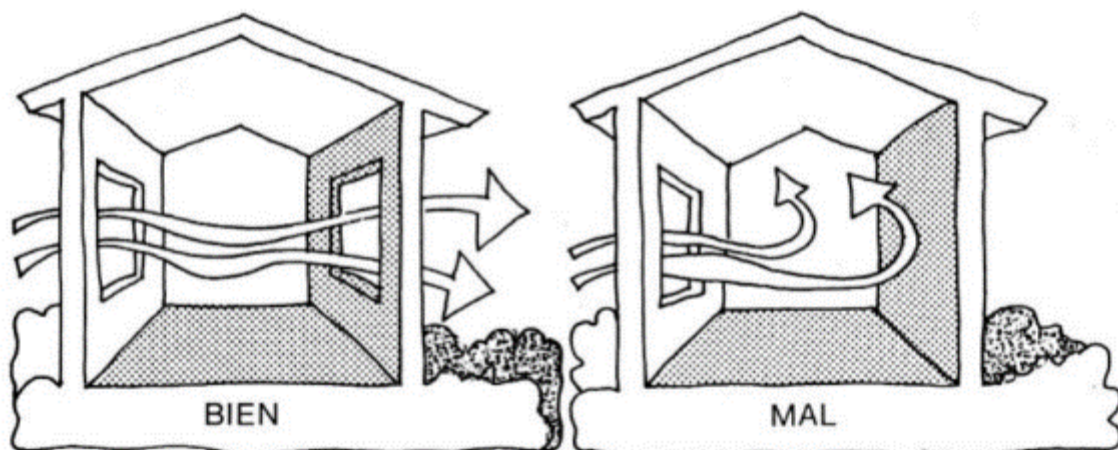


Figura 1: Sistema de ventilación natural cruzada adecuada (izquierda) e inadecuada (derecha). En el primer caso cumple con el proceso de ventilación, para ser específicos con una ventilación cruzada.

FUENTE: Pezo (2015).

Según la norma ISO 13779:2007, existen tipos de Calidad del Aire Interior llamadas IDA (Indoor Air), mostrados en la Tabla 1, donde el área de estudio para esta investigación se encuentra dentro de la categoría IDA 2 (aire de buena calidad): oficinas, residencias

(locales comunes de hoteles y similares, residencias de ancianos y de estudiantes), salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y asimilables y piscinas (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España, 2007).

Tabla 1: *Caudales mínimos del aire exterior por persona según la ISO 13779:2007.*

CATEGORÍA	INTERVALO TÍPICO (m³/h.persona)	VALOR POR DEFECTO (m³/h.persona)
IDA 1	> 54	72
IDA 2	36 – 54	45
IDA 3	22 – 36	29
IDA 4	< 22	18

FUENTE: Reglamento de las Instalaciones Térmicas en los Edificios de España (RITE), 2007.

Se debe tener en cuenta los requisitos de aplicabilidad que la norma exige: los ambientes cerrados deben tener actividad metabólica sedentaria, existencia de una producción baja de contaminantes químicos por fuentes diferentes del ser humano y se encuentre prohibido fumar (RITE, 2007).

Por otro lado, es muy conveniente tomar en cuenta el número de renovaciones por hora que el “Reglamento Nacional de Edificaciones” solicita a las aulas: 6- 8 renovaciones de aire por hora (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2006).

2.2. Dióxido de carbono

En el ambiente interior se encuentran diferentes tipos de contaminantes provenientes tanto del exterior como del interior, tales como: el monóxido y dióxido de carbono (CO₂). Producido por la combustión de autos y la respiración humana, el material particulado

debido al polvo, los compuestos orgánicos volátiles (COV) por los materiales de construcción, de limpieza y muebles, emisiones biogénicas, entre otros. Sin embargo, es la concentración de CO₂ en un ambiente interior el que puede aportar información sobre la calidad ambiental del edificio, los efectos sobre la salud de sus ocupantes y la correlación con los problemas de ventilación de un local. Generalmente, el aire exterior se encuentra entre 300 y 400 ppm (partes por millón) e inclusive en zonas urbanas los valores alcanzan hasta 550 ppm (INSHT, 2013; INSHT, 2000).

Una elevada concentración de CO₂ en el ambiente interior está directamente relacionada al número de ocupantes, la tasa de ventilación y emisiones próximas de CO₂ en el aire exterior (Vaquero, 2011). En ese sentido, se puede afirmar que el CO₂ en ambientes interiores tiende a acumularse cuando existe una inadecuada ventilación, pues no diluye ni remueve el contaminante que es constantemente generado por los ocupantes. Washington State University (WSU, 2013) asegura que la concentración CO₂ dentro de un ambiente interior ocupado indica si el balance del aire intercambiado dentro de un edificio es apropiado, lo cual ocurre cuando hay una cantidad óptima de aire exterior circulando (ingresando y saliendo) en el recinto.

Según la ISO 171330-2:2009, la concentración adecuada de CO₂ es menor a 600 ppm, es decir, el resultado de la diferencia entre las concentraciones del gas del aire interior y el aire exterior. A su vez esta norma propone a 2500 ppm como Valor Límite Máximo de cantidad de CO₂ en ambiente interior, pues considera que al mantenerse expuesto por un tiempo prolongado este trae consecuencias severas en la salud humana (Comunidad

de Madrid, 2018). En la Figura 2 se puede observar la relación entre la cantidad del gas en un ambiente interior y la percepción del ser humano.

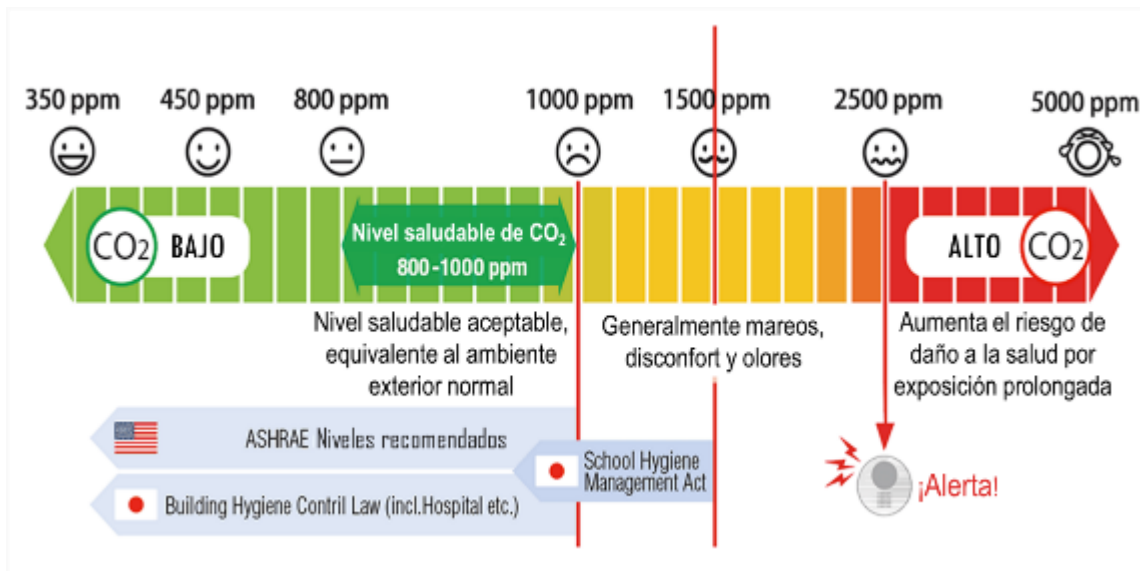


Figura 2: Infografía sobre el efecto del CO₂ en la percepción del ser humano.
FUENTE: Modificación de CHC Group (s.f).

2.3. Confort térmico

El confort térmico es definido por la ASHRAE 55 y la ISO 7730:2006 como el "estado de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico". Se señala que este es alcanzado cuando el cuerpo está en balance térmico, es decir que al realizar alguna actividad física y/o mental no se experimente un estrés térmico para corregir la energía que produce el cuerpo internamente, manifestado a través de la transpiración excesiva o escalofríos (Molina y Veas, 2012).

En el método de Fanger para hallar el bienestar térmico se toma la valoración final de dos índices: el "Predicted Mean Vote" (PMV) y el "Predicted Percentage of Dissatisfied" (PPD). El primero indica la sensación térmica global del ambiente interior a evaluar (Tabla 2). Esta cuenta con una escala de 7 niveles que dependen de los parámetros del

equilibrio térmico (actividad física y vestimenta) y parámetros ambientales (temperatura del aire, la temperatura radiante media, la velocidad y humedad del aire). Mientras que el segundo indica el porcentaje de personas insatisfechas con el ambiente térmico (Universidad Politécnica de Valencia de España [UPV], 2015).

Acorde con ISO 7730:2006, existen determinadas variables que permiten calcular el nivel de confort térmico en un ambiente interno. Estas variables se definen a continuación:

- a. *Vestimenta (clo.)*: Unidad que sirve para valorar el aislamiento térmico de la ropa.
- b. *Tasa metabólica (met.)*: Unidad de medida de gasto energético muscular que experimenta una persona cuando desarrolla una tarea.
- c. *Temperatura seca del aire (°C)*: Es la temperatura del aire medida con un termómetro convencional de mercurio u otro método adecuado y fiable. Se mide en grados Celsius.
- d. *Temperatura de globo (°C)*: Es la temperatura indicada por un sensor colocado en el centro de una esfera de color negro. Se mide en grados Celsius.

- e. *Temperatura radiante media (°C)*: Es la temperatura del intercambio de calor por radiación² entre el cuerpo y las superficies que lo rodean. Se mide en grados Celsius.
- f. *Velocidad de aire (m/s)*: Afecta de manera considerable la sensación de frío, debido a que aumenta las pérdidas de calor en nuestro organismo. Se mide en metros por segundo (m/s).
- g. *Humedad relativa (%)*: Es la relación entre cantidad de vapor de agua contenida en el aire y la máxima cantidad que el aire sería capaz de contener a esa temperatura. Es un factor determinante en lo que se refiere al ritmo por el cual nuestro organismo elimina el calor, por lo que, a mayor humedad del aire, menor es la capacidad de transpiración del cuerpo.

Tabla 2: *Escala de sensación térmica en función del valor del Voto medio estimado (PMV) según ISO 7730:2006.*

RANGO DE VALORES	SENSACIÓN TÉRMICA
3	Muy caluroso
2	Caluroso
1	Ligeramente caluroso
0	Neutro
-1	Ligeramente fresco
-2	Fresco
-3	Frío

FUENTE: UPV, 2015.

² Los cuerpos emiten radiación electromagnética, en función de su temperatura y de la longitud de onda considerada.

El ambiente térmico se considera satisfactorio y confortable para los ocupantes cuando el valor del PMV pertenece al rango entre -0,5 y 0,5; pues se obtendría sólo un 10% de ocupantes insatisfechos en el índice del PPD (Figura 3). Cuando el valor del PMV esté más cerca al cero la sensación térmica será más confortable, pues el porcentaje de personas no satisfechas (PPD) será menor.

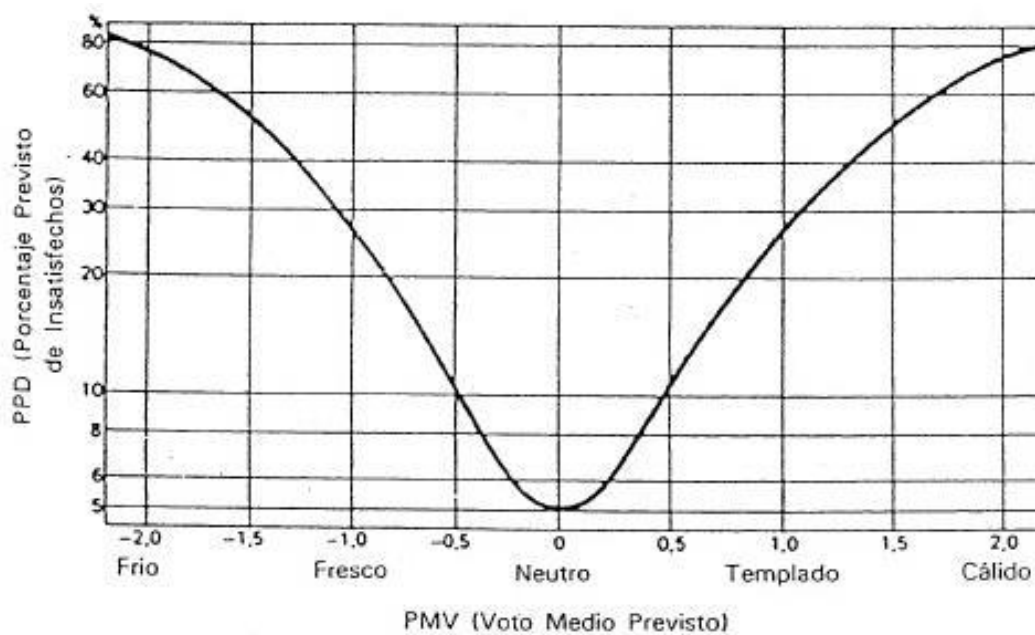


Figura 3: Curva de Fanger. PPD vs. PMV.

FUENTE: Santos (2015).

2.4. Iluminación

El confort visual es un estado generado por la armonía o equilibrio de diferentes variables. De entre las principales son la estabilidad y la iluminación. Esta última aunque aparente ser un factor fácil de identificar y gestionar, tiene una gran complejidad detrás, especialmente cuando se desea alcanzar una adecuada iluminación en aquellos recintos donde no se haya contemplado correctamente el diseño integrado de la misma (INSHT, 2015).

De acuerdo al estudio “Calidad de ambiente interior en oficinas; identificación, análisis y priorización de actuación frente al riesgo” (2015), la luz natural es la que mejor se adapta al ojo del ser humano, por lo que incluir ventanas ayuda a proporcionarla sin dificultades y, a su vez, representa una opción rentable energéticamente. A razón de ello, es importante tener en cuenta los siguientes criterios para una adecuada iluminación natural:

- a. *La superficie acristalada:* A mayor superficie acristalada, habrá mayor nivel de iluminación en el interior, pero también aumentan los posibles problemas de reflejos y deslumbramientos. Por lo que se recomienda conocer si las ventanas disponen de algún tratamiento antirreflejos, si están tintadas, etc.
- b. *La orientación de las ventanas:* En función de su orientación y de la hora del día, los rayos de sol incidirán de forma más o menos directa. Si se conocen los momentos en los que la luz entra de forma directa, se sabrá cuándo pueden existir problemas por reflejos y deslumbramientos, tanto directos como indirectos.
- c. *La época del año y climatología:* En función de la época del año y de la climatología, si llueve o está nublado, por ejemplo, el nivel de iluminación en el interior puede verse alterado.
- d. *Los edificios u objetos en frente:* edificaciones o vegetación próximas a las ventanas (árboles de gran tamaño) pueden producir una disminución de la luz natural o causar deslumbramientos por relejo de luz en los ocupantes.

En el caso de aquellos edificios que no cuentan con suficiente luz natural, es importante complementarla con luz artificial localizada en zonas específicas que requieran niveles mayores de iluminación acorde a las actividades que se realicen. Una inadecuada iluminación puede significar algunas molestias para el ocupante durante el desarrollo de tareas, tales como la fatiga visual, fatiga del sistema nervioso central e, incluso, muscular por mantener una postura incómoda. Asimismo, el sobre esfuerzo requerido para visualizar los objetos en algún recinto de luz insuficiente puede causar accidentes (INSHT

2.5. **Ruido**

La OMS, citada por la Comunidad de Madrid (2018), define el ruido como sonido no deseado cuyas consecuencias son molestas para la población, con riesgo para su salud física y mental, por tanto se considera como un sonido molesto, desagradable y perturbador, definiéndolo además como un tema de Salud Pública. Además, la organización afirma que el ruido es la segunda causa de morbilidad, después de la contaminación atmosférica, entre los riesgos ambientales en Europa.

Acorde con Sulaiman *et al.* (2013) el confort vinculado al ruido está relacionado con la capacidad de los edificios y/o recintos por reducir e, incluso, eliminar el ruido excesivo que ingreso o se encuentra dentro del ambiente interior. De entre las fuentes de ruido más comunes están aquellas generadas por:

- El ruido exterior como consecuencia del tráfico, los cláxones, sirenas, recojo de basura y obras de construcción que se ejecutan en los alrededores.

- Conversaciones de personas alrededor; es importante tener en cuenta el ruido generado en el propio lugar de desarrollo de actividades como el trabajo o la escuela.
- Equipos cercanos, como fotocopiadoras, computadoras, impresoras, teléfonos y otros dispositivos electrónicos y/o eléctricos.
- Sistema de ventilación/climatización generan, en algunos casos, ruido molesto, propio de su funcionamiento o debido al mantenimiento inadecuado de la instalación.

La planificación del diseño interior y la adecuada ubicación de estos equipos necesarios, pero emisores de ruido, son fundamentales para garantizar el bienestar de los ocupantes.

Acorde con la “Guías para el ruido urbano” de la OMS (1999) se establecen límites máximos permisibles a fin de prevenir las consecuencias del ruido urbano en la salud y orientar a las autoridades y profesionales de salud ambiental que tratan de proteger a la población de los efectos del ruido en ambientes no industriales. Donde, se establece el límite máximo de ruido 35 dB(A) durante las clases en las salas de clase/aulas.

En ese sentido, los niveles de ruido que sobrepasen este límite podrían generar molestias, ansiedad, humor irritable, además de afectar su rendimiento de su actividad, disminuir la concentración e, incluso, originar problemas de salud, por ejemplo, la alteración de los ritmos respiratoria y cardiaca, alteraciones hormonales (INSHT, 2015).

3. Tecnologías para mejorar la ventilación

Según lo que menciona la empresa de soluciones integrales de ventilación Ventven S.A. (2017) existen diversas alternativas como: los extractores eólicos, axiales, aire acondicionado, cortinas de aire, ventiladores tubulares, centrífugos, etc. Sin embargo, la única alternativa que ayuda a eliminar la carga térmica, mejorar la renovación del aire y, a su vez usa energía eólica es la de los extractores eólicos; es una solución viable ambiental y económicamente.

Náder y Radar (2013) confirman las ventajas de los extractores eólicos al afirmar que son considerados una buena opción por la reducción de calor, temperatura y humedad relativa, además, refuerzan la extracción del material particulado y los bioaerosoles. Este sistema ayuda a purificar el aire y a mejorar el confort mediante la ventilación adecuada. Cabe resaltar que, según OSMAN (2010), si se mejora la calidad ambiental interior, la productividad y el aprendizaje se incrementa significativamente pues sus ocupantes se desarrollarían mejor en un ambiente interior.

Silva (2013) refuerza la idea del funcionamiento de los extractores eólicos al explicar que el movimiento de las aspas del extractor, las cuales, por su diseño aerodinámico, generan una fuerza de succión en el interior del aparato, permiten la extracción del aire caliente acumulado bajo la cubierta del inmueble. El aire frío de los estratos más bajos del interior del inmueble, empuja el aire caliente interior hacia arriba, contra la cubierta, encontrando como vía de escape el extractor. Quelal (2014) en sus tesis afirma que, en casos de presencia de viento débil o no existente, el aire más frío que se encuentra en

la parte inferior del local empuja al aire viciado, el cual posee una temperatura más elevada, hacia la parte superior para que salga por los extractores eólicos. El funcionamiento es permanente, independientemente de cuáles sean las condiciones del viento exterior, pero a mayor velocidad de viento, mayor será la capacidad de extracción (Figura 4).



Figura 4: Extractores eólicos y su función principal.

FUENTE: Náder y Radar (2013).

Algunas de las ventajas brindadas por esta tecnología limpia son:

- Es aplicable a hogares, aulas, espacios industriales o depósitos.
- Es implementable en cualquier superficie del techo.
- No produce ruido.
- Eleva los índices de control térmico: equilibra las temperaturas: interna/externa (a la sombra).
- Mejora la ventilación por su efecto chimenea.
- Son de bajo costo de mantenimiento y operación.
- Elimina el calor, la humedad, vapores, polución y olores acumulados en el interior del local o nave, gracias a su elevada capacidad de extracción.

- No consume energía eléctrica.
- Trabaja 24 horas al día.

4. Antecedentes

Del Campo y Mendivil (s.f.) en su estudio en España llamado “Calidad del aire interior en los centros de educación infantil del País Vasco” determinó la CAI en las escuelas de esta comunidad española bajo la norma ISO 13779:2003 y la norma ISO 7730:2006. Se realizaron mediciones de diferentes parámetros como la ventilación (método de análisis del CO₂) y el confort térmico, se midieron por un periodo de 3 meses y 1 día completo (jornada escolar), respectivamente. Se obtuvo como resultados concentraciones elevadas de CO₂ (superiores a 1000 ppm en la media diaria) y con un Porcentaje de Estimado de Insatisfechos (PPD) mayor a lo permitido, clasificándola como una calidad del aire interior de “baja calidad”. Se concluyó que las principales razones de la baja calidad del aire interior y de confort fueron la inadecuada ventilación y el mantenimiento de las aulas, que además pueden significar un menor rendimiento escolar en los alumnos.

En el mismo campo, se realizó un estudio en México denominado “Determinación experimental de las condiciones de confort térmico en edificaciones” por Ambriz, García y Paredes (s.f.) donde discute la importancia del confort térmico en la calidad de vida y eficiencia en las actividades de las personas que ocupan una edificación. Realizaron encuestas a los ocupantes y acondicionaron un laboratorio para obtener un ambiente controlado. Durante 60 min se realizaron las mediciones con aumento de temperatura

(tratamientos) a los 15, 16, 30 y 60 min, siendo el minuto 45 cuando se encendieron los ventiladores. En la medición de confort térmico, mediante el método de Fanger, predominó el resultado de +1 en el Voto Medio Estimado (PMV) a partir del minuto 30 con 31°C, clasificándose como “confortablemente caluroso”, sin embargo, las encuestas relevaron que los ocupantes se sentían cómodos a pesar de que este resultado se encontraba por encima de la zona de confort aceptada. Es por ello que en el estudio se concluye que el confort puede lograrse a mayores temperaturas, lo que implica potencialmente un menor consumo de energía en sistemas de aire acondicionado y menor impacto ambiental.

Solis (1994), en su investigación “Diseño de un ventilador eólico” realizado en Ecuador, desarrollo un estudio sobre la energía eólica aplicada en el diseño de extractores eólicos (sin motor). En el referido estudio describe y constata los beneficios que engloba esta tecnología en comparación con el extractor convencional con motor eléctrico. Por ejemplo, hace referencia a la ventaja económica por el ahorro de electricidad, sonido imperceptible de funcionamiento, liviandad, remoción de calor producido en el interior, entre otros aspectos. Asimismo, enfatiza tener en cuenta a la diferencia de densidades, altura de chimenea y viento exterior del lugar en donde se instalarán los extractores eólicos para un normal funcionamiento de los mismos. Recomienda la instalación de esta tecnología en bodegas de techo alto, en espacios confinados y en residencias, restaurantes y laboratorios donde el ruido debe ser restringido a fin de evitar molestias.

Flores (2008) en su estudio en Puerto Rico llamado “Determinación de las concentraciones de dióxido de carbono en salones de escuelas elementales del distrito escolar de Caguas II” realiza una comparación de las concentraciones de CO₂ y tasa de ventilación en salones de primer grado de diferentes escuelas. Se concluyó que, el 75% de los salones estaban dentro de los niveles recomendados por ASHRAE (1000 ppm), afirmando una relación inversamente proporcional entre la concentración de CO₂ y la tasa de ventilación por persona en el salón.

En la investigación “Calidad del aire interior en las edificaciones hospitalarias” en España de Vaquero (2011) se abordó la calidad del aire interior (IAQ: indoor air quality) en los quirófanos y habitaciones de trasplantados de dos hospitales -uno antiguo y otro nuevo. Se midieron simultáneamente parámetros de temperatura, humedad relativa, ventilación, óxidos de carbono, compuestos orgánicos volátiles (COV), partículas y hongos (*Aspergillus*), en similar funcionamiento en ambos hospitales. La nueva construcción presentó una mejor eficacia en la ventilación, ausencia de contaminación biológica, pero presencia de COV. Se concluyó que la presencia y multiplicación de agentes patógenos en el ambiente son atribuibles en la mayoría de los casos al exceso de humedad y a la falta de ventilación.

En Colombia, el proyecto de grado llamado “Instalación de extractores eólicos en viviendas residenciales de distintos estratos sociales para disminución de carga térmica” de Náder y Radar (2013), se realizaron mediciones de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento antes y después de la instalación de los extractores en dos viviendas

de estrato alto y bajo. Se concluyó que el uso de estos equipos es una muy buena opción para cualquier casa, debido a que redujo la temperatura y la humedad del recinto, además de ayudar a extraer la polución producida por la cocina y los virus que se posiblemente se encontraban dentro del mismo, en otras palabras, está constantemente purificando el aire que se encuentra en el hogar logrando mejorar las condiciones de confort reduciendo un 19,11% y 47,79% de calor en la vivienda de estrato alto y bajo, respectivamente.

Náder y Radar (2013) menciona que la empresa Texsoled S.A. en sus pruebas y seguimientos internos realizados a sus extractores eólicos pudieron comprobar que estos contribuyen en la disminución de la temperatura dentro de las viviendas residenciales a través de la termografía (técnica para producir imágenes denominadas termogramas, a partir de la radiación térmica invisible que emiten los objetos). Para lo cual sus objetos de estudio fueron dos viviendas pertenecientes al municipio de Santo Tomás - Atlántico; en donde una poseía extractores y la otra, no. Esta investigación concluyó que hay una reducción de temperatura en el primer tratamiento (con extractores). Sin embargo, se vio necesario recomendar la apertura de la ventana inferior de las puertas a fin de que fluya más aire fresco, lo cual elevaría el aire caliente interior para finalmente ser expulsado por acción de los extractores eólicos.

Rajkumar et al. (2015) en su investigación en la India llamado "Evaluación del confort térmico de las aulas en calurosas y húmedas condiciones climáticas" analizó al confort térmico mediante encuestas y el Método de Fanger dentro de 6 aulas de clase. Se analizó

por 5 días laborales consecutivos en una semana calurosa típica entre las 08 h y 16 h, durante el horario de clases, en la Universidad de Sathyabama. Las mediciones fueron tomadas usando “HOBO dataloggers” cada 30 min, instalado a 1,5 m de altura del suelo. El resultado fue que tanto en las encuestas como en las mediciones físicas la temperatura del aula percibida como analizada no era satisfactoria para los ocupantes, principalmente en las mañanas donde la radiación solar era mayor. Sus recomendaciones fueron aumentar la ventilación mecánica y/o natural y proteger las aulas con vegetación para producir sombra.

Quelal (2014) en su tesis de pregrado titulado “Diseño e implementación de un sistema de ventilación forzada en el techo del taller de la carrera de ingeniería en mantenimiento automotriz de la universidad técnica del norte - sector El Olivo” se realizaron mediciones antes y después de la instalación de los extractores eólicos. La velocidad de aire y temperatura fueron los indicadores que el autor usó para conocer el efecto de los mismos. Como resultado se obtuvo que existió una reducción de 10,65°C en la temperatura interna con viento en condiciones normales. El autor concluyó que los extractores tenían efectos positivos en la reducción de temperatura interna de la parte baja y parte alta del taller, pues refiere ese resultado al equipo que mejora la ventilación, además de que hay una relación inversamente proporcional entre el viento y la temperatura interna.

III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

1. Hipótesis

La hipótesis principal de la tesis propone que los extractores eólicos tienen efectos positivos en la calidad ambiental interior del aula PI-203 en la Universidad Científica del Sur. A partir de este se desprenden las siguientes hipótesis específicas:

- Los extractores eólicos tienen efectos positivos en la ventilación del aula PI-203 en la Universidad Científica del Sur.
- Los extractores eólicos tienen efectos positivos en el confort térmico del aula PI-203 en la Universidad Científica del Sur.
- Los extractores eólicos tienen un efecto positivo en la reducción de concentración del dióxido de carbono en el aula PI-203 en la Universidad Científica del Sur.
- El sistema de ventilación o tratamiento “puerta y ventanas abiertas más los ventiladores operativos” es el que proporciona una mejor calidad ambiental interior vinculada a los extractores eólicos del aula PI-203 en la Universidad Científica del Sur.

2. Objetivos

El objetivo principal de la tesis es evaluar el efecto de los extractores eólicos en la calidad ambiental interior del aula PI-203 en la Universidad Científica del Sur. A partir de este se desprenden los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar el efecto de los extractores eólicos en la ventilación del aula PI-203 en la Universidad Científica del Sur.

- Evaluar el efecto de los extractores eólicos en el confort térmico del aula PI-203 en la Universidad Científica del Sur.
- Evaluar el efecto de los extractores eólicos en la concentración del dióxido de carbono en el aula PI-203 en la Universidad Científica del Sur.
- Evaluar el efecto de cinco sistemas diferentes de ventilación (tratamientos) en la calidad ambiental interior del aula PI-203 en la Universidad Científica del Sur.

IV. METODOLOGÍA

Se sabe por definición que la CAI depende de diversos factores, sin embargo, se prescindirá de algunos de ellos puesto que esta investigación está enfocada en conocer cómo los extractores eólicos influyen en el ambiente interior del aula. Por lo que los factores que no se encuentran relacionados directamente a esta tecnología no se abordarán, por ejemplo, la iluminación, el ruido y la vibración (Quelal, 2014).

La ventilación y el confort térmico son foco de quejas relacionadas con la calidad ambiental interior (INSHT, 1989) es por ello que se les ha considerado como prioridad; en el caso del dióxido de carbono, este será analizado porque se quiere comprobar que, al mejorar la ventilación dentro de un área, la concentración del contaminante disminuye.

1. Descripción del área de estudio

El clima del área se caracteriza por su nubosidad y escasas precipitaciones debido al anticiclón del Pacífico Sur. La velocidad del viento puede alcanzar hasta 3 m/s y la dirección predominante es entre el sur y el sureste. En el verano y primavera, el cielo se

encuentra despejado con una intensa radiación solar y temperaturas que oscilan entre los 15 y 26 °C, mientras que, en el otoño e invierno, existe radiación solar difusa e indirecta con temperaturas bajas, entre 14 y 19 °C (Guillén, 2002).

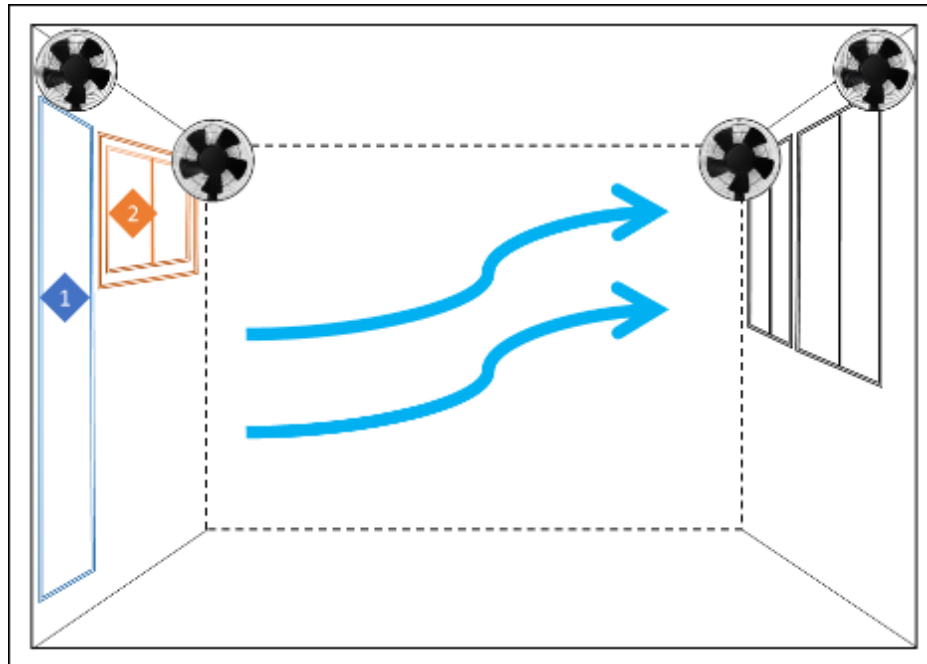
El campus Villa de 100 000 m² de la Universidad Científica del Sur se encuentra en el Km. 18,5 de la Panamericana Sur, ubicado en el distrito de Villa El Salvador. Las instalaciones colindan en el norte con la carretera Panamericana Sur, en el este con El Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa, en el oeste con instalaciones de fin recreativo y en el sur, con el Océano Pacífico.

El Campus se divide en sub villas y es en la sub-villa 2 (figura 5) donde los extractores eólicos se encuentran implementados en el aula PI-203 (figura 6) y donde se encuentra también nuestro blanco o aula de comparación, el aula PI-204 (figura 7).



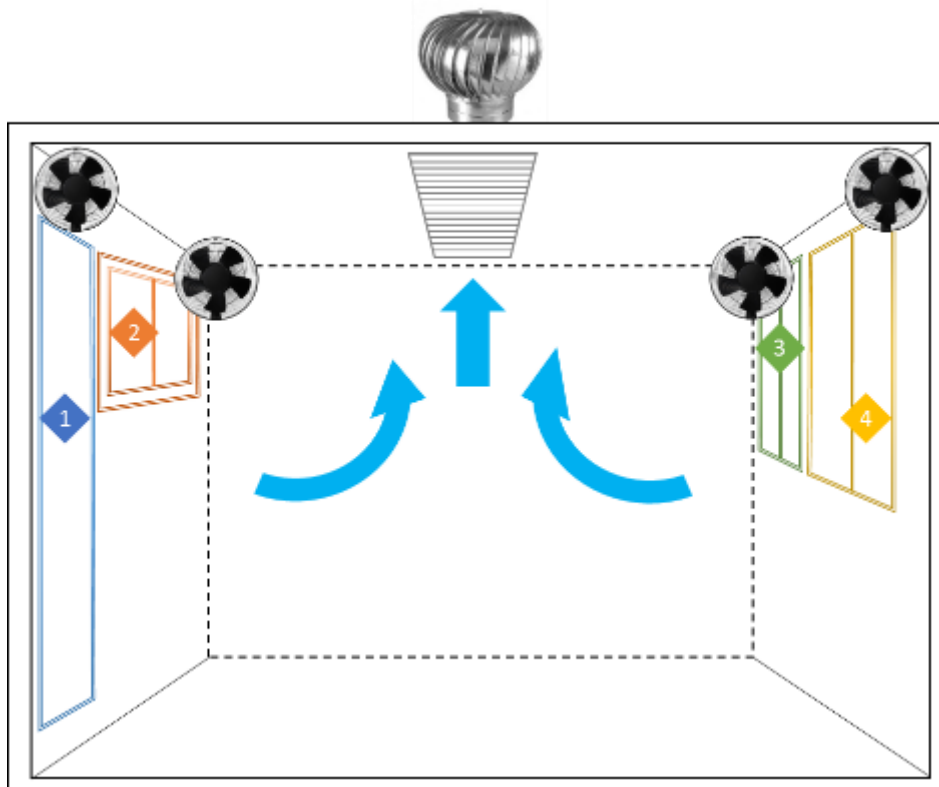
Figura 5: Ubicación de las aulas PI-203 y PI-204 de la Universidad Científica del Sur en la imagen satelital de Google Earth.

FUENTE: Google Earth (2018).



Nota: Esta aula cuenta con dos entradas de aire, señaladas con números, debido a la ventilación cruzada propia del aula y cuenta con 4 ventiladores en cada esquina.

Figura 6: Vista interior del aula PI-204



Nota: Esta aula cuenta con cuatro entradas de aire, señaladas con números, debido al efecto chimenea de los 3 extractores eólicos. También, cuenta con 4 ventiladores en cada esquina.

Figura 7: Vista interior del aula PI-203

2. Materiales

Para el desarrollo de esta investigación se requirió de lo siguiente:

- Anemómetro
- Medidor de estrés térmico
- Trípode estándar
- Medidor de gases CO₂
- Cinta métrica de 50 m y 5 m.
- Cámara fotográfica
- Laptop
- Software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences)
- Block de notas
- Fichas de registro de resultados
- Lápices

Ver Anexo 1 y 2 para más información de los equipos de medición y sus certificaciones de calibración.

Asimismo, para realizar el monitoreo se requirió de una persona como personal de apoyo para la toma de muestras de los parámetros señalados, además de encargarse de la supervisión de los equipos, el registro de los resultados en las fichas y otras actividades que se soliciten durante el mismo.

3. Método

Con la finalidad de fortalecer y validar el método utilizado en la tesis se consideraron los siguientes estudios como los más relevantes:

- El estudio de Rajkumar *et al.* (2015), realizado en la India, es considerado como una investigación aplicada y con enfoque mixto, con un tipo de diseño experimental debido a que se realizaron mediciones de campo para conocer el efecto –positivo o negativo- de la ventilación en el confort térmico de las aulas de la universidad objeto.
- El estudio de Flores (2008), en Puerto Rico, es considerado como una investigación aplicada y cuantitativa, con un tipo de diseño experimental, a razón de que se realizaron mediciones de las concentraciones de dióxido de carbono en salones de escuelas elementales con el objetivo de conocer si estas se encontraban por debajo del límite de exposición de CO₂.

En ese sentido, es necesario indicar que la metodología recogida por esta investigación es aplicada porque abarca un proceso investigativo científico con la finalidad de conocer una realidad desde la evidencia misma (Vargas, 2009). Posee un enfoque cuantitativo, ya que utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías (Hernández *et. al*, 2014). El tipo de diseño es experimental porque el estudio fue una situación “realista” en la que las variables independientes fueron manipuladas en condiciones controladas tanto como lo permitió la situación (Kerlinger y Lee, 2002). La población evaluada fueron las aulas PI-203 y PI-204, las cuales contaron

con un total seis personas dentro de cada aula, procurando crear condiciones similares, y posteriormente se procedió a realizar el muestreo de cada indicador. Cabe resaltar que las personas fueron rotando a lo largo del día, pero se mantuvo el mismo número de personas en los dos ambientes. Es importante mencionar que no se tomó un mayor número de población debido a que, para esta investigación, no se contaban con otras aulas con las mismas condiciones, tales como extractores eólicos y/o infraestructura.

El tratamiento de la información se realizó mediante la técnica del fichaje y el instrumento de medición fueron las fichas (Hernández, 2014). Finalmente, el procesamiento de los resultados de las mediciones de los indicadores fue mediante la comparación de estos con los valores establecidos por normas nacionales e internacionales vinculadas a la calidad ambiental interior, así también se aplicaron pruebas estadísticas con la finalidad de conocer si la hipótesis planteada se rechaza o no se rechaza.

3.1. Medición de Indicadores

De acuerdo con Chávez F. (2002), los ambientes con temperatura alta son más peligrosos que los de temperatura baja para las personas, esto se debe a que el cuerpo se encuentra preparado para soportar las condiciones de frío, pues produce calor, inherentemente, para mantener la temperatura interna. Basándose en dicha premisa, se decidió priorizar la medición para la estación de verano por sus altas temperaturas, pues, representa las condiciones más desfavorables para las personas.

En ese sentido, se tomaron las mediciones por cinco días consecutivos (lunes a viernes) en el horario de las 11 horas hasta las 16 horas aproximadamente, debido a que éstas son las horas con mayor radiación. Pues, según la disposición de la Ley 30102, en el artículo 2, menciona que se preferiblemente se realicen actividades de cualquier índole entre las 8:00 y las 10:00 horas o a partir de las 16:00 horas a fin de evitar la exposición a la radiación solar en ambientes no protegidos.

Para fines de esta tesis, se evaluaron los parámetros de CO₂, confort térmico y ventilación cada hora en ambas aulas, siguiendo el orden de los tratamientos señalados:

- T1: Puerta cerrada + Ventanas cerradas
- T2: Puerta abierta + Ventanas cerrada
- T3: Puerta cerrada + Ventanas abiertas
- T4: Puerta abierta + Ventanas abiertas
- T5: Puerta abierta + Ventanas abiertas + Ventiladores encendidos

a. Ventilación

Se midió la velocidad del aire (m/s), con un Termo-higro-anemómetro de marca Extech de serie 45160, a cada una de las entradas de las ambas aulas respetando el orden de los tratamientos. Al finalizar del día se realizaron las medidas del aula, la puerta y las ventanas, las cuales se muestran en la Tabla 3:

Tabla 3: *Medidas del aula y sus entradas.*

COMPONENTE	UNIDAD	VALOR
<i>Volumen</i>		
Aula**	m ³	163,2
<i>Áreas</i>		
Puerta*	m ²	2,2
Ventana 1 (izquierda)*	m ²	1,1
Ventana 2 (derecha)*	m ²	1,6
Ventana 3 (derecha)*	m ²	1,6

(*) Datos de área para el Caudal mínimo exterior.

(**) Dato de volumen usado para Renovación de aire

Para obtener el caudal mínimo exterior real, se usaron los datos recopilados de velocidad del aire multiplicado por el área de las entradas (ver tabla 3), como se muestra en la ecuación 1. Es importante mencionar que cada entrada de aire tiene un caudal propio.

$$Q = V * A \quad (1)$$

Donde:

Q = Caudal exterior real de aire (m³/s)

V = Velocidad del aire (m/s)

A = Área de paso del aire (m²)

Antes de proceder al siguiente paso, se hizo un cambio de unidades de m³/s a m³/h.

Después, se sumaron todos los caudales de cada entrada dividida entre el número de ocupantes permitidos para conocer el caudal real que ingresa al aula, como se muestra en la ecuación 2.

$$Q_R = (Q_1 + Q_2 \dots + Q_n) / N^o \text{ de personas} \quad (2)$$

Donde:

$$Q_R = \text{Caudal exterior total de aire (m}^3/\text{h)}$$

$$Q_n = \text{Caudal exterior de cada área de paso de aire (m}^3/\text{h)}$$

Finalmente se realizó el último cálculo a fin de conocer las renovaciones de aire por hora del aula (ver tabla 3). Se empleó la ecuación 3 dada por el documento Nota Técnica de Prevención: 549 (INSHT, 2000).

$$R = \frac{Q_R}{Vol_a} \quad (3)$$

Donde:

$$R = \text{Renovación de aire (h)}$$

$$Q_R = \text{Caudal Total real (m}^3/\text{h)}$$

$$Vol_a = \text{Volumen del aula (m}^3\text{)}$$

b. Dióxido de carbono

Se analizó el CO₂ con un detector de gases de marca Testo y serie Testo 535 dentro y fuera del aula. Siguiendo la metodología de Flores (2008), ubicado en los antecedentes de este documento, se hicieron las mediciones en una zona donde no haya impacto directo de la respiración de los estudiantes, ni del personal educativo. Se tomó la precaución de alejar el sensor del rostro y de evitar conversar mientras se ejecutaba la toma en las aulas, a fin de no interferir en las mediciones.

Posteriormente, con la recopilación de datos muestreados, se aplicó la ecuación 4 para llegar al resultado final.

$$CO2_R = [CO2 Int] - [CO2 Ext] \quad (4)$$

Donde:

$CO2_R = \text{Dióxido de carbono real (ppm)}$

$CO2_{Int} = \text{Dióxido de carbono interior (ppm)}$

$CO2_{Ext} = \text{Dióxido de carbono exterior (ppm)}$

c. **Confort térmico**

Cabe resaltar que el método de Fanger es aplicable a esta investigación pues cumple con los requisitos como: las condiciones ambientales idénticas, ya que todos los puntos de monitoreo son en la misma universidad (misma ubicación geográfica), los alumnos visten de forma similar (informal o casual) y realizan la misma actividad física dentro del aula (atender y escribir en clases). Por lo que se procedió a realizar las mediciones siguiendo su metodología y fórmula matemática.

Se midió la temperatura seca, temperatura de globo y la humedad relativa del ambiente y junto al valor promedio de la velocidad del aire, obtenemos la temperatura radiante media mediante la ecuación 5. Se utilizó para las mediciones el equipo de estrés térmico de marca Quest Technologies, modelo QUESTemp[®]36.

$$\bar{t}_r = t_g + 1.9\sqrt{V_a} * (t_g - t_a) \quad (5)$$

Dónde:

$\bar{t}_r = \text{Temperatura media radiante (}^\circ\text{C)}$

$t_g = \text{temperatura de globo (}^\circ\text{C)}$

$t_a = \text{temperatura del termómetro seco (}^\circ\text{C)}$

$V_a = \text{Velocidad de aire (m/s)}$

Para obtener el valor de aislamiento térmico y de asiento, se utilizó el registro fotográfico para observar cual es el promedio del tipo de prendas usadas durante las mediciones, así mismo se aplicó para el asiento. Las prendas seleccionadas fueron: bragas y sujetador, camisa o blusa de mangas cortas, pantalones ligeros, chaquetas ligeras de verano, calcetines y zapatos de suela fina, con un valor de 0,67 clo. Mientras que el aislamiento del asiento fue lo más parecido que se encontró, la cual fue “silla metálica con asiento de rejilla” con un valor de 0 clo. Este dato se mantendrá para todos los casos.

Por otro lado, para obtener el valor de la tasa metabólica de los habitantes, se optó por usar la ISO 7730, donde la tasa metabólica depende la actividad desarrollada, se eligió para la tesis la opción de “actividad sedentaria (oficina, domicilio, escuela, laboratorio)” con un 1,2 mets. Este dato también se mantendrá igual para ambas aulas y todos los tratamientos.

Finalmente, estos datos fueron ingresados en el programa informático online para resolver las ecuaciones de PMV y PPD, creado por la Universidad Politécnica de Valencia, disponible en: http://www.ergonautas.upv.es/metodos/FANGER/fanger_online.php.

Ver el Anexo 3 y 4 para ver los formatos de fichas y las fotografías vinculadas a las mediciones de los indicadores.

3.2. Data meteorológica

La data meteorológica se obtuvo de la estación meteorológica automática, de marca Davis, instalada en el Campus Villa de la universidad Científica del Sur. La estación fue adquirida para el uso de los alumnos, profesores e investigadores que pertenecen a la Facultad de Ciencias Ambientales y/o carreras afines. Los datos de ubicación del equipo se muestran en la Tabla 4, en Sistema de coordenadas UTM utilizando el Datum WGS84.

Tabla 4: *Ubicación de la estación meteorológica*

NOMBRE	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		UBICACIÓN
	Este (m)	Norte (m)	
Estación meteorológica	284 726	8 648 366	Campus Villa – Sub Villa 1

FUENTE: Científica del Sur (2018).

Por otro lado, se optó por utilizar los datos de dirección del viento de la estación meteorológica ubicada en el aeropuerto internacional Jorge Chávez en el Callao. La cual es administrada por la Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial (CORPAC S.A.) en Perú. Sin embargo, se optó por usar los registros compartidos por IOWA STATE UNIVERSITY (ISU) debido a que estos mantienen un registro más extenso y detallado de la información.

3.3. *Pruebas estadísticas*

Para el obtener los resultados estadísticos se utilizaron las siguientes pruebas estadísticas con un nivel de confianza de 95 % ($\alpha=0,05$), mediante el software IBM SPSS Statistics 23:

- T de student para conocer si existen diferencias significativas entre las aulas PI-203 y PI-204. Estas pruebas compararon las medias de las variables por cada una de las aulas.
- Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor para conocer si existen diferencias significativas entre cada uno de los cinco tratamientos. Estas pruebas compararon las medias de cada tratamiento de las variables del aula PI-203.
- Correlación de Pearson a fin de conocer sí existen o no relación entre las variables del aula PI-203.

V. RESULTADOS

1. Resultados meteorológicos

Se limitó la información obtenida solo a las horas en las que se realizó las mediciones de los diferentes tratamientos aplicados. Cabe resaltar, que la información fue recolectada de la estación meteorológica de la Universidad Científica del Sur y de CORPAC S.A.

1.1. Dirección y velocidad del viento

Con base en la figura 8 se puede visualizar la dirección del viento proveniente del sur y suroeste mediante la proyección de la rosa de vientos en las aulas bajo estudio. Para más detalle sobre la rosa de vientos ir al Anexo 5, figura 58.

Partiendo de la figura 9 podemos afirmar lo siguiente: El primer día (5 de febrero) es considerado el día con mayor velocidad de viento alcanzada de 8 m/s durante la semana. El segundo día (6 feb.) la velocidad decrece, pero se mantiene constante con un 6,4 m/s. El tercer día (7 feb.) se mantiene constante con un 6,4 m/s también, sin embargo, en la

tarde aumenta su velocidad a 8 m/s. El cuarto día (8 feb) se muestra inestable con picos de máximas de 6,4 m/s entre las 12 y 13:30 horas, el resto posee una velocidad de 4,8 m/s. El quinto día (9 feb) registra una velocidad muy baja de 4,8 m/s en comparación con los otros días, con un solo pico de máxima de 6,4 m/s a las 13:30 horas.



Figura 8: Dirección de viento aplicada al objeto de estudio.

FUENTE: Google Earth y software WRPLOT VIEW (2018).

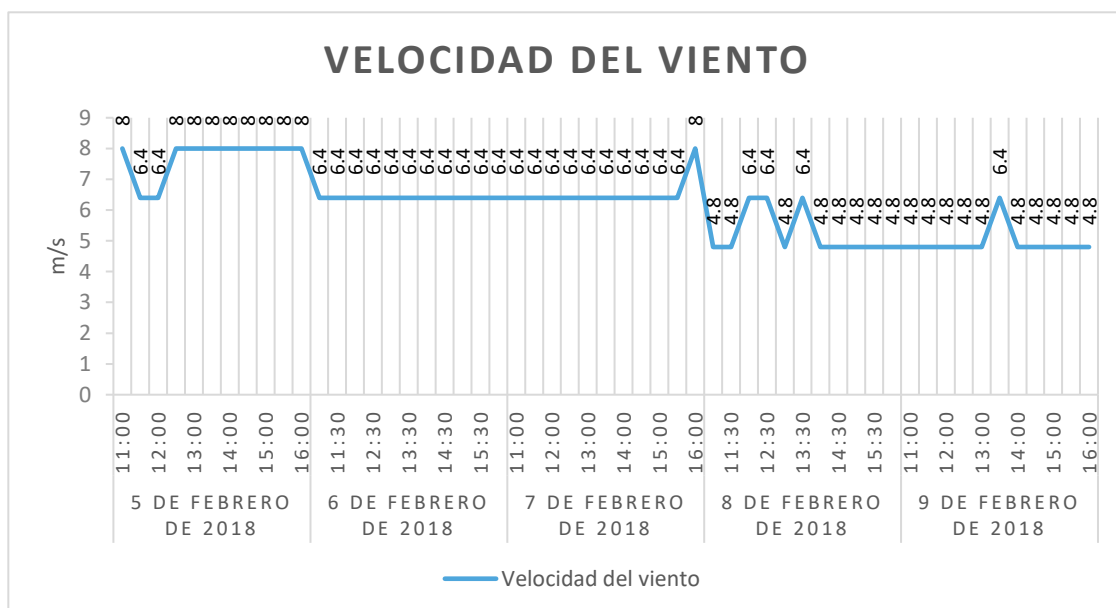


Figura 9: Data meteorológica de la velocidad del viento en la semana de medición.

1.2. Temperatura del aire

En la siguiente figura 10, se puede observar que las máximas temperaturas se dan en el día 7 de febrero (prom. 24 °C), en cuanto a temperaturas medias se puede considerar a los días 5 y 6 de febrero (prom. 23,1 °C) y las temperaturas más bajas son las de los días 8 y 9 de febrero (prom. 21,7 °C).

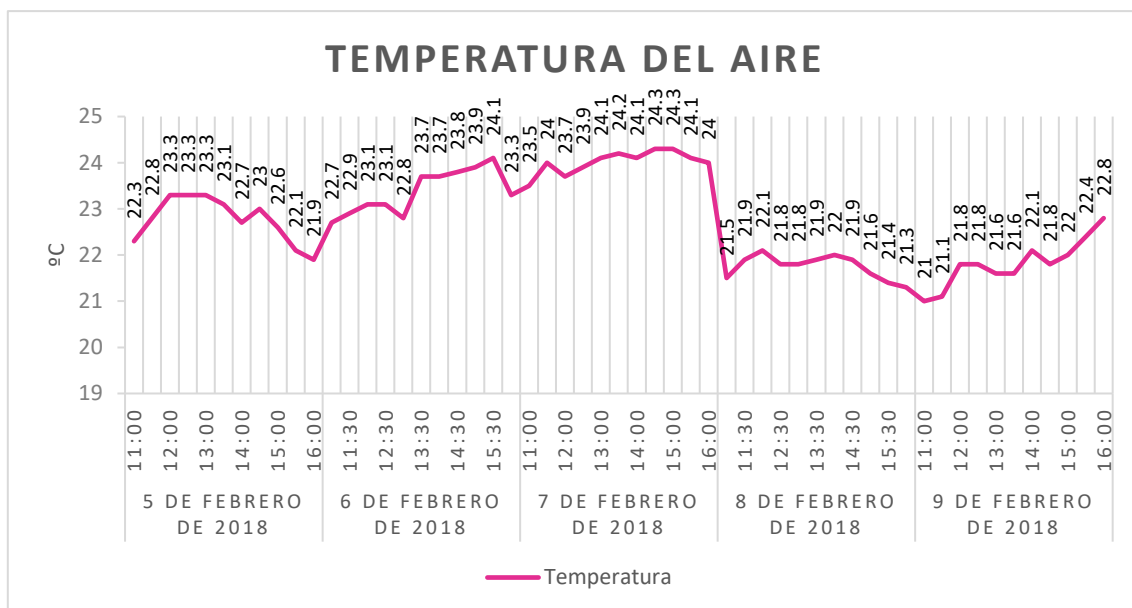


Figura 10: Data meteorológica de temperatura del aire en la semana de medición.

1.3. Humedad relativa

En la figura 11 sobre humedad relativa registrada, se puede afirmar que el 7 de febrero fue el día con menos humedad relativa y más inestable, obteniendo como valor mínimo 83%. Todo lo contrario, sucedió en el día 8 de febrero pues fue el día con más porcentaje de humedad relativa en comparación con los demás, alcanzando un pico de 93% y manteniendo sus otros niveles constantes. Tenemos a los días 9, 6 y 5 de febrero como los días con humedad relativa media. El día 9 se muestra alta al iniciar y decrece paulatinamente con el paso del tiempo; el 6 se mantiene estable desde las 11 hasta las

13:30 horas, para luego decrecer irregularmente; el día 5 inicia con alta humedad relativa, al iniciar la tarde decrece y, finalmente, sube al terminar la tarde.

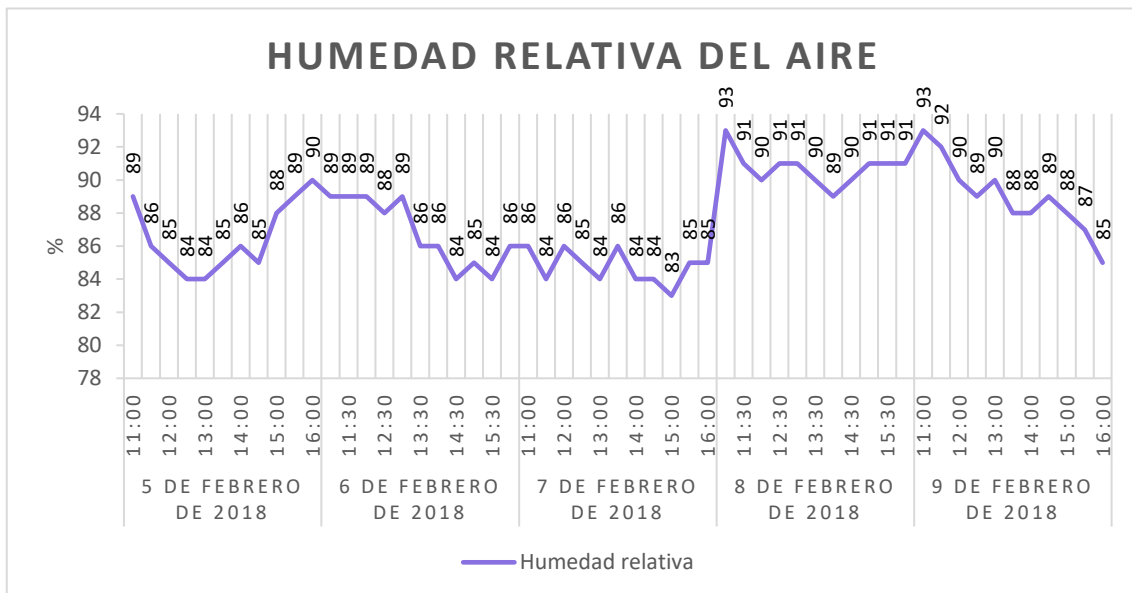


Figura 11: Data meteorológica de humedad relativa en la semana de medición.

2. Resultados de Indicadores

Para un mejor entendimiento de las figuras, se detallaron los códigos empleados en los gráficos de resultados:

- PI-203 (EE): Aula con extractores eólicos
- PI-204: Aula sin extractores eólicos
- T1 (PC+VC): Tratamiento 1 con puerta cerrada y ventana cerrada
- T2 (PA+VC): Tratamiento 2 con puerta abierta y ventana cerrada
- T3 (PC+VA): Tratamiento 3 con puerta cerrada y ventana abierta
- T4 (PA+VA): Tratamiento 4 con puerta abierta y ventana abierta
- T5 (PA+VA+VE): Tratamiento 5 con puerta abierta, ventana abierta y ventiladores encendidos.

A continuación, se exponen los resultados finales obtenidos a raíz del monitoreo realizado entre las fechas del 5 y 9 de febrero del 2018.

2.1. Ventilación

Se tuvo en cuenta como dato fundamental a la dirección del viento, así también como el flujo de movimiento del aire dentro de las aulas. En el caso del aula sin extractores eólicos se observó un movimiento de aire propio de la ventilación natural cruzada adecuada (Figura 6), mientras que en el aula con extractores eólicos se observó un movimiento de aire tipo efecto chimenea (Figura 9), es decir que todas las aberturas funcionan como entrada y el extractor como única salida. Se realizaron las mediciones únicamente en las entradas.

Los datos de caudal exterior total se compararon con el valor de **45 m³/h** que exige la norma internacional, ISO 13779:2007, por habitante permitido para aulas de enseñanza, clasificado como IDA 2 (aire interior de buena calidad) a fin de corroborar su cumplimiento. Además, según la norma nacional emitida por MVCS (2006), el número de renovaciones mínimas deben ser entre **6 y 8 renovaciones por hora** para aulas. Los resultados finales fueron comparados con ambas normas, la internacional y la nacional.

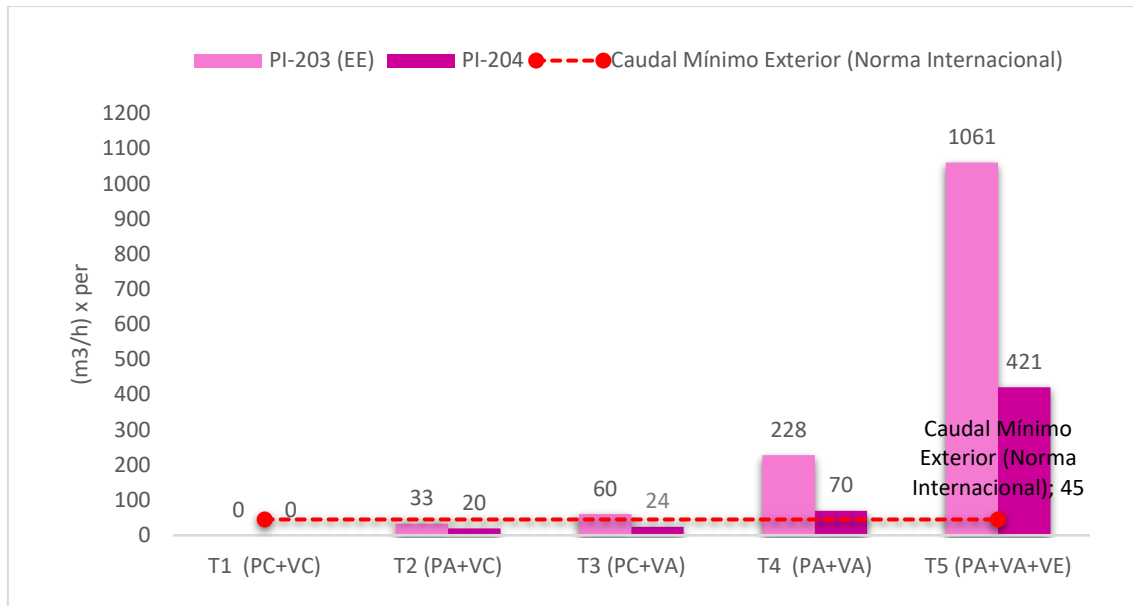


Figura 12: Comparación del caudal exterior total entre las aulas PI-203 y PI-204; 5 de febrero del 2018.

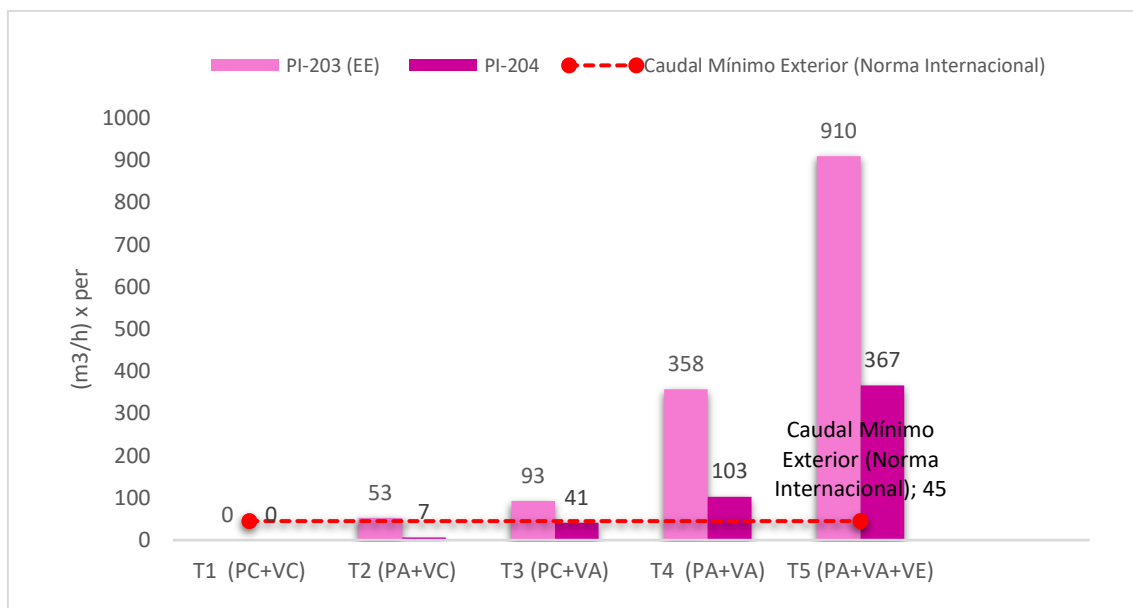


Figura 13: Comparación del caudal exterior total entre las aulas PI-203 y PI-204; 6 de febrero del 2018.

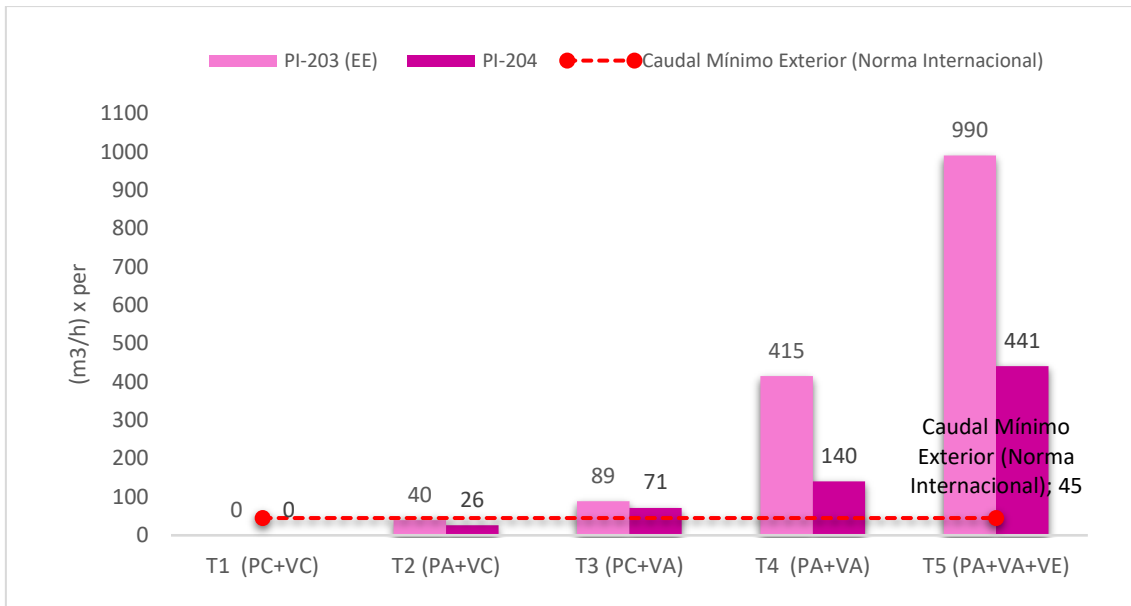


Figura 14: Comparación del caudal exterior total entre las aulas PI-203 y PI-204; 7 de febrero del 2018.

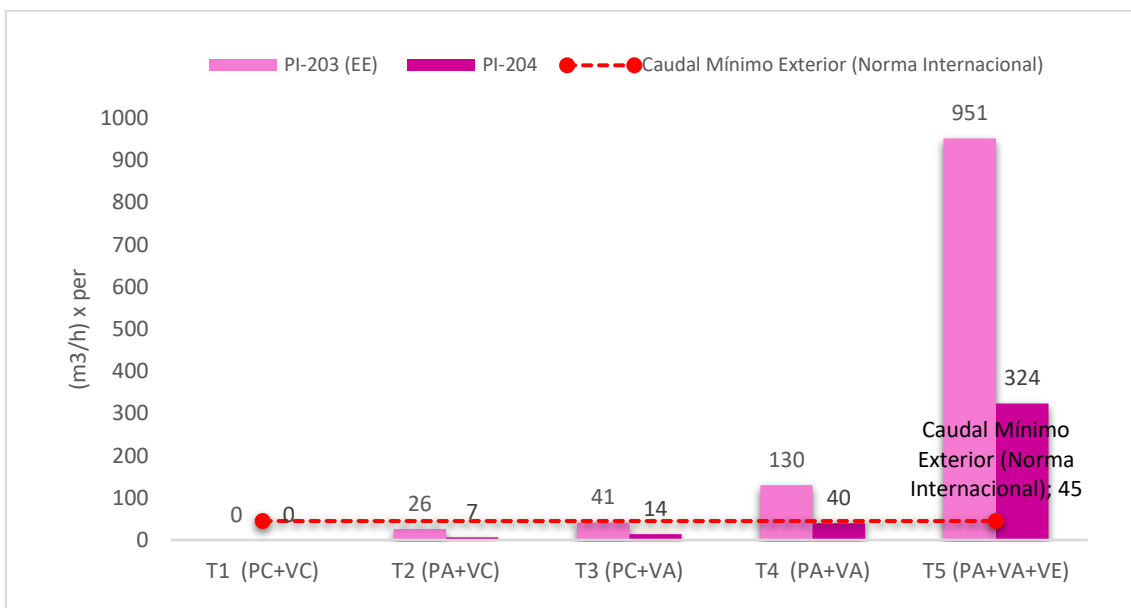


Figura 15: Comparación del caudal exterior total entre las aulas PI-203 y PI-204; 8 de febrero del 2018

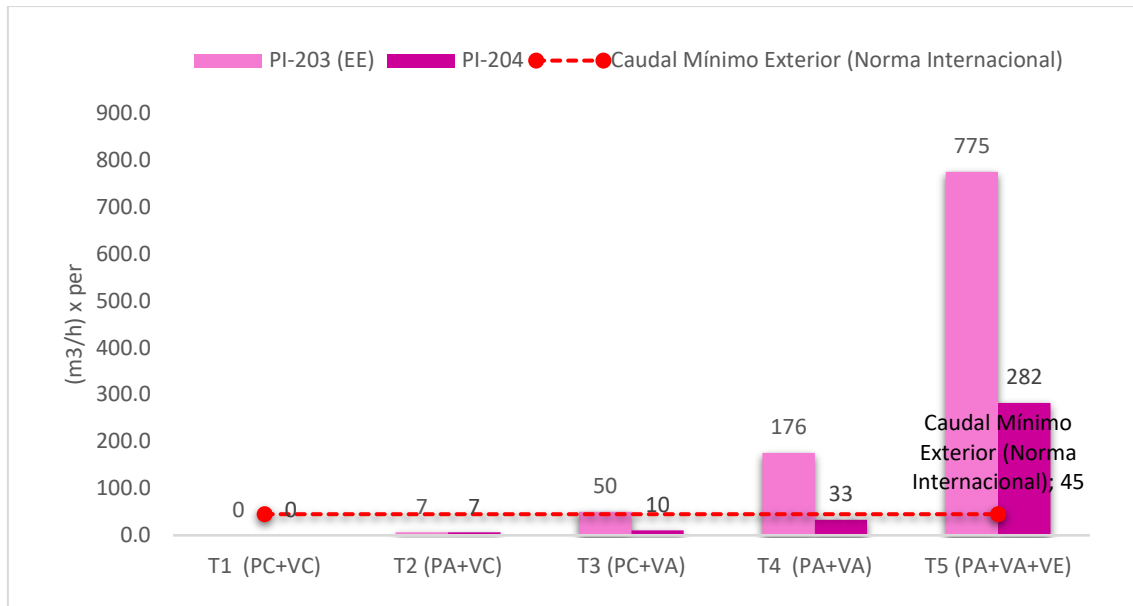


Figura 16: Comparación del caudal exterior total entre las aulas PI-203 y PI-204; 9 de febrero del 2018.

Respecto a la ventilación (figura 12 a la 16), se puede observar que en promedio el aula PI-203 alcanzó el caudal mínimo exterior por persona ($45 \text{ m}^3/\text{h}$) en el sistema de ventilación de ventanas abiertas (T3). Sin embargo, hubo una excepción el 7 de febrero, donde se alcanzó el nivel mínimo recomendado en el sistema de puerta y ventanas abiertas (T4), un sistema que requiere una entrada más de aire en comparación con el T3.

En promedio el aula PI-204 alcanzó los niveles recomendados en el sistema de ventilación de puerta y ventanas abiertas (T4), un tratamiento después que el aula PI-203 con extractores. Aunque en el cuarto y quinto día, se alcanzó el nivel mínimo recomendado en el sistema de puerta y ventanas abiertas y ventiladores encendidos (T5).

Las excepciones dadas o casos atípicos donde no se alcanzó el nivel base de caudal exterior requerido dentro de las aulas, se puede atribuir a la baja velocidad del viento que se dieron en los últimos dos días (figura 9).

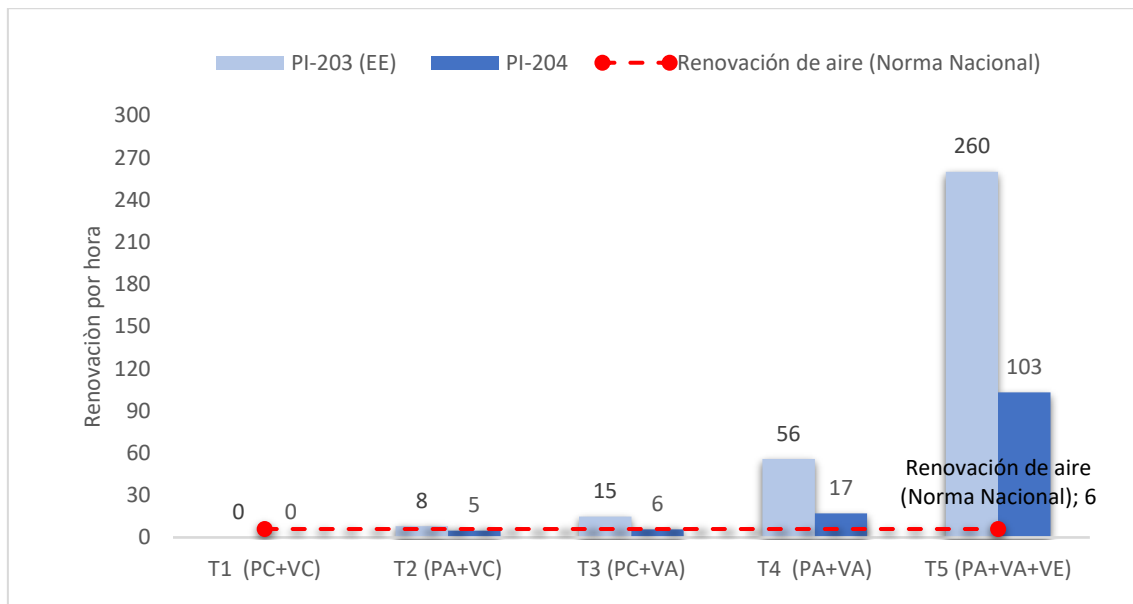


Figura 17: Comparación del número de renovaciones entre las aulas PI-203 y PI-204; 5 de febrero del 2018.

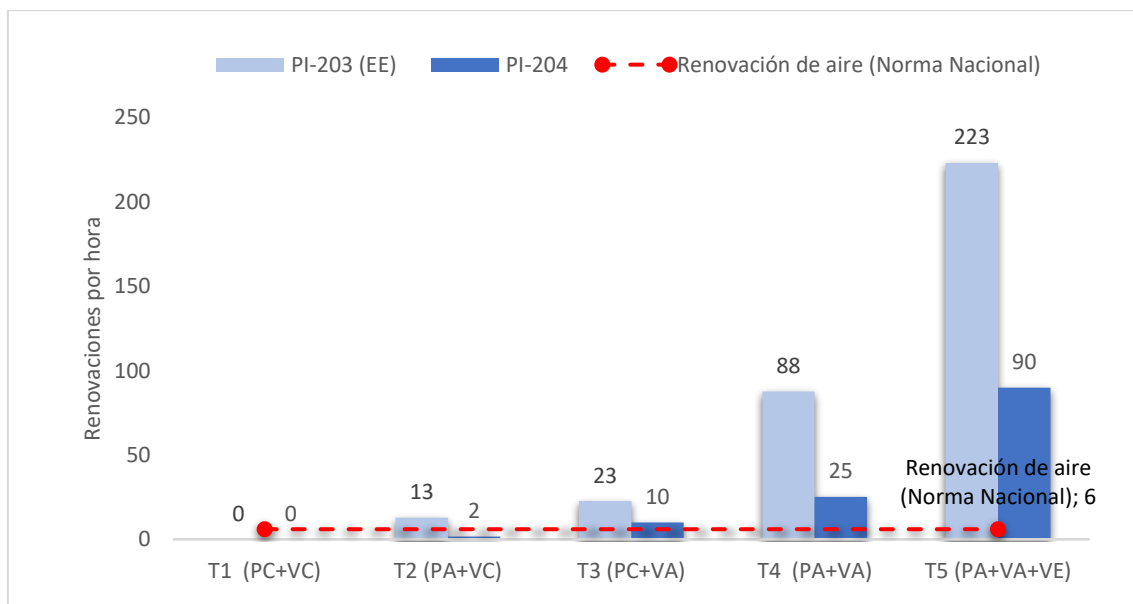


Figura 18: Comparación del número de renovaciones entre las aulas PI-203 y PI-204; 6 de febrero del 2018.

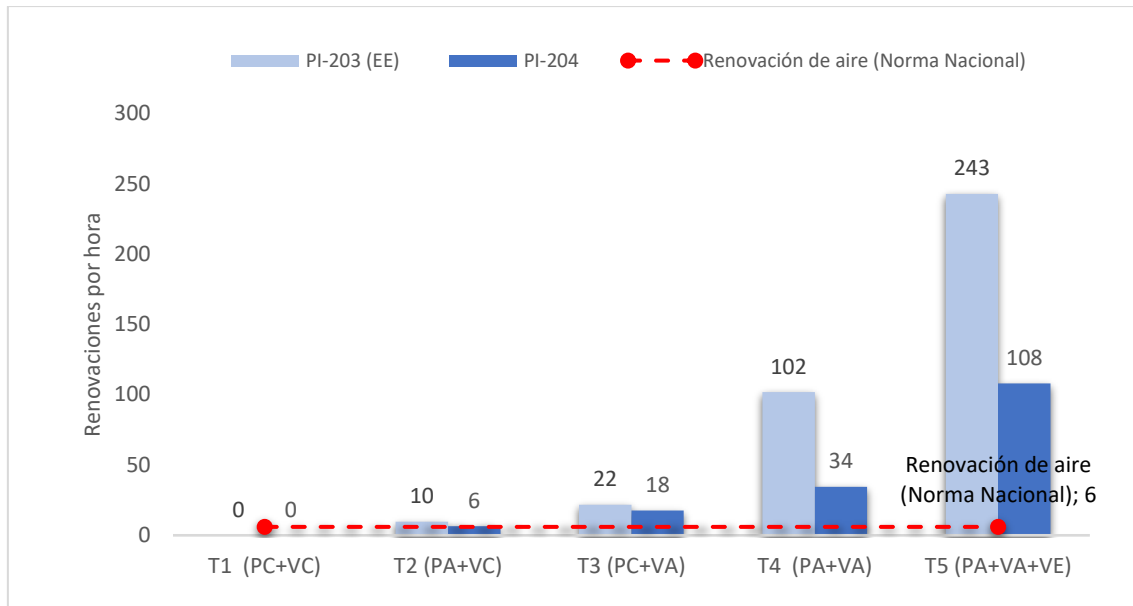


Figura 19: Comparación del número de renovaciones entre las aulas PI-203 y PI-204; 7 de febrero del 2018.

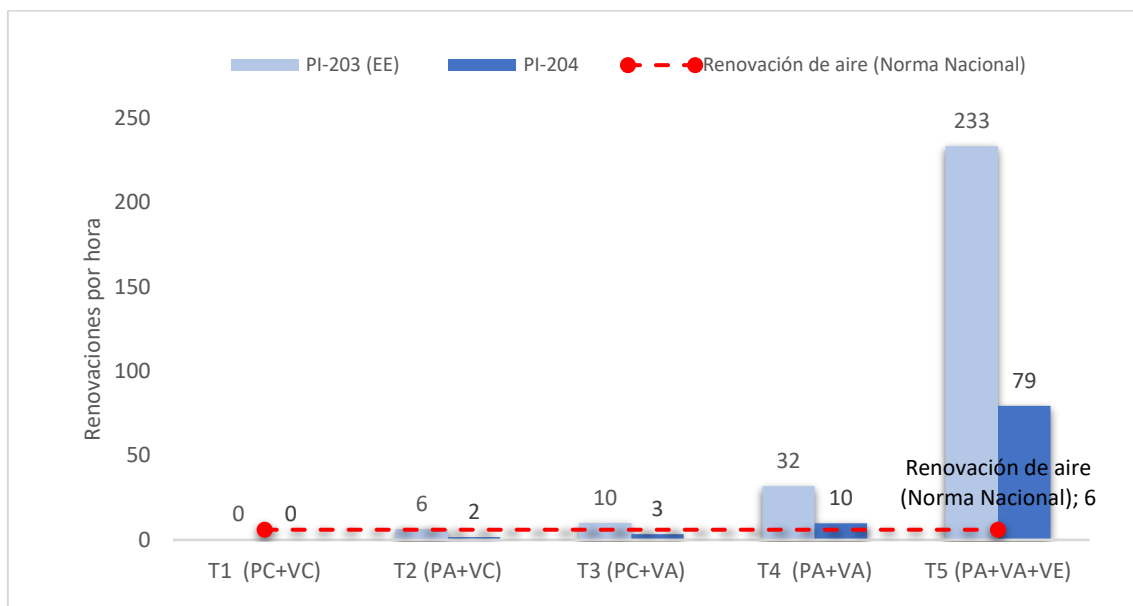


Figura 20: Comparación del número de renovaciones entre las aulas PI-203 y PI-204; 8 de febrero del 2018.

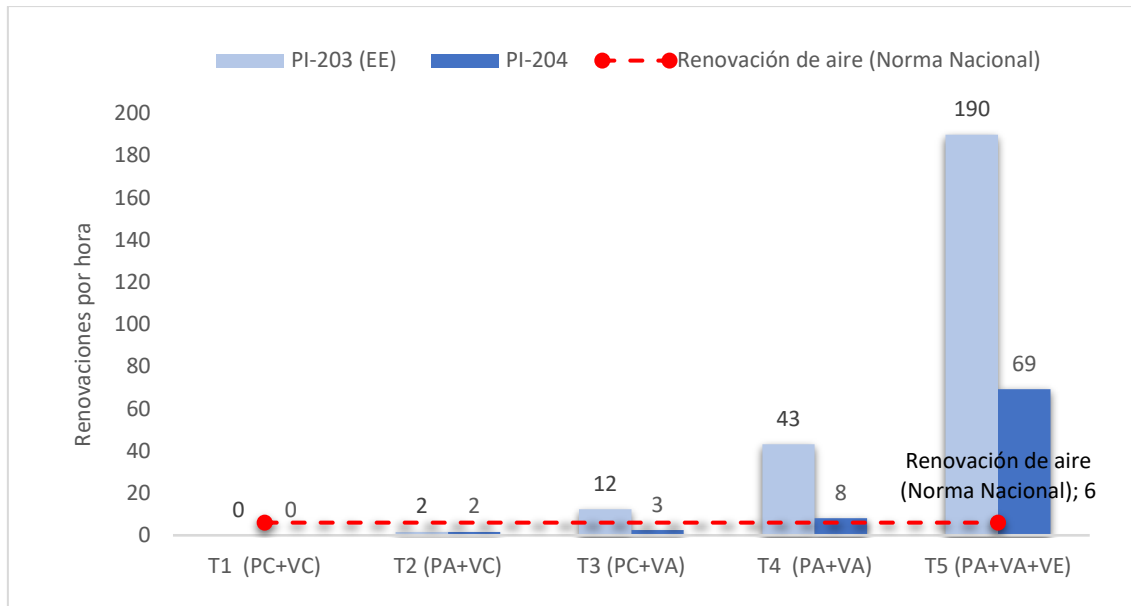


Figura 21: Comparación del número de renovaciones entre las aulas PI-203 y PI-204; 9 de febrero del 2018.

En relación a las renovaciones del aire (figura 17 a la 21), el aula PI-203 se encuentra dentro del rango de la normativa peruana a partir del sistema ventilación de puerta abierta (T2), mientras que el PI-204 alcanza lo requerido en el sistema de ventilación de puerta y ventanas abiertas (T4).

2.2. Dióxido de Carbono

Los resultados medidos en las aulas PI-203 y PI-204 se compararon con el valor permitido de la norma ISO 171330-2:2009, la cual menciona que la diferencia de CO₂ entre el ambiente interior y exterior debe ser menor a **600 ppm**. Ahora bien, para tener una visión más clara de la cantidad de CO₂ con las aulas llenas, es decir con aforo máximo de 40 personas, se extrapolaron los resultados del monitoreo a esa cantidad, denominando a las proyecciones “CO₂-40”.

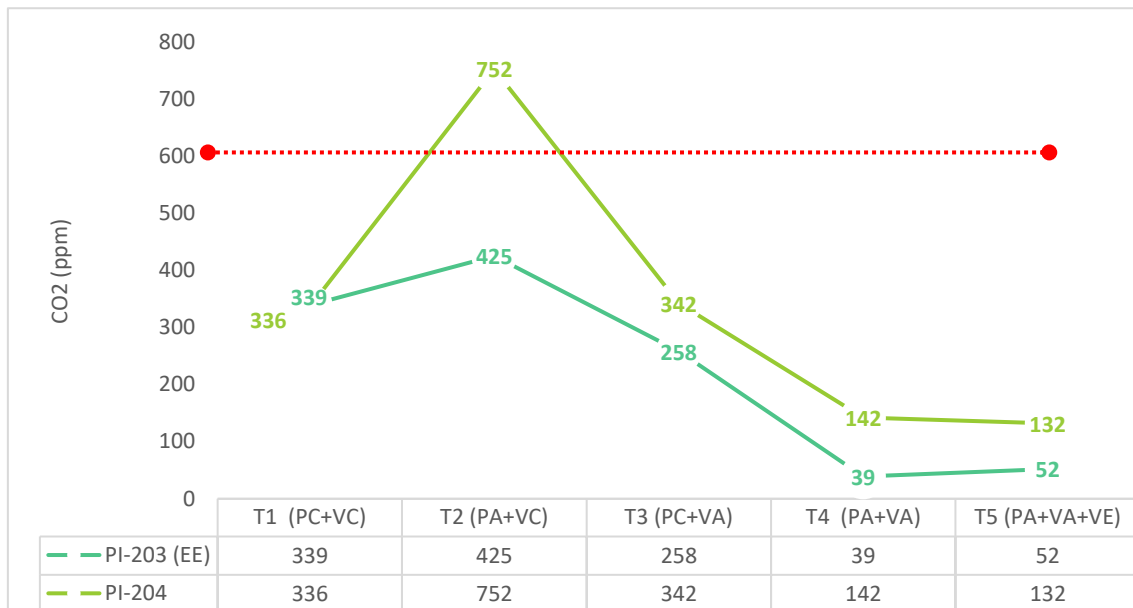


Figura 22: Comparación de CO₂ neto entre las aulas PI-203 y PI-204; 5 de febrero del 2018.

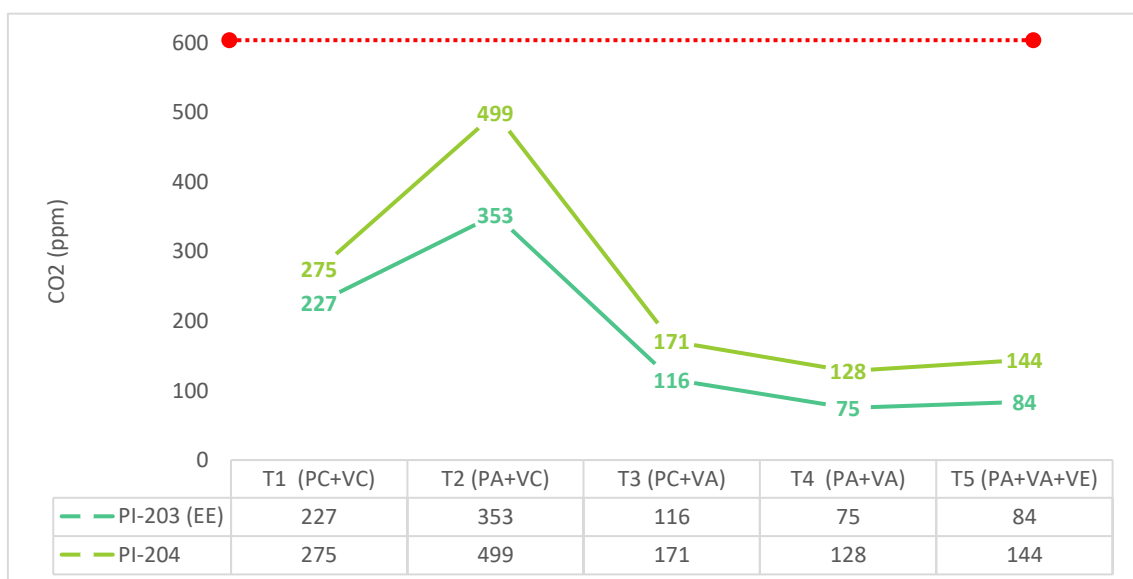


Figura 23: Comparación de CO₂ neto entre las aulas PI-203 y PI-204; 6 de febrero del 2018.

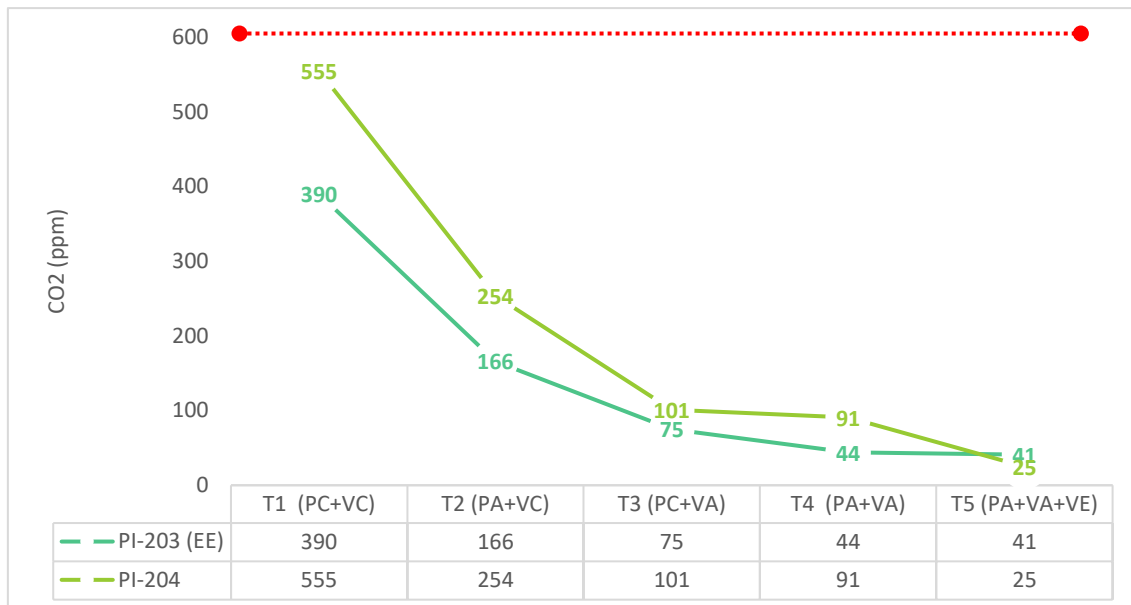


Figura 24: Comparación de CO₂ neto entre las aulas PI-203 y PI-204; 7 de febrero del 2018.

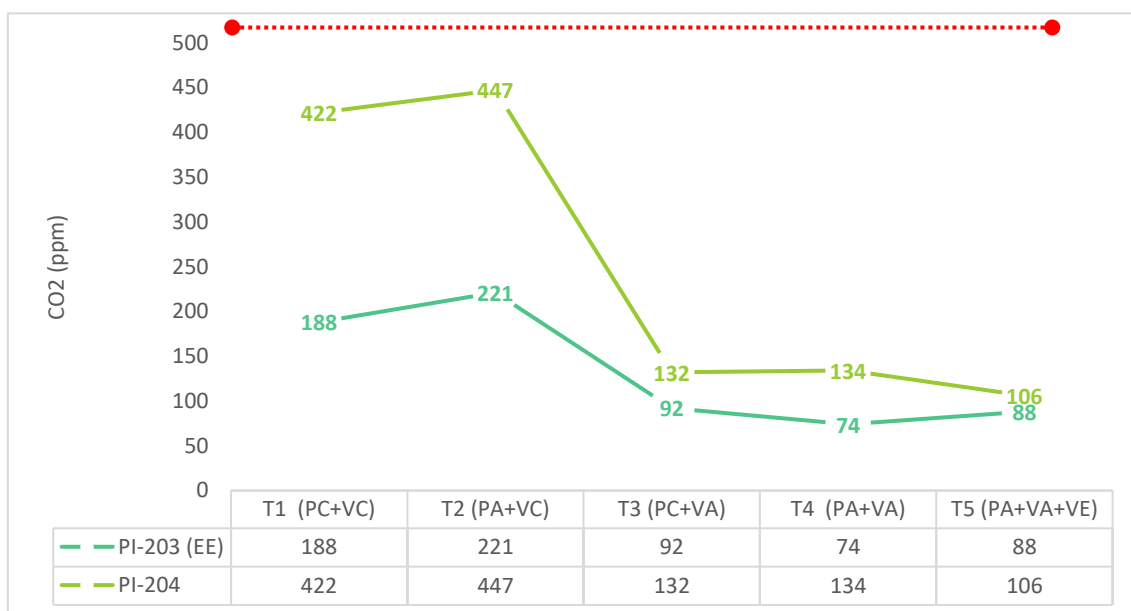


Figura 25: Comparación de CO₂ neto entre las aulas PI-203 y PI-204; 8 de febrero del 2018.

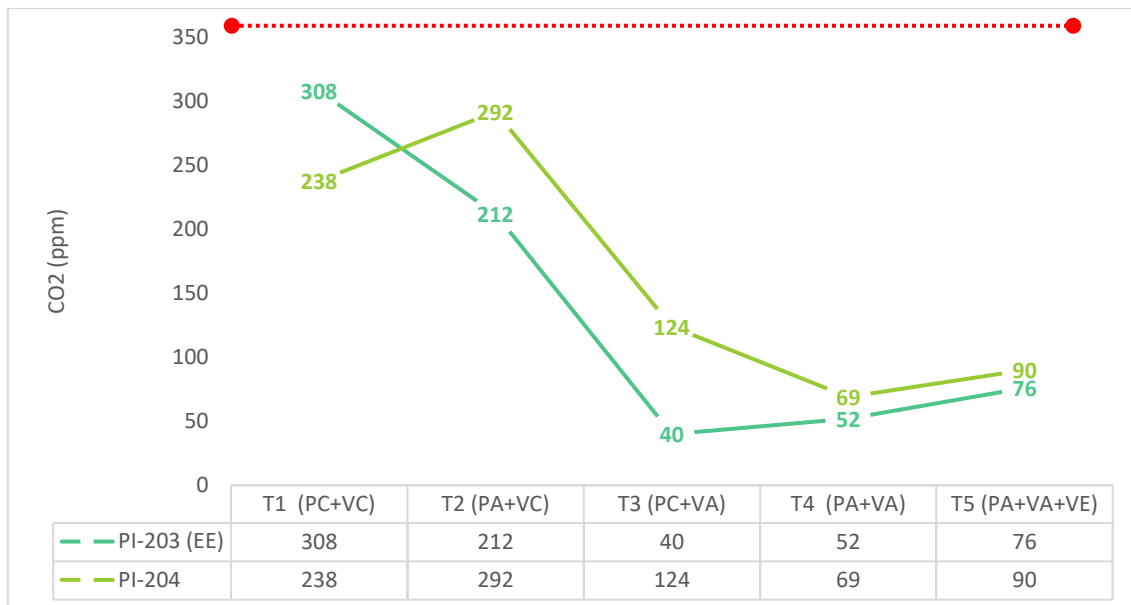


Figura 26: Comparación de CO₂ neto entre las aulas PI-203 y PI-204; 9 de febrero del 2018.

Con respecto a los resultados de CO₂ neto (figura 22 a la 26), se puede observar que en términos generales los resultados del aula PI-203 y el PI-204 se encuentran dentro del rango recomendado por la ISO. A excepción del 5 de febrero, en el cual el sistema de ventilación de puerta abierta (T2) logra superar el límite permitido durante toda la semana.

La tendencia de comportamiento del CO₂ neto es variante entre tratamientos, pero a su vez es similar entre todos los días del monitoreo. Tal es el caso del T2, donde se puede evidenciar que existen los picos más altos de CO₂ en cuatro de cinco gráficos. Esto se puede deber a que la puerta abierta no fue suficiente como para reducir rápidamente el contenido de CO₂, por lo que se seguiría acumulando de forma progresiva. Y otro caso sería el sistema de ventilación donde todas las entradas se encuentran abiertas y los ventiladores encendidos (T5). Esta última acción remueve las partículas de CO₂ y enfría

el aire, lo que conlleva a que las partículas no sigan el patrón o flujo de aire y se enfrasque dentro del aula.

En el monitoreo realizado el 7 de febrero se evidencia un comportamiento inusual en el sistema de ventilación todo cerrado (T1) debido a que se observa ahí el pico más alto de CO₂ neto durante el mismo día. Lo cual genera la duda de por qué no sigue la misma tendencia que los otros días, es decir, que los picos más altos de concentración del gas sean en el sistema de ventilación de puerta abierta (T2).

La razón de ello puede estar ligada al comportamiento de los ocupantes, pues cuando se iniciaba el monitoreo, la clase del PI-204 empezaba y el PI-203 tenía examen. Por lo que, en el primer caso, el alumno llegó agitado encontrándose respirando aceleradamente por el esfuerzo físico realizado previamente y en consecuencia aumentó los niveles de CO₂ neto. En el segundo caso, se observaba nerviosismo en los alumnos durante la prueba, lo cual también genera agitación y sudoración por la ansiedad. Esta afirmación es comprobada en la investigación documental de Álvarez, Aguilar y Segura (2011) donde analizan el estrés vinculado a los exámenes en los estudiantes universitarios y sus efectos, tales como el aumento en la frecuencia cardiaca (palpitaciones) y respiratoria, presencia de sudoración, entre otros. En ambos casos se produce una aceleración de la respiración, aumentando los niveles del contaminante.

A continuación, se presentarán los resultados de "CO₂-40". Este indicador fue desarrollado para representar los resultados de CO₂ extrapolados a un escenario proyectado en el cual las aulas habrían albergado a 40 personas (aforo máximo) en su interior.

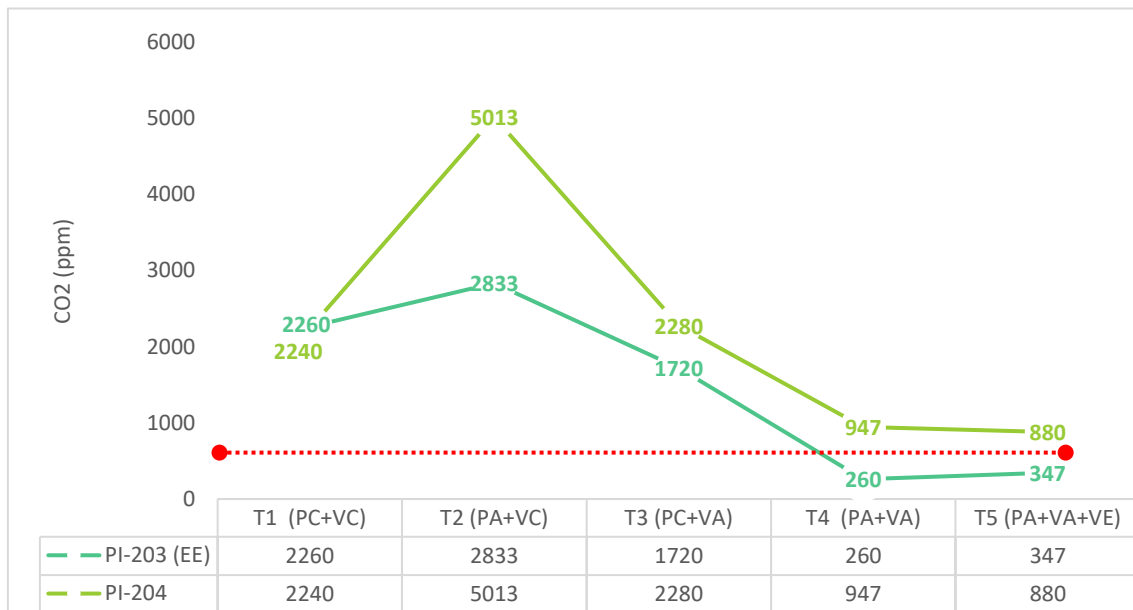


Figura 27: Comparación de CO₂-40 entre las aulas PI-203 y PI-204; 5 de febrero del 2018.

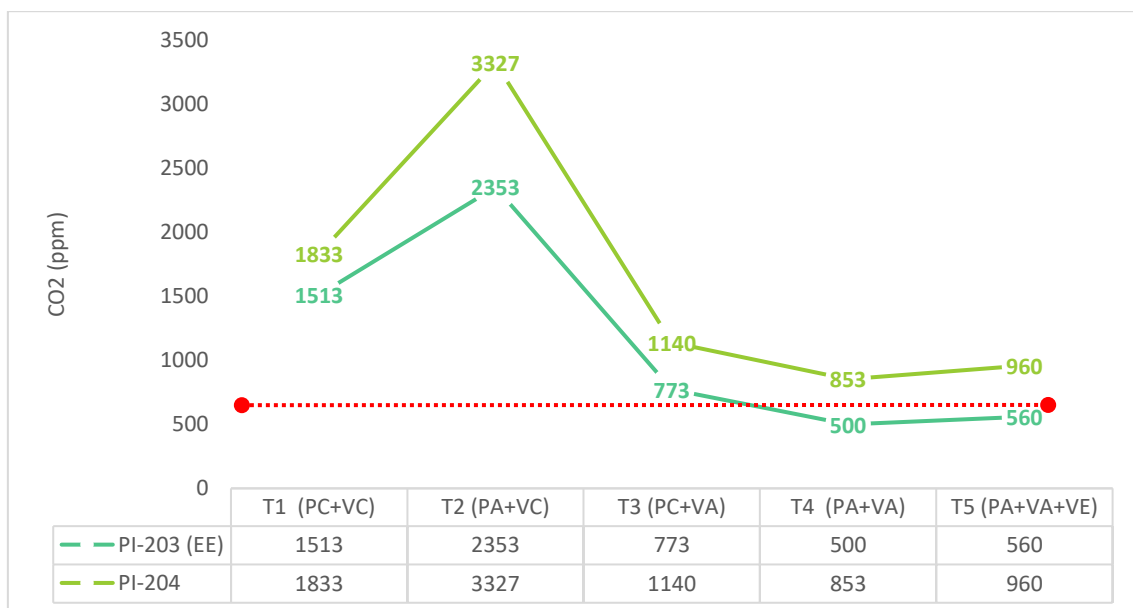


Figura 28: Comparación de CO₂-40 entre las aulas PI-203 y PI-204; 6 de febrero del 2018.

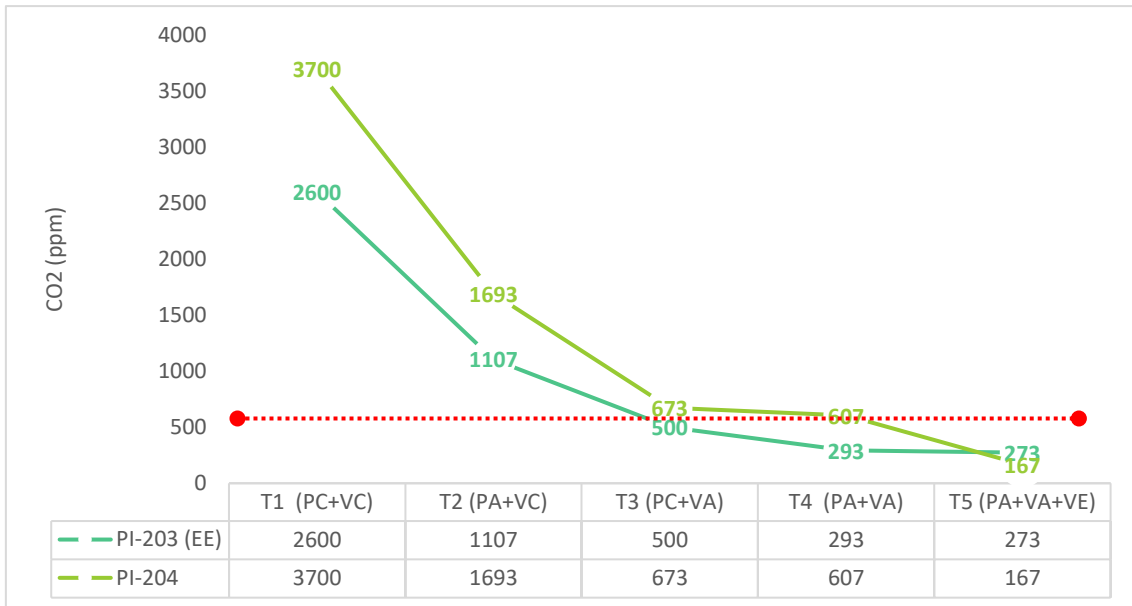


Figura 29: Comparación de CO₂-40 entre las aulas PI-203 y PI-204; 7 de febrero del 2018.

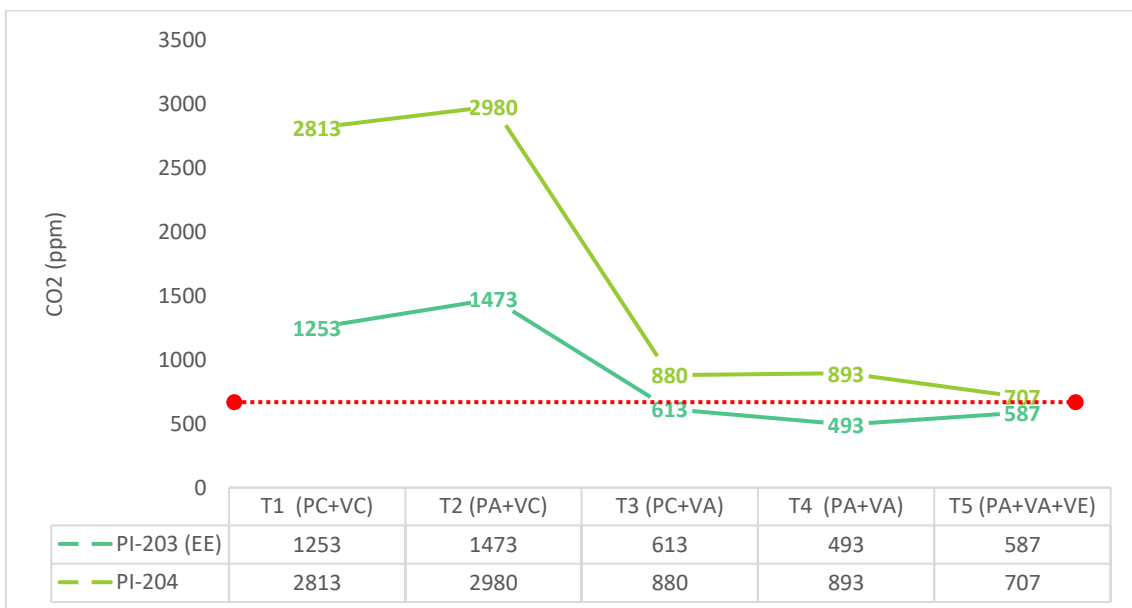


Figura 30: Comparación de CO₂-40 entre las aulas PI-203 y PI-204; 8 de febrero del 2018.

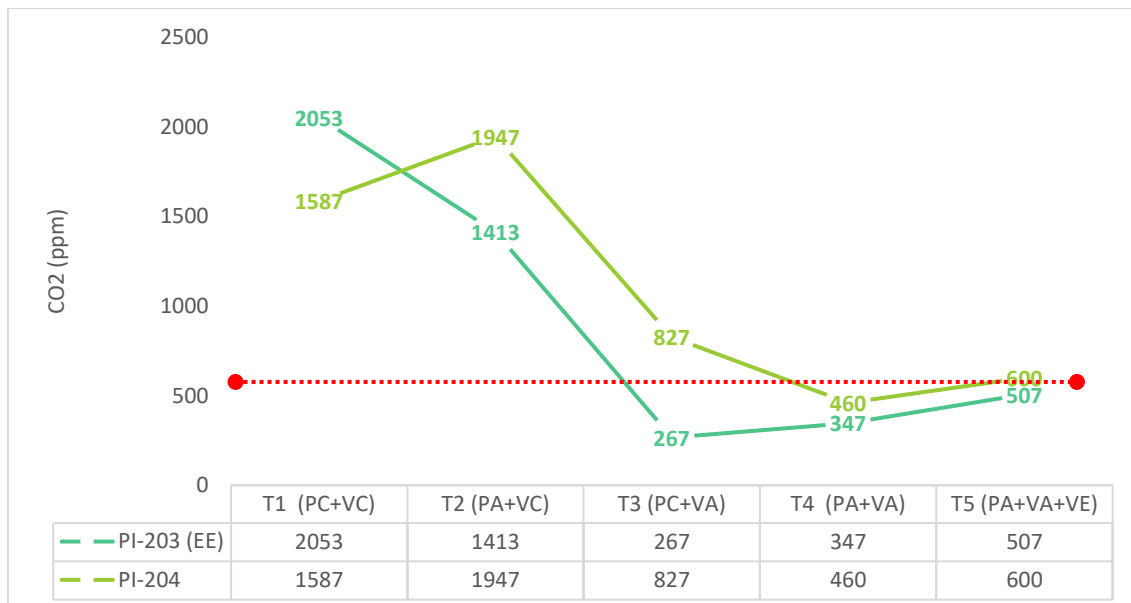


Figura 31: Comparación de CO₂-40 entre las aulas PI-203 y PI-204; 9 de febrero del 2018.

Respecto a los resultados de CO₂-40 con proyección a 40 personas (figura 27 a la 31), estos presentarían que en promedio el aula PI-203 se encontraría debajo de los límites desde el sistema de ventilación puerta y ventanas abiertas (T4). Mientras que el aula PI-204 en más del 50% de las fechas monitoreadas incumpliría la norma, por lo que los alumnos se verían afectados a cantidades mayores a 2500 ppm como Valor Límite Máximo.

2.3. Confort Térmico

Según el método de Fanger, los resultados sobre el confort térmico se reflejan en la variable PMV (Predicted Mean Vote). Los valores que se encuentran en la zona de confort son aquellos que están entre el rango de -0,5 a 0,5 y mientras más cerca del cero se encuentre la sensación térmica será más confortable y satisfactoria.

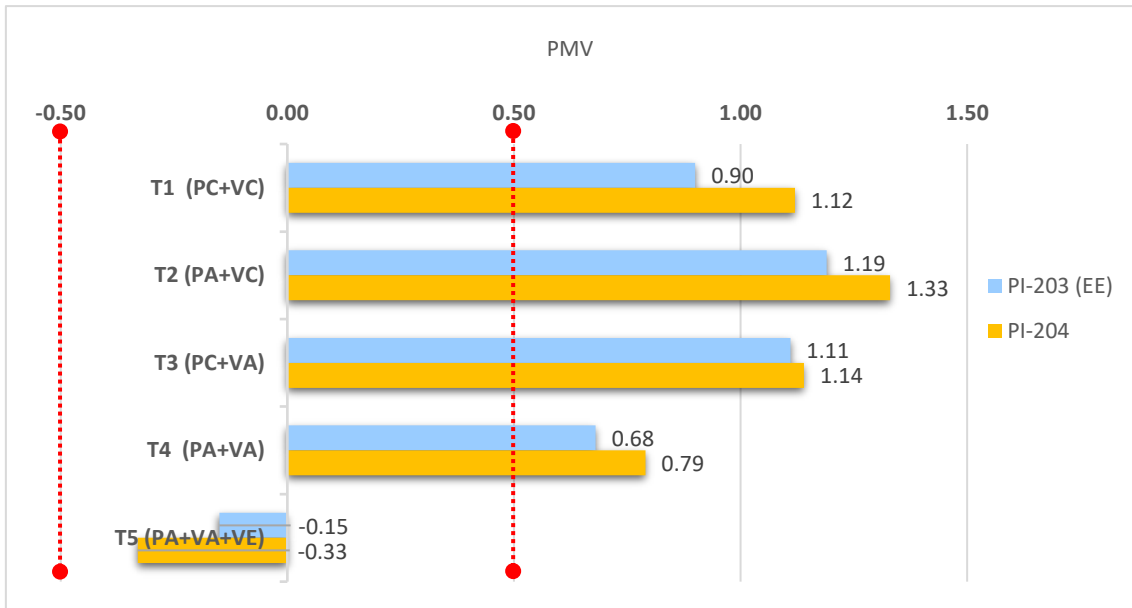


Figura 32: Comparación de PVM entre las aulas PI-203 y PI-204; 5 de febrero del 2018.

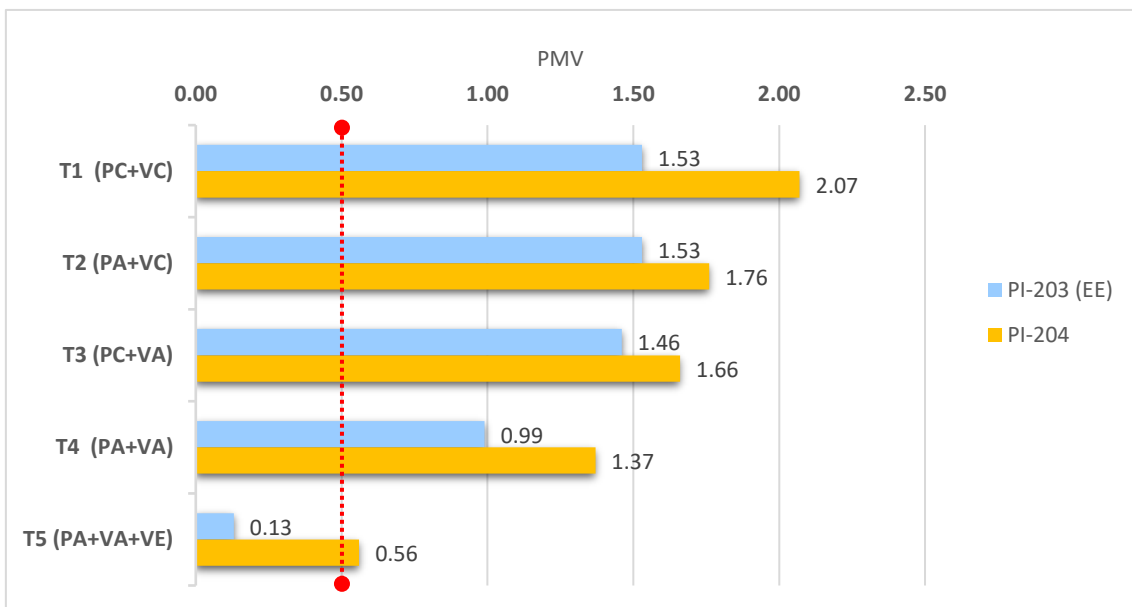


Figura 33: Comparación de PVM entre las aulas PI-203 y PI-204; 6 de febrero del 2018.

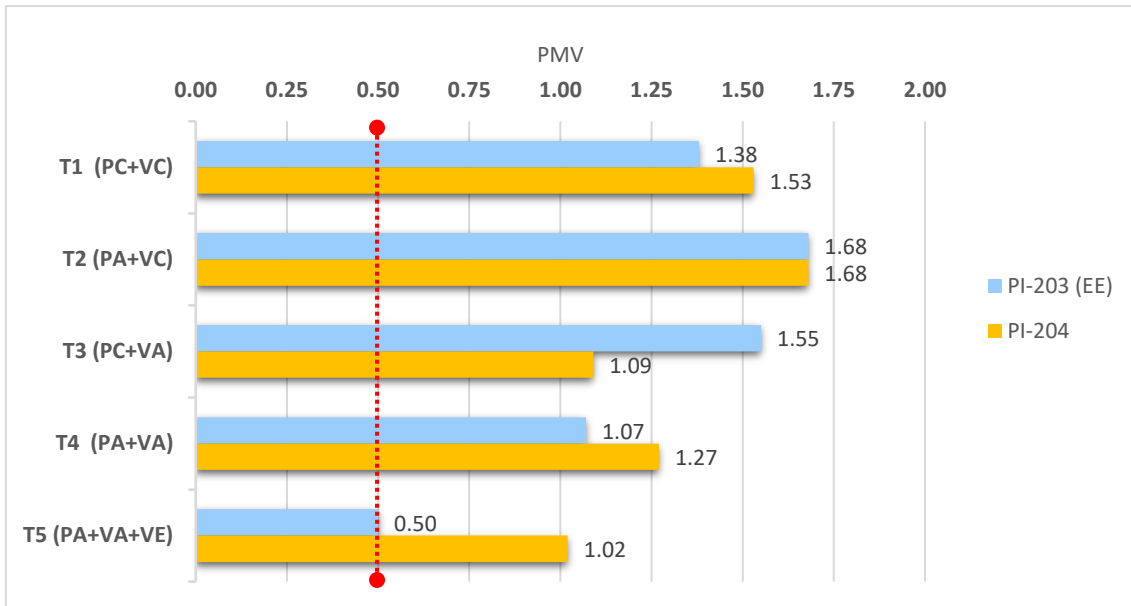


Figura 34: Comparación de PVM entre las aulas PI-203 y PI-204; 7 de febrero del 2018.

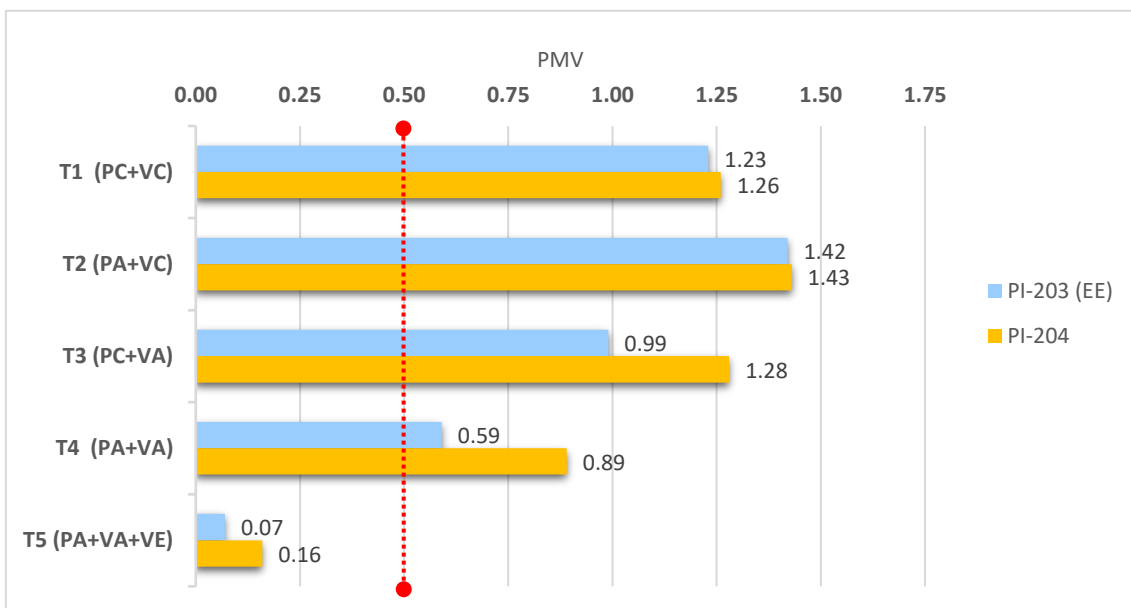


Figura 35: Comparación de PVM entre las aulas PI-203 y PI-204; 8 de febrero del 2018.

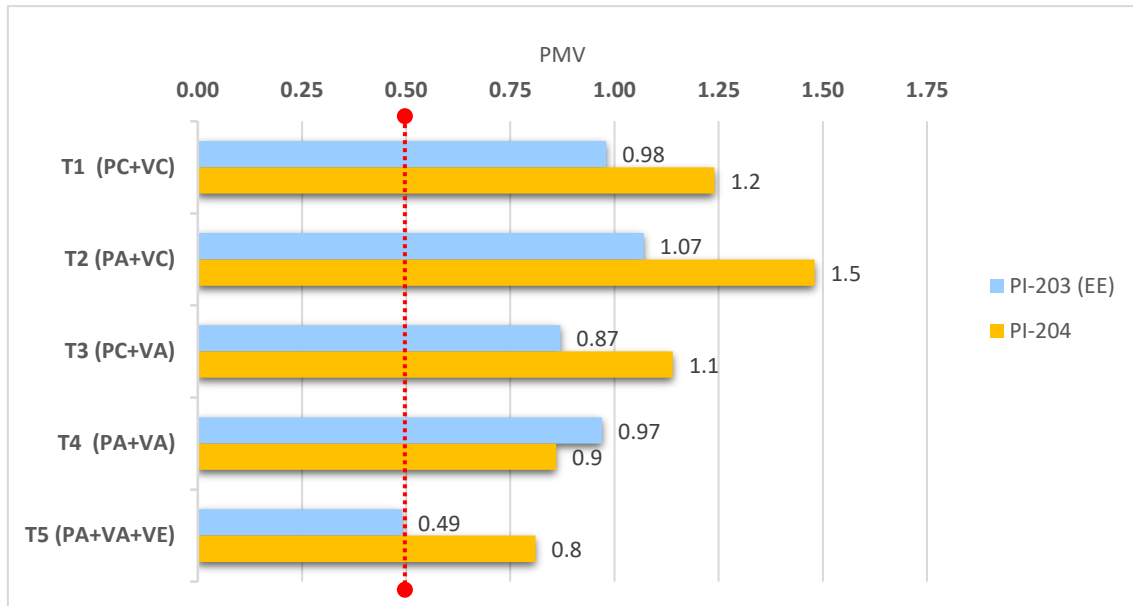


Figura 36: Comparación de PVM entre las aulas PI-203 y PI-204; 9 de febrero del 2018.

Con respecto a los resultados de confort térmico (PMV), se puede observar que en promedio el aula con extractores eólicos (PI-203) se encuentra dentro de la “zona de confort” en el sistema de ventilación de puerta y ventanas abiertas con ventiladores encendidos (T5). La tendencia de comportamiento del confort térmico es variante entre tratamientos, pero a su vez es similar entre todos los días del monitoreo. Tal es el caso del sistema de ventilación de sólo puerta abierta (T2), donde se puede evidenciar que existen los picos más altos de PMV. La sensación térmica promedio oscila entre “zona de confort” (mínima) y “caluroso” (máxima).

Por otro lado, el aula PI-204 en más del 50% de las fechas, incumpliría el rango de la “zona de confort”. Y en los días que sí podría ubicarse en la zona de confort, sólo se podría dar en el sistema de ventilación T5. Oscilando el PMV promedio entre la “zona de confort” (mínima) y “muy caluroso” (máxima).

Ver el Anexo 5 para observar más detalle de los resultados obtenidos.

3. Resultados estadísticos

3.1. *T de student*

Esta prueba estadística tiene el objetivo de comparar las medias de las variables con el propósito de conocer si existen o no diferencias significativas entre las aulas (PI-203 y PI-204). Para esto se plantearon dos hipótesis:

H_0 = No existen diferencias significativas entre las medias de las variables de las aulas PI-203 y PI-204.

H_i = Sí existen diferencias significativas entre las medias de las variables de las aulas PI-203 y PI-204.

Se consideró un nivel de confianza de 95% ($\alpha=0,05$).

Tabla 5: *Prueba de T de student para cada variable entre aulas.*

VARIABLES	PRUEBA T PARA IGUALDAD DE MEDIAS	
		Sig.
CO ₂		,097
CO ₂ _40		,076
PMV		,219
QE		,048
R		,047

FUENTE: Elaboración propia mediante el software SPSS.

Basado en los resultados que se obtuvieron en la Tabla 5, se rechazó la hipótesis cero pues el valor p es menor que el nivel de confianza ($p < \alpha$) sólo para los casos de caudal entrante (QE) y renovación de aire (R). Entonces, se puede afirmar que sí existen

diferencias significativas entre las medias de la ventilación, mientras que para el dióxido de carbono y confort térmico se da el caso contrario estadísticamente.

3.2. *Análisis de Varianza de un factor (ANOVA)*

Esta prueba estadística tiene el objetivo de comparar las medias de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 y T5) de las variables sólo del aula PI-203, con el propósito de conocer si existen o no diferencias significativas entre ellas. Para esto se plantearon dos hipótesis: H_0 = No existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos de cada variable del aula PI-203.

H_i = Al menos un tratamiento difiere respecto a la medias de los demás tratamientos de cada variable del aula PI-203.

Se consideró un nivel de confianza de 95% ($\alpha=0,05$).

Tabla 6: *Prueba de ANOVA para los tratamientos de cada variable del aula PI-203.*

VARIABLE	ANOVA DE UN FACTOR	
	Sig.	
PI203_CO ₂	,000	
PI203_CO ₂ _40	,000	
PI203_PMV	,000	
PI203_QE	,000	
PI203_R	,000	

FUENTE: Elaboración propia mediante el software SPSS.

Basado en los resultados que se obtuvieron en la Tabla 6, se rechazó la hipótesis cero pues el valor p es menor que el nivel de confianza ($p < \alpha$). Entonces, se puede afirmar

que sí existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos de cada variable del aula con extractores eólicos.

3.3. Correlación de Pearson

La prueba estadística de Pearson se utilizó para conocer si existía relación entre las variables, y a su vez, qué tipo de correlación existe (negativa, positiva, nula). Para esto se plantearon dos hipótesis:

H_0 = No hay correlación entre las variables

H_i = Sí hay correlación entre las variables

Se consideró un nivel de confianza de 95% ($\alpha=0,05$).

Tabla 7: Correlación de Pearson entre las variables.

		CORRELACIONES				
		CO ₂	CO _{2_40}	PMV	QE	R
CO₂	Correlación de Pearson	1	,997	,473	-,469	-,468
	Sig. (bilateral)		,000	,001	,001	,001
CO_{2_40}	Correlación de Pearson	,997	1	,472	-,473	-,473
	Sig. (bilateral)	,000		,001	,001	,001
PMV	Correlación de Pearson	,473	,472	1	-,734	-,734
	Sig. (bilateral)	,001	,001		,000	,000
QE	Correlación de Pearson	-,469	-,473	-,734	1	1,000
	Sig. (bilateral)	,001	,001	,000		,000
R	Correlación de Pearson	-,468	-,473	-,734	1,000	1
	Sig. (bilateral)	,001	,001	,000	,000	

FUENTE: Elaboración propia mediante el software SPSS.

En la Tabla 7, se rechaza la hipótesis cero pues el valor p es menor que el nivel de confianza ($p < \alpha$), es decir, sí existe correlación entre todas las variables.

Además, se puede observar que existe una correlación positiva en cuatro casos, entre el PMV y el CO₂, PMV y el CO₂-40, el CO₂ y el CO₂-40 y entre el QE y el R, en otras palabras, la relación es directamente proporcional. Mientras que los otros seis (06) casos, su correlación es negativa, es decir, inversamente proporcional. Las correlaciones más fuertes se dan en los casos de QE y R, y entre CO₂ y CO₂-40.

Ver el Anexo 6 para más detalle de los resultados estadísticos obtenidos.

VI. DISCUSIÓN

La calidad ambiental interior se encuentra íntimamente ligada al manejo y control de los recintos, con especial importancia en la ventilación. De acuerdo a lo afirmado por Del Campo y Mendivil (s.f.), este indicador evitaría el aumento de concentración de CO₂ y temperatura interior. Diversos autores concuerdan sobre el beneficio que los extractores eólicos poseen en la mejora de la ventilación (Solis, 1994; Náder y Radar, 2013; Quelal, 2014); es ahí donde nace la premisa de esta investigación. En el presente estudio sucedió que sólo existen diferencias significativas entre el aula con extractores eólicos y el aula sin ellos en el indicador de ventilación, mas no en el CO₂ y confort térmico. Sin embargo, se puede demostrar que, para esta investigación, los extractores eólicos sí existen efectos positivos en la calidad ambiental interior. Los motivos se detallan en los siguientes párrafos.

Respecto a la ventilación:

Según la prueba estadística T de student, existe una diferencia significativa en el indicador de ventilación (caudal entrante mínimo (QE) y renovación de aire (R)) entre

las aulas PI-203 y la PI-204, con una diferencia de 165% aproximadamente entre sus medias. Para este estudio, el aula con extractores es quién sobrepasa el mínimo requerido por la ISO 13779:2007 y por la norma de edificaciones peruana. Dicho resultado se debe al efecto chimenea que posee el aula con extractores eólicos, que succiona el aire de todas las entradas, aumentando sustancialmente el caudal entrante y, por ende, el número de renovaciones de aire por hora (Silva, 2013). Entonces, concuerda con Quelal (2014) al mencionar que las implementaciones de extractores eólicos tienen efectos positivos en la ventilación.

Respecto al confort térmico:

Si bien es cierto que estadísticamente no existen diferencias significativas en las medias del confort térmico (reflejado mediante el Predicted Mean Vote o PMV) entre las aulas PI-203 y PI-204, los datos indican una diferencia que permite identificar si el aula se encuentra o no dentro de la zona de confort para sus ocupantes. Los resultados de la tesis indican que aula PI-203 se mantuvo en la “zona de confort” durante toda la etapa de monitoreo en el tratamiento 5, mientras que el aula PI-204 (blanco) no logró el objetivo en más del 50% de días monitoreo. Por consiguiente, esta investigación concuerda con Náder y Radar (2013) al demostrar que la implementación de extractores eólicos logra mantener una sensación confortable mediante la disminución de la carga térmica.

Respecto al dióxido de carbono:

El dióxido de carbono (CO_2 real y CO_2 -40 proyección a 40 ocupantes) tampoco presenta diferencias significativas entre las aulas según la prueba estadística de T de student. No obstante, los resultados muestran una diferencia que define si la concentración del gas está o no por debajo del límite como lo recomienda la ISO 171330-2:2009.

En el caso de la concentración del CO_2 real, el aula con extractores eólicos siempre se mantuvo por debajo del límite recomendado, mientras que el aula sin extractores sólo supera el límite en el Tratamiento 2 del primer día, es decir, en el sistema de ventilación de puerta abierta y ventanas cerradas. Es importante resaltar que el número de ocupantes fue de 6 personas.

A diferencia del caso anterior, en la proyección de 40 ocupantes CO_2 -40 se observa una diferencia mucho más tangible entre las aulas. Los datos indican que, el aula PI-203 se mantendría debajo del límite a partir del Tratamiento 4 (sistema de ventilación de puerta y ventanas abiertas). Mientras que el aula PI-204 no cumpliría con la norma recomendada en un 60% de los días monitoreados y de los días que sí cumpliría el límite sería solo cuando se le aplique el último tratamiento. Los resultados de la investigación concuerdan con Flores (2008) al concluir que la adecuada tasa de ventilación es la responsable de que los niveles de CO_2 no excedan los límites. En resumen, se podría afirmar que los extractores sí tienen efectos positivos en la reducción de dióxido de carbono.

De acuerdo a los datos obtenidos, se considera importante mantener los niveles de CO_2 y el PMV dentro de los límites recomendados, pues una alta concentración de CO_2 desplaza el oxígeno del aire generando cefalea, somnolencia e inclusive asfixia y a su

vez, incomodidad por el aumento gradual de calor retenido (Contreras, 2010; Vaquero, 2011). Como consecuencia se comprometería la productividad y el rendimiento de la persona, pues el foco de atención del ocupante estaría en buscar la forma de mantenerse cómodo y no en la actividad que esté realizando (Fisk, 1999; OSMAN, 2010).

Correlaciones:

Yarke (2015) le da relevancia a la ventilación ya que lo considera un indicador fundamental para la reducción de la carga térmica y los contaminantes. El análisis de correlaciones, mediante la prueba de Pearson, constata las relaciones entre las variables de 'ventilación y CO₂' y entre la 'ventilación y el PMV'. En ambos casos se observa una relación inversamente proporcional, es decir que a mayor ventilación existirá menor concentración de CO₂ y, a su vez, menor valor de PMV. Por otro lado, se evidencia que al aumentar el valor de PMV la concentración de CO₂ también aumenta, corroborando lo que la EPA (s.f) menciona sobre que los altos niveles de temperatura y humedad son factores relacionados con el aumento de las concentraciones de los contaminantes.

Respecto al tratamiento que más se adapta a los extractores eólicos:

En síntesis, se puede afirmar que sí existe un efecto positivo por parte de los extractores eólicos en la calidad ambiental interior y esto se ve reflejado en el mejoramiento de la ventilación, la reducción de dióxido de carbono y el mantenimiento de confort térmico. Entonces, de acuerdo a los datos obtenidos en la investigación, se consideraría al sistema de ventilación de puertas y ventanas abiertas más ventiladores encendidos

(Tratamiento 5) como el tratamiento que mejor resultado brinda únicamente para los estándares de la CAI vinculados directamente a los extractores eólicos.

Es importante señalar que existe una necesidad de evaluar y analizar de manera integral los parámetros vinculados relacionados a la CAI, tales como el ruido, las vibraciones, la iluminación, entre otros. Por ejemplo, si se tomará en cuenta el ruido externo, se esperaría que el impacto de este parámetro sea mínimo en el ambiente interior. Por lo que se buscaría cerrar las ventanas y/o puertas a fin de preparar un ambiente propicio para el desarrollo de la clase libre de distracciones externas.

A razón de ello, el tratamiento 5 no podría ser el más adecuado para la CAI desde una vista integral, pero sí puede ser el que mejor resultado muestra para este estudio, al ser vinculados solo a los estándares de la CAI que están directamente relacionados con los extractores eólicos.

Limitaciones:

Una de las limitaciones que se tuvo durante el monitoreo de indicadores fue encontrar a las dos aulas llenas de personas mientras se hacían las mediciones. Por lo que, la proyección de CO₂ para 40 ocupantes sirvió para tener una noción de los niveles del gas en condiciones reales, a fin de guiar a la universidad en su toma de decisiones. Sin embargo, realizar una evaluación a largo plazo en un aula con aforo completo profundizaría la investigación brindando datos más precisos. Además, en pro de la investigación, el realizar una evaluación de la misma naturaleza en la temporada de invierno ayudaría a conocer el efecto que poseen los extractores eólicos en condiciones

climáticas frías. De este modo se generaría más data, asegurando un mejor resultado, pues según Ochoa (2014) en las muestras pequeñas, como sucedió en este estudio, se puede observar diferencias muy grandes, pero que a fin de cuentas no llegan a ser diferencias significativas.

Ventajas:

De la misma manera, la universidad Científica del Sur tiene la ventaja de una ubicación geográfica estratégica para dar el paso hacia la certificación ISO 171330 de calidad ambiental interior. Su lejanía del centro de la ciudad y los bajos niveles de la contaminación ambiental en la zona le permite cumplir con mayor facilidad, en comparación con otras universidades limeñas, los límites que recomienda la norma en pro bienestar de sus aulas. Dicha norma diagnóstica, da procedimientos de inspección y gestiona la calidad ambiental interior. El estudio de Fisk y Seppanen (2007), en Finlandia, concluye que por cada euro invertido en la calidad ambiental interior se devuelve 10 euros o más en mejora de productividad y reducción de absentismo por enfermedades relacionadas. Definitivamente, esta certificación posicionaría a la UCSUR como una universidad que se preocupa e invierte en el aprendizaje y bienestar de sus estudiantes, y a su vez, potenciaría la imagen institucional como universidad sostenible frente a las demás.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Conclusiones

- Los extractores eólicos tienen efectos positivos en la calidad ambiental interior pues al incrementar la ventilación permitió que el confort térmico se mantuviera en los niveles recomendados y, a la vez, se reduzca la concentración de dióxido de carbono en el aula PI-203 en comparación al aula PI-204 de la Universidad Científica del Sur.
- La ventilación, compuesta por el caudal entrante y el número de renovaciones de aire por hora, en el aula PI-203 es mejor que en el PI-204 debido al efecto chimenea, propio de los extractores eólicos, el cual atrae más aire hacia el interior del aula. Asimismo, la prueba estadística T-student (comparación de medias) indicó que existen diferencias significativas respecto a la ventilación con una diferencia aproximada de 165%, esto se verifica en el aumento de caudal entrante y renovación del aire dentro del recinto PI-203.
- La prueba T-student afirma que no existen diferencias significativas vinculadas al confort térmico entre las dos aulas estudiadas. Sin embargo, el aula PI-203 a diferencia del aula PI-204, se mantuvo siempre en la “zona de confort” durante el tratamiento 5 en todos los días monitoreados. Esto se debe a que progresivamente va mejorando la ventilación en cada tratamiento, como consecuencia el valor del PMV disminuye y logra alcanzar el rango recomendado por Fanger. Esto evidencia que los extractores eólicos sí tienen efectos positivos en el confort térmico.

- El CO₂ proyectado para un aula de 40 personas (CO₂-40) permitió evidenciar que un aula con extractores eólicos (PI-203) mantendría sus niveles bajos de 600 ppm, tal y como lo recomienda la norma ISO 171330-2:2009. Mientras que el aula sin extractores eólicos (PI-204) superaría el nivel límite de CO₂ en más del 60% de ocasiones. Lo cual generaría molestias y, en una alta concentración (2 500 ppm), desplazaría el oxígeno del aire generando cefalea y otros síntomas. A pesar que la prueba se realizó con 6 personas, por lo que podría variar los resultados al volver a realizar las mismas pruebas con 40 personas.
- El sistema de ventilación que mejor se adapta al aula PI-203 es el de puerta y ventanas abiertas más ventiladores encendidos, es decir el tratamiento 5, porque brinda los mejores resultados en relación a todos los indicadores vinculados directamente a los extractores eólicos.

2. Recomendaciones

- Este estudio ha permitido demostrar los beneficios de la utilización de los extractores eólicos en la calidad ambiental interior de las aulas y, potencialmente, en sus ocupantes. Por lo tanto, se sugiere que la universidad evalúe la factibilidad de implementar una mayor cantidad de extractores eólicos. Incluyendo como alternativa, la evaluación del estado del aula tanto antes como después de su proceso de implementación.
- Tomando en consideración los resultados de la presente investigación y sus limitaciones reflejadas en el número de alumnos y periodo de evaluación se

sugiere realizar estudios complementarios sobre el efecto de los extractores eólicos en la calidad ambiental interior para una temporada con distintas condiciones climáticas y una mayor cantidad de alumnado presente en las aulas.

- Asimismo, para potenciar la investigación relacionada a la mejora de la calidad ambiental interior de las aulas de la Universidad Científica del Sur se considera importante que la misma evalúe la adquisición de equipos que permitan realizar las mediciones respectivas. Esto permitirá no solamente incrementar la capacidad de producción científica de la universidad, sino también fortalecer la adquisición de competencias para sus alumnos.
- Teniendo presente lo indicado en la presente tesis, se sugiere que se incorpore en futuras investigaciones una evaluación acerca del rendimiento de los alumnos tanto en aulas con extractores eólicos como en aulas sin ellos. Esto permitirá brindar una mayor certeza respecto a los beneficios que obtienen los ocupantes en las aulas que cuenten con los extractores eólicos.
- A fin tener una visión más integral sobre la calidad ambiental interior de las aulas pertenecientes a la Universidad Científica del Sur, se recomienda realizar estudios que incorporen los parámetros referidos en el presente estudio y evalúen los efectos de otros parámetros que no se encuentran vinculados a los extractores eólicos, tales como el ruido, las vibraciones y la iluminación.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, M., De Freitas, V. y Delgado, J. (2015). School buildings rehabilitation - Indoor environmental quality and enclosure optimization [Rehabilitación de edificios escolares – Calidad ambiental interior y optimización de recintos]. Recuperado de <http://www.springer.com/la/book/9783319153582>

Álvarez, J., Aguilar, J. y Segura, S. (2011). El estrés ante los exámenes en los estudiantes universitarios. Propuesta de intervención. Recuperado de http://infad.eu/RevistaINFAD/2011/n2/volumen1/INFAD_020123_55-63.pdf

Ambriz, J., García, J., y Paredes, H. (s.f.). Determinación experimental de las condiciones de confort térmico en edificaciones. Recuperado de http://www.academia.edu/1166946/DETERMINACION_EXPERIMENTAL_DE_LAS_CONDICIONES_DE_CONFORT_TERMICO_EN_EDIFICACIONES

Centers for Disease Control and Prevention (2015). Indoor Environmental Quality [Calidad ambiental interior]. Recuperado de <https://www.cdc.gov/niosh/topics/indoorenv/>

Chávez, F. (2002). Zona Variable de Confort Térmico. Recuperado de <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6104/07CAPITULO2.pdf;jsessionid=9E84C8B9A51D99769CA3098602B788C1?sequence=7>

CHC GROUP (2015). Why do you need CO₂ control [¿Por qué necesitas controlar el CO₂?]. Recuperado de http://group.chcsys.net/en/co2_controller-2/

Cívicos, A. y Hernández, M. (2007). Algunas reflexiones y aportaciones en torno a los enfoques teóricos y prácticos. *Revista Educación*.

Comité Científico de los Riesgos Sanitarios y Ambientales (2007). Opinion on risk assessment on indoor air quality [Opinión sobre la evaluación de los riesgos de la calidad del aire interior]. Recuperado de http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scher/docs/scher_o_055.pdf

Comunidad de Madrid (2018). Calidad del aire interior en edificios de uso público. Recuperado de <http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=Content-disposition&blobheadername2=cadena&blobheadervalue1=filename%3DCalidad+aire.pdf&blobheadervalue2=language%3Des%26site%3DPortalSalud&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1310656197303&ssbinary=true>

Congreso de la República (2013). Ley que dispone medidas preventivas contra los efectos nocivos para la salud por la exposición prolongada a la radiación solar. Recuperado de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/A656950CDABBC83805257EF40003840D/\\$FILE/30102.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/A656950CDABBC83805257EF40003840D/$FILE/30102.pdf)

Congreso de la República (2014). Ley que promueve la calidad de aire en los interiores de los locales de atención pública. Recuperado de [http://www2.congreso.gob.pe/Sicr/TraDocEstProc/Contdoc02_2011_2.nsf/d99575da99ebf305256f2e006d1cf0/8e9306593bcac70c05257ca70055b3a5/\\$FILE/PL03295260314.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/Sicr/TraDocEstProc/Contdoc02_2011_2.nsf/d99575da99ebf305256f2e006d1cf0/8e9306593bcac70c05257ca70055b3a5/$FILE/PL03295260314.pdf)

Constitución Política del Perú. Congreso Constituyente Democrático, Lima, Perú. 29 de diciembre de 1993.

Contreras, J. (2010). Metodología para establecer los criterios de renovación del aire en el interior de un aula asociado a la concentración de CO₂ emitido por sus ocupantes según su actividad. Recuperado de [http://www.aie.upc.edu/maema/wp-content/uploads/2016/07/06-Juan-Carlos-Contreras-Carrillo-UPCO₂_COMPLETO.pdf](http://www.aie.upc.edu/maema/wp-content/uploads/2016/07/06-Juan-Carlos-Contreras-Carrillo-UPCO2_COMPLETO.pdf)

Del Campo, V. y Mendivil, A. (s.f.). Calidad de aire interior en los centros de educación infantil del País Vasco. Recuperado de http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/Inive%5Cclimamed%5C16.pdf

Environmental Protection Agency (s.f.). An Introduction to Indoor Air Quality (IAQ) [Una introducción a la Calidad de Aire Interior (CAI)]. Recuperada de <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/protect-indoor-air-quality-your-home>

Ergonautas.com (s.f.). Método de Fanger. Recuperado de
<http://www.ergonautas.upv.es/metodos/fanger/fanger-ayuda.php>

Extech.com (2014). Guía de usuarios: Anemómetro PCM/MCM de molinete grande y
Sicrómetro + CO₂. Recuperado de
http://www.extech.com/instruments/resources/manuals/AN320_UMsp.pdf

Fisk, W. (1999). Estimates of potential nationwide productivity and health benefits from
better indoor environments: an update [Estimaciones a potencial nacional de
productividad y beneficios a la salud a partir de mejores ambientes interiores:
una actualización]. Recuperada de:
<http://www.healthyheating.com/Productivity/Downloads/LBNL-42123.pdf>

Fisk, W. y Seppanen, O. (2007). Providing Better Indoor Environmental Quality Brings
Economic Benefits [Proporcionar mejor Calidad Ambiental Interior brinda
beneficios económicos]. Recuperado de:
<https://iaqscience.lbl.gov/sites/default/files/performance-1.pdf>

Flores, J. (2008). Determinación de las concentraciones de dióxido de carbono en
salones de escuelas elementales del distrito escolar de Caguas II. Recuperado de
http://ut.suagm.edu/sites/default/files/uploads/Centro-Estudios-Doctorales/Tesis-2005-06/Tesis-2008-09/8_Flores_J_Tesis_UT_2008.pdf

Guasch, J. (2001). Enciclopedia de Seguridad y Salud en el Trabajo. Capítulo 45: Control
Ambiental en interiores. Recuperado de

<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/45.pdf>

Guerra, M. (2010). Tercera edición traducida de la sexta en inglés de “Manual de Publicaciones de la American Psychological Association”. Distrito Federal, México: El Manual Moderno.

Guillén, G. (2002). Diversidad protozoológica de los Pantanos de Villa, Chorrillos - Lima - Perú. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Hernández, F., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). Metodología de la Investigación. Recuperado de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Hess, A. (2005). Impacto Ambiental de Componentes y Materiales de Edificios. Recuperado de <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/com2005/7-Tecnologia/T-032.pdf>

Silva, J. (2013). Construir y automatizar un sistema de extracción de olores y ventilación del área de trabajo para una panadería. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6740/1/CD-5119.pdf>

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2015). Calidad de ambiente interior en oficinas; identificación, análisis y priorización de actuación frente al riesgo. Recuperado de <https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FICHAS%20DE%20PUBLICACIONES/EN%20CATALOGO/Higiene/CAI%20en%20oficinas.pdf>

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo (1989). NTP 243: Ambientes cerrados: calidad de aire.

Recuperado de

http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NT P/Ficheros/201a300/ntp_243.pdf

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2000). NTP 549: El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior. Recuperado de

http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NT P/Ficheros/501a600/ntp_549.pdf

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2013). NTP 972: Calidad de aire interior: compuestos orgánicos y volátiles, olores y confort. Recuperado de

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/20863/972w.pdf>

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (s. f.). Calidad del ambiente interior. Recuperado de

<http://www.insht.es/Ergonomia2/Contenidos/Promocionales/Calidad%20del% 20ambiente%20interior/CalidadambinteriorDTECAI.pdf>

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (s.f.). Evaluación del Bienestar térmico en locales de trabajo cerrados mediante los índices térmicos PMV y PPD.

Recuperado de

<http://www.insht.es/Ergonomia2/Contenidos/Promocionales/Ambiente%20ter>

mico/ficheros%20Documento%20tecnico%20especifico/DTEvaluacionBienest
rAmbienteTermico.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). 2014 Synthesis Report Summary for
Policymakers. Recuperado de [https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-
report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf)

Iowa State University (2018). Iowa International Mesonet of Jorge Chávez Station
[Mediciones de la estación meteorológica de Jorge Chávez]. Recuperado de
[https://mesonet.agron.iastate.edu/sites/site.php?station=SPJC&network=PE__
ASOS](https://mesonet.agron.iastate.edu/sites/site.php?station=SPJC&network=PE__ASOS)

Kerlinger, F. y H. Lee (2002). Investigación del comportamiento. México: McGraw Hill/
Interamericana.

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2007). RITE- 2007. Reglamento de las
instalaciones térmicas en los edificios. Recuperado de
[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10540_Comentarios_R
ITE_GT7_07_2200d691.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10540_Comentarios_RITE_GT7_07_2200d691.pdf)

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006). Reglamento Nacional de
Edificaciones. Recuperado de
[http://www.vivienda.gob.pe/Direcciones/Documentos/RNE_Actualizado_Solo_
Saneamiento.pdf](http://www.vivienda.gob.pe/Direcciones/Documentos/RNE_Actualizado_Solo_Saneamiento.pdf)

Molina, C. y Veas, L. (2012). Evaluación del confort térmico en recintos de 10 edificios públicos de Chile en invierno. Recuperado de <http://www.scielo.cl/pdf/rconst/v11n2/art04.pdf>

Náder, R. y Radar, M. (2013). Instalación de extractores eólicos en viviendas residenciales de distintos estratos sociales para disminución de carga térmica. Recuperado de <http://repositorio.uac.edu.co/bitstream/handle/11619/1873/TMEC1119%20INSTALACION%20DE%20EXTRACTORES%20EOLICOS%20EN%20VIVIENDAS%20RESIDENCIALES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía (2010). Calidad del aire interior. Recuperado de <http://www.osman.es/project/calidad-del-aire-interior-guia/>

Ochoa, C. (26 de noviembre del 2014). ¿Es mi diferencia significativa? [Blog post]. Netquest. Recuperado de <https://www.netquest.com/blog/es/blog/es/es-mi-diferencia-significativa>.

Organización Mundial de la Salud (1999). Guía para el Ruido Urbano. Recuperado de <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/965/course/section/1090/Guias%20para%20el%20ruido%20urbano.pdf>

Organización Mundial de la Salud (2004). Guías para la Calidad del aire. Recuperado de <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/fulltext/guiasaire.pdf>

Organización Mundial de la Salud (2015). Escuchar sin riesgos. Recuperado de https://www.who.int/pbd/deafness/activities/MLS_Brochure_Spanish_lowres_for_web.pdf

Perú afrontará en febrero radiación solar más alta del mundo (1 de febrero del 2017). El Comercio. Recuperado de <http://elcomercio.pe/sociedad/peru/peru-afrontara-febrero-radiacion-mas-alta-mundo-noticia-1964971>

Pezo, D. (2015). Arquitectura Bioclimática II - Ventilación natural [Power Point Slides]. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Científica del Sur. Lima. Perú.

Quelal, W. (2014). Diseño e implementación de un sistema de ventilación forzada en el techo del taller de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz de la Universidad Técnica del Norte - sector El Olivo. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/2767/1/05%20FECYT%201919%20TESIS.pdf>.

Rajkumar, S., Amirtham, L. y Horrison, E. (2015). Thermal Comfort Assessment of a Studio Classroom in Hot & Humid Climate Conditions [Evaluación del Confort Térmico en las aulas en Calurosas y Húmedas Condiciones Climáticas]. Ponencia presentada en 9th International Conference on Urban Climate en colaboración con la 12th Symposium on the Urban Environment de la International Association for Urban Climate (IAUC), Toulouse, Francia. Recuperado de http://www.meteo.fr/icuc9/LongAbstracts/poster_16-21-6591533_a.pdf

Romero, M. Principios bioclimáticos para el diseño urbano. 2ª ed. São Paulo: Pro E, 2000.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2017). Impacto de la variabilidad y cambio climático en el cultivo de maíz amarillo duro en condiciones de costa central. Recuperado de <https://senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-72.pdf>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (s.f.). Indicadores climáticos. Recuperado de <http://www.senamhi.gob.pe/?p=indicadores-clima>.

Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (2016). Defining Indoor Air Quality [Definiendo la Calidad de Aire Interior]. Recuperado de https://www.aivc.org/sites/default/files/084-087_IEQ_Bahnfleth.pdf Almeida, M., De Freitas, V. y Delgado, J. (2015). School buildings rehabilitation - Indoor environmental quality and enclosure optimization [Rehabilitación de edificios escolares – Calidad ambiental interior y optimización de recintos]. Recuperado de <http://www.springer.com/la/book/9783319153582>

Solis, G. (1994). Diseño de un ventilador eólico (Ingeniero Mecánico). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica, Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/34300/D-28533.pdf?sequence=->

1&isAllowed=yhttp://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-28533.pdf

Sulaiman, M., Wan, Y. y Wan, K. (2013). Evaluation of Indoor Environmental Quality (IEQ) on dense Academic Building: Case Studies Universiti Tun Hussein Onn Malaysia [Evaluación de la Calidad Ambiental Interior (CAI) en un edificio académico denso: caso de estudio University Tun Hussein Onn Malasia]. Recuperado de <http://www.ijsrp.org/research-paper-1301/ijsrp-p1363.pdf>

Sustainable Facilities Tool (s.f). Indoor Environmental Quality: System Overview [Calidad Ambiental Interior: Resumen del Sistema]. Recuperado de <https://sftool.gov/explore/green-building/section/30/ieq/system-overview>

U.S. Green Building Council (2014). Green Building 101: What is indoor environmental quality? [Green Building 101: ¿Qué es la calidad ambiental interior?] Recuperado de <http://www.usgbc.org/articles/green-building-101-what-indoor-environmental-quality>

Universidad Politécnica de Valencia (2015). Evaluación del confort térmico con el método de Fanger. Recuperado de <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/fanger/fanger-ayuda.php>

Vaquero, M. (2011). Calidad del Aire Interior (CAI) en las Edificaciones Hospitalarias. Recuperado de <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/836>

Vargas, F. y Gallego, I. (2005). Calidad ambiental interior: bienestar, confort y salud.

Recuperado de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272005000200011

Vargas, Z. (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con

evidencia científica. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>

Ventven S.A (2017). Soluciones integrales de ventilación 2017. Recuperado de

<http://www.ventven.com/cat-logo-2017.html>

ViviendaSaludable.es (s.f). La función de la ventana. Recuperado de

<http://www.vivienasaludable.es/confort-bienestar/aislamiento-termico/la-funcion-de-la-ventana>

Washington State University (2013). Measuring Carbon Dioxide Inside Buildings – Why

is it Important? [Medición de Dióxido de Carbono dentro de los edificios - ¿Por qué es esto importante?]. Recuperado de http://www.energy.wsu.edu/Portals/0/Documents/Measuring_CO2_Inside_Buildings-Jan2013.pdf

Yachaywasi Eco-Tecnológico (s.f.). Ficha Técnica: Extractor Eólico. Recuperado de

<http://www.yachaywasiecotecnologico.pe/yachaywasi/web/descarga.php?archivo=50&nombre=Extractor%20de%20aire%0e%F3lico&tipo=pdf>.

Yarke, E. (2005). Ventilación natural de edificios: Fundamentos y Métodos de Cálculo

para aplicación de Ingenieros y Arquitectos. Recuperado de

https://books.google.com.pe/books?id=Z4cUzMGDpl8C&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Washington State University (1991). Indoor Air Quality: Carbon Monoxide and Carbon Dioxide (AEN-125). Recuperado de <https://www.abe.iastate.edu/extension-and-outreach/indoor-air-quality-carbon-monoxide-and-carbon-dioxide-aen-125/>

Crump, D. (2001). Naturaleza y fuentes de los contaminantes químicos en el interior. Recuperado de <https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/44.pdf>

IX. ABREVIATURAS

ANOVA: Análisis de Varianza de un Factor

CAI: Calidad Ambiental Interior

CDCP: Centres for Disease Control and Prevention

CH₄: Metano

CO₂: Dióxido de Carbono

COV: Compuestos Orgánicos Volátiles

Et al.: Et alii 'y otros'

IDA: Indoor Air

IEQ: Indoor Environmental Quality

INSHT: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo

ISO: International Organization for Standardization

MVCS: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

NTP: Notas Técnicas de Prevención

OMS: Organización Mundial de la Salud

OSMAN: Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía

PMV: Predicted Mean Vote

PPD: Predicted Percentage of Dissatisfied

Ppm: Partes por millón

S.A.: Sociedad Anónima

s.f.: Sin fecha

SCHER: Comité Científico de los Riesgos Sanitarios y Ambientales

SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

UPV: Universidad Politécnica de Valencia de España

US EPA: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

USGBC: United State Green Building Council

UTM: Sistema de coordenadas transversal de Mercator.

WSU: Washington State University

X. ANEXOS

Anexo 1: Equipos de muestreo



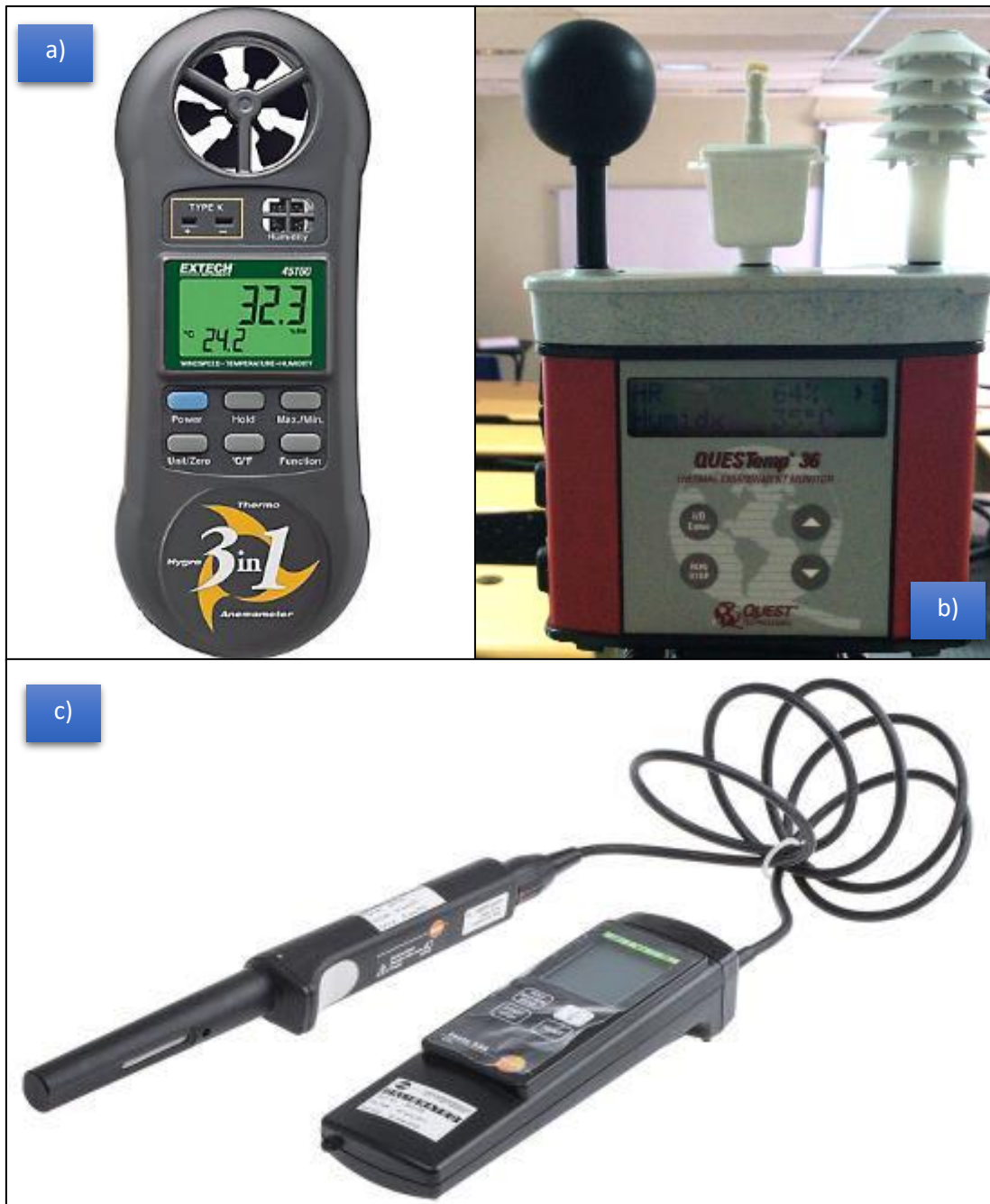


Figura 37: Los equipos utilizados durante el muestreo fueron los siguientes: a) Medidor de velocidad del viento (Termo-higro-anemómetro Extech 45160); b) Medidor de confort térmico (Quest Technologies, modelo QUESTemp[®]36.); c) Medidor de gas de CO₂ (Testo 535).

Anexo 2: Certificados de calibración de los equipos,



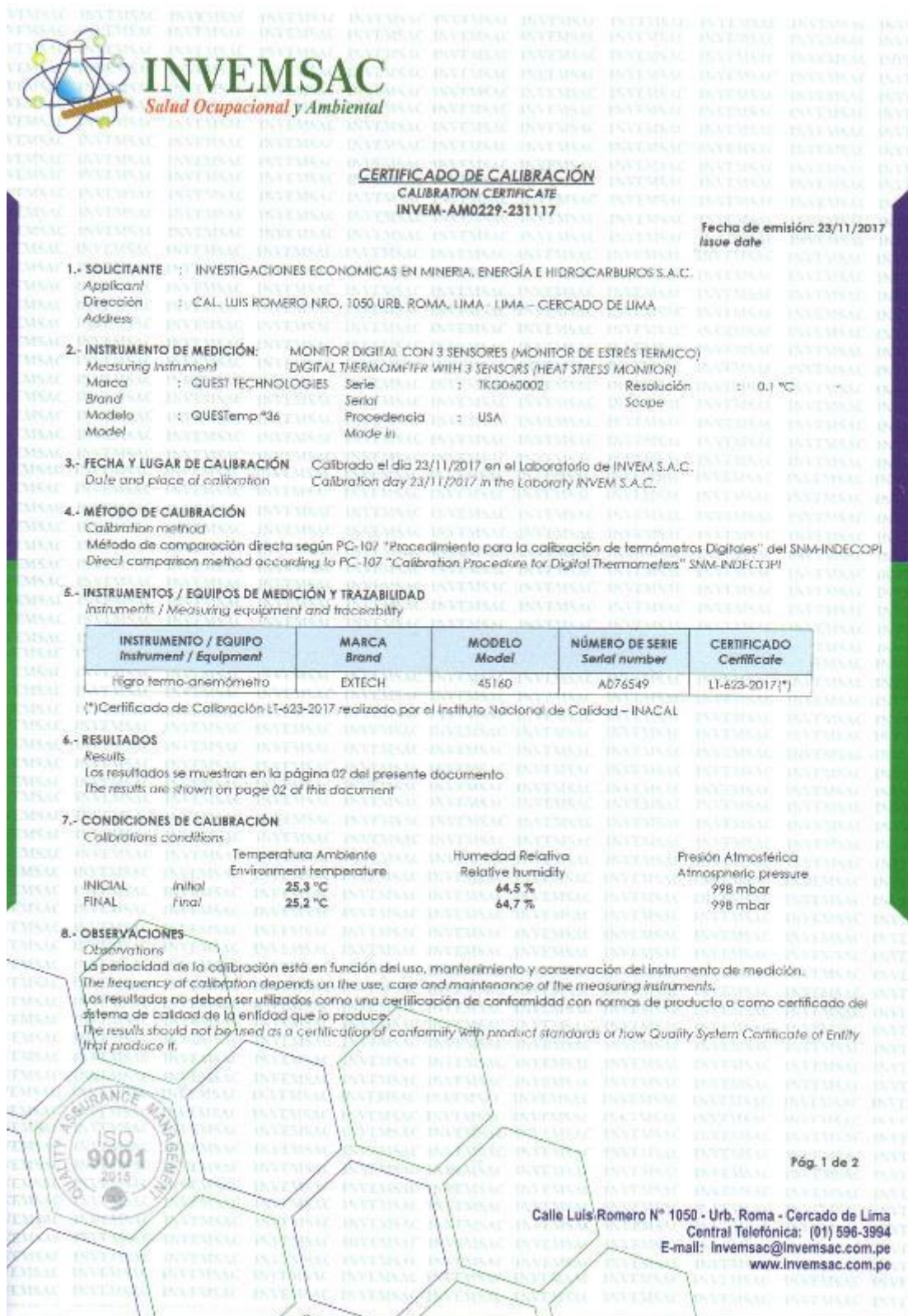



Figura 39: Certificado de calibración de monitor de estrés térmico.

Continuación...




CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
CALIBRATION CERTIFICATE
INVEM-AM0229-231117

Fecha de emisión: 23/11/2017
Issue date


9.- RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN
CALIBRATION RESULTS

WGBT (°C)	CORRECCIÓN Correction (°C)	TCV CIT (°C)	INCERTIDUMBRE UNCERTAINTY (°C)
19.8	1.1	20.9	0.3
24.2	0.8	25.0	0.3
29.1	1.1	30.2	0.3

Temperatura Convencionalmente Verdadera (TCV) = Indicación del termómetro+Corrección
Conventionally Temperature True (CTT) = Display Thermometer + Correction


Ing. JOSÉ LUIS OCHOA
 RESPONSABLE DEL ÁREA DE METROLOGÍA
 C.G.P. 579

FIN DEL DOCUMENTO
END OF DOCUMENT



Fóg. 2 de 2

Calle Luis Romero N° 1050 - Urb. Roma - Cercado de Lima
 Central Telefónica: (01) 596-3994
 E-mail: invemsac@invemsac.com.pe
www.invemsac.com.pe



INVEMSAC
Salud ocupacional y ambiental

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
CALIBRATION CERTIFICATE
INVEM-AM0162-030717

Fecha de emisión: 03/07/2017
Issue date

1.- SOLICITANTE : INVESTIGACIONES ECONÓMICAS EN MINERÍA, ENERGÍA E HIDROCARBUROS S.A.C.
Applicant
Dirección : CAL, LUIS ROMERO NRO. 1050 URB. ROMA, LIMA - LIMA - CERCADO DE LIMA
Address

2.- INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: ANEMÓMETRO
Measuring Instrument: Anemometer
Marca : EXTECH Serie : A.076549 Alcance : 0,01 m/s
Brand Serial
Modelo : 45160 Procedencia : TAIWAN
Model Made in

3.- FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN : Calibrado el día 03/07/2017 en el Laboratorio de INVEM S.A.C.
Date and place of calibration Calibration day 03/07/2017 in the Laboratory INVEM S.A.C.

4.- MÉTODO DE CALIBRACIÓN
Calibration method
Método de comparación directa según el "CUP ANEMOMETER CALIBRATION PROCEDURE" del Network of European Measuring Institutes.
Direct comparison method according to "CUP ANEMOMETER CALIBRATION PROCEDURE" del Network of European Measuring Institutes.

5.- INSTRUMENTOS / EQUIPOS DE MEDICIÓN Y TRAZABILIDAD
Instruments / Measuring equipment and traceability

INSTRUMENTO / EQUIPO Instrument / Equipment	MARCA Brand	MODELO Model	NÚMERO DE SERIE Serial number	CERTIFICADO Certificate
Higro termo-anemómetro	DAVIS	Vantage Pro2	AM140126051	Nº 014-15

6.- RESULTADOS
Results
Los resultados se muestran en la página 02 del presente documento
The results are shown on page 02 of this document

7.- CONDICIONES DE CALIBRACIÓN
Calibrations conditions

	Temperatura Ambiente Environment temperature	Humedad Relativa Relative humidity	Presión Atmosférica Atmospheric pressure
INICIAL Initial	20,4 °C	40,1 %	1000 mbar
FINAL Final	20,0 °C	40,2 %	1000 mbar

8.- OBSERVACIONES
Observations

La periodicidad de la calibración está en función del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.
The frequency of calibration depends on the use, care and maintenance of the measuring instruments.
Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
The results should not be used as a certification of conformity with product standards or how Quality System Certificate of Entity that produce it.



Msc. JOSÉ LUIS QUEQUEJANA
RESPONSABLE DEL ÁREA DE METROLOGÍA
C.C.P. 579

Av. Arenales N° 2250, Of. 6. Lince, Lima - Perú.
Central Telefónica: (511) 265-1531
Email: invemsac@invemsac.com.pe / Web: www.invemsac.com.pe

Pág. 1 de 2

Figura 40: Certificado de calibración del anemómetro.

Continuación...



INVEMSAC
Salud ocupacional y ambiental

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
CALIBRATION CERTIFICATE
INVEM-AM0162-030717

Fecha de emisión: 03/07/2017
Issue date

9.- RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN
CALIBRATION RESULTS
9.1.- VELOCIDAD VIENTO

VALOR NOMINAL Nominal value (m/s)	VALOR ENCONTRADO Value found (m/s)	DESVIACIÓN Deviation (m/s)	INCERTIDUMBRE Uncertainty (m/s)
0.910	0.930	0.020	0.200
1.300	1.320	0.020	0.200
2.450	2.460	0.010	0.200
3.820	3.850	0.030	0.200
4.510	4.530	0.020	0.200
5.230	5.260	0.030	0.200

Desviación promedio: 0.21 m/s
Incertidumbre promedio: 0.20

FIN DEL DOCUMENTO
END OF DOCUMENT

Av. Arenales N° 2250, Of. 6. Lince. Lima - Perú.
Central Telefónica: (511) 265-1531
Email: invemsac@invemsac.com.pe / Web: www.invemsac.com.pe

Pág. 2 de 2



Figura 41: Certificado de calibración del sensor de CO2.

Continuación...



INVEMSAC
Salud Ocupacional y Ambiental

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
CALIBRATION CERTIFICATE
INVEM-AM0010-230118

Fecha de emisión: 23/01/2018
Issue date

9.- RESULTADOS DE CALIBRACIÓN
CALIBRATION RESULTS

1er Punto de calibración

N°	TIPO DE GAS GAS TYPE	MEDIDA ENCONTRADA (ppm) FOUND MEASURE (ppm)	CORRECCIÓN (ppm) CORRECTION (ppm)	INCERTIDUMBRE (ppm) UNCERTAINTY (ppm)
1	CO2	0.0	0.0	+2%

2do Punto de calibración

N°	TIPO DE GAS GAS TYPE	MEDIDA ENCONTRADA (ppm) FOUND MEASURE (ppm)	CORRECCIÓN (ppm) CORRECTION (ppm)	INCERTIDUMBRE (ppm) UNCERTAINTY (ppm)
1	CO2	9990	10	+2%

Msc. JOSELUIS QUEQUEJANA
RESPONSABLE DEL ÁREA DE METROLOGÍA
C.Q.P. 579

FIN DEL DOCUMENTO
END OF DOCUMENT



Pág. 2 de 2

Calle Luis Romero N° 1050 - Urb. Roma - Cercado de Lima
Central Telefónica: (01) 596-3994
E-mail: invemsac@invemsac.com.pe
www.invemsac.com.pe

Anexo 3: Fichas de trabajo de campo.



Fecha:	Ficha de registro de Ventilación - PI 203															
Tratamientos	V1	V1	V1	A1	V2	V2	V2	A2	V3	V3	V3	A3	V4	V4	V4	A4
T1 (11am-12m)																
T2 (12m-1pm)																
T3 (1pm-2pm)																
T4 (2pm-3pm)																
T5 (3pm-4pm)																

Figura 42: Ficha de toma de datos de ventilación para el aula PI-203.

Fecha:	Ficha de registro de Ventilación - PI 204															
Tratamientos	V1	V1	V1	A1	V2	V2	V2	A2	V3	V3	V3	A3	V4	V4	V4	A4
T1 (11am-12m)																
T2 (12m-1pm)																
T3 (1pm-2pm)																
T4 (2pm-3pm)																
T5 (3pm-4pm)																

Figura 43: Ficha de toma de datos de ventilación para el aula PI-204.

Fecha:	Ficha de registro de Dióxido de Carbono (ppm) - PI 203						
Tratamientos	[CO ₂ int]			[CO ₂ ext]			[CO ₂]
T1 (11am-12m)							
T2 (12m-1pm)							
T3 (1pm-2pm)							
T4 (2pm-3pm)							
T5 (3pm-4pm)							

Figura 44: Ficha de toma de datos de dióxido de carbono para el aula PI-203.

Fecha:	Ficha de registro de Dióxido de Carbono (ppm) - PI 204						
Tratamientos	[CO ₂ int]			[CO ₂ ext]			[CO ₂]
T1 (11am-12m)							
T2 (12m-1pm)							
T3 (1pm-2pm)							
T4 (2pm-3pm)							
T5 (3pm-4pm)							

Figura 45: Ficha de toma de datos de dióxido de carbono para el aula PI-204.

Fecha:	Ficha de registro de Confort térmico - PI 203								
Tratamientos	H.R (%)	H.R (%)	H.R (%)	T.Seca (°C)	T.Seca (°C)	T.Seca (°C)	T. Globo (°C)	T. Globo (°C)	T. Globo (°C)
T1 (11am-12m)									
T2 (12m-1pm)									
T3 (1pm-2pm)									
T4 (2pm-3pm)									
T5 (3pm-4pm)									

Figura 46: Ficha de toma de datos de confort térmico para el aula PI-203.

Fecha:	Ficha de registro de Confort térmico - PI 204								
Tratamientos	H.R (%)	H.R (%)	H.R (%)	T.Seca (°C)	T.Seca (°C)	T.Seca (°C)	T. Globo (°C)	T. Globo (°C)	T. Globo (°C)
T1 (11am-12m)									
T2 (12m-1pm)									
T3 (1pm-2pm)									
T4 (2pm-3pm)									
T5 (3pm-4pm)									

Figura 47: Ficha de toma de datos de confort térmico para el aula PI-204.

Anexo 4: Registro fotográfico.





Figura 48: Vista externa del aula PI-203.

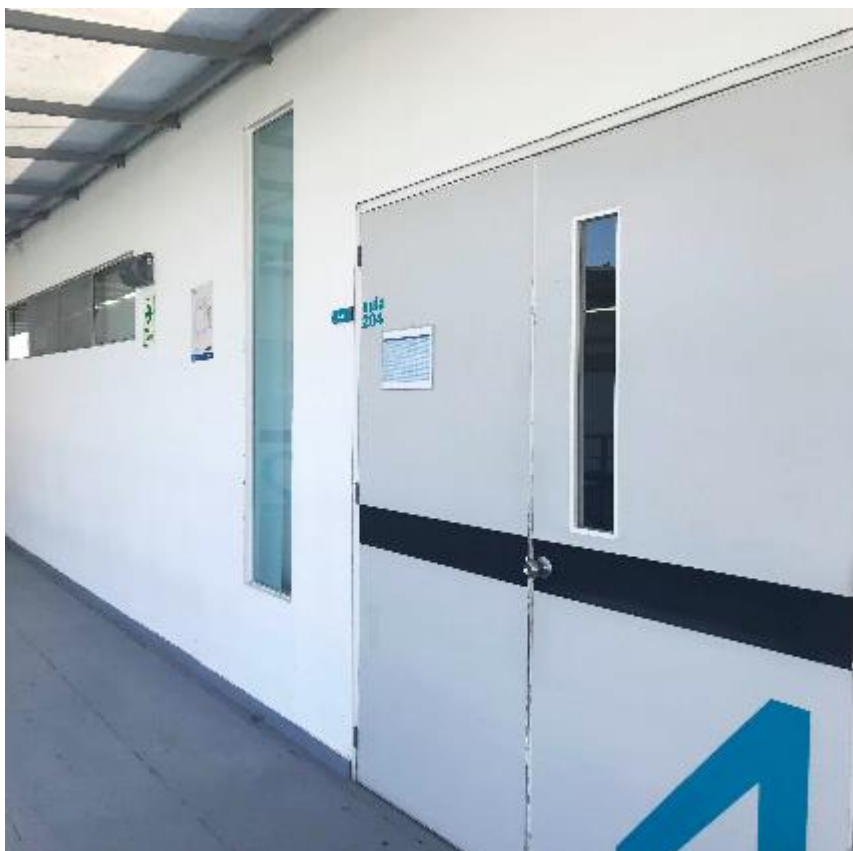


Figura 49: Vista externa del aula PI-204.



Figura 50: Vista externa de los 3 extractores eólicos instalados en el aula PI-203.



Figura 51: Vista interna del aula PI-203, la cual se diferencia del PI-204 por los tres conductos de los extractores eólicos en el techo.



Figura 52: Vista panorámica del sistema de ventilación de puerta y ventanas cerradas (T1).



Figura 53: Monitoreo de velocidad del viento en cada una de las entradas del aula.



Figura 54: Monitoreo de confort térmico en el aula. Se realizaron 3 mediciones a diferente nivel dentro del salón: bajo, medio y alto



Figura 55: Monitoreo de dióxido de carbono interior.



Figura 56: Monitoreo de dióxido de carbono exterior.



Figura 57: Registro fotográfico del último día de monitoreo (09 feb). Se presenta bastante nubosidad desde las primeras horas de monitoreo.

Anexo 5: Detalle de resultados finales.



Tabla 8: Resultados del muestreo de CO₂, PVM y ventilación de las dos aulas en el día 01 (05 feb de 2018)

PI-203				
Tratamientos	[CO ₂ int]	[CO ₂ ext]	[CO ₂]	CO ₂ *40
T1	796	457	339	2 260
T2	817	392	425	2 833
T3	688	430	258	1 720
T4	463	424	39	260
T5	469	417	52	347
PI-204				
Tratamientos	[CO ₂ int]	[CO ₂ ext]	[CO ₂]	CO ₂ *40
T1	793	457	336	2 240
T2	1144	392	752	5 013
T3	772	430	342	2 280
T4	566	424	142	947
T5	549	417	132	880

PI-203										
Tratamientos	Prom. H.R(%)	Prom. T. Aire (°C)	Prom. T. Globo(°C)	T. Radiante	Aislamiento de la vestimenta (clo)	Tasa Metabólica (met)	Velocidad Relativa del Aire	Prom. Vel. Aire (m/s)	PMV	PPD (%)
T1	68	27	27	27	0,67	1,2	0,1	0,0	0,90	22,10
T2	67	28	28	28	0,67	1,2	0,2	0,2	1,19	34,76
T3	62	28	28	29	0,67	1,2	0,2	0,2	1,11	30,97
T4	63	27	27	27	0,67	1,2	0,4	0,4	0,68	14,72
T5	68	25	26	30	0,67	1,2	2,1	1,9	-0,15	5,47
PI-204										
Tratamientos	Prom. H.R(%)	Prom. T. Aire (°C)	Prom. T. Globo(°C)	T. Radiante	Aislamiento de la vestimenta (clo)	Tasa Metabólica (met)	Velocidad Relativa del Aire	Prom. Vel. Aire (m/s)	PMV	PPD (%)
T1	70	27	27	27	0,67	1,2	0,1	0,0	1,12	31,43
T2	68	28	28	28	0,67	1,2	0,3	0,1	1,33	41,82
T3	61	28	28	28	0,67	1,2	0,2	0,2	1,14	32,37
T4	63	26	27	28	0,67	1,2	0,3	0,2	0,79	18,16
T5	68	25	25	26	0,67	1,2	2,1	1,5	-0,33	7,26

PI-203										
Tratamientos	Nº personas	Vol. aula	Q1	Q2	Q3	Q4	QT (m3/s)	QT (m3/h)	Q x per	R
T1	40	163,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
T2	40	163,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,4	1 319,0	33,0	8
T3	40	163,2	0,0	0,2	0,1	0,4	0,7	2 411,8	60,3	15
T4	40	163,2	0,5	0,9	0,6	0,5	2,5	9 105,5	227,6	56
T5	40	163,2	3,3	2,2	3,0	3,3	11,8	42 421,7	1 060,5	260
PI-204										
Tratamientos	Nº personas	Vol. aula	Q1	Q2	Q3	Q4	QT (m3/s)	QT (m3/h)	Q x per	R
T1	40	163,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
T2	40	163,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	791,4	19,8	5
T3	40	163,2	0,0	0,3	0,0	0,0	0,3	952,6	23,8	6
T4	40	163,2	0,5	0,3	0,0	0,0	0,8	2 799,2	70,0	17
T5	40	163,2	2,8	1,9	0,0	0,0	4,7	16 828,7	420,7	103

Tabla 9: Resultados del muestreo de CO₂, PVM y ventilación de las dos aulas en el día 02 (06 feb de 2018).

PI-203				
Tratamientos	[CO ₂ int]	[CO ₂ ext]	[CO ₂]	CO ₂ *40
T1	636	409	227	1 513
T2	780	427	353	2 353
T3	543	427	116	773
T4	517	442	75	500
T5	500	416	84	560
PI-204				
Tratamientos	[CO ₂ int]	[CO ₂ ext]	[CO ₂]	CO ₂ *40
T1	684	409	275	1 833
T2	926	427	499	3 327
T3	598	427	171	1 140
T4	570	442	128	853
T5	560	416	144	960

PI-203										
Tratamientos	Prom. H.R(%)	Prom. T. Aire (°C)	Prom. T. Globo(°C)	T. Radiante	Aislamiento de la vestimenta (clo)	Tasa Metabólica (met)	Velocidad Relativa del Aire	Prom. Vel. Aire (m/s)	PMV	PPD (%)
T1	67	29	28	28	0,67	1,2	0,1	0,0	1,53	52,53
T2	64	28	30	32	0,67	1,2	0,3	0,3	1,53	52,53
T3	63	29	29	29	0,67	1,2	0,2	0,2	1,46	48,73
T4	60	28	28	29	0,67	1,2	0,7	0,6	0,99	25,7
T5	64	26	27	29	0,67	1,2	1,8	1,7	0,13	5,35

PI-204										
Tratamientos	Prom. H.R(%)	Prom. T. Aire (°C)	Prom. T. Globo(°C)	T. Radiante	Aislamiento de la vestimenta (clo)	Tasa Metabólica (met)	Velocidad Relativa del Aire	Prom. Vel. Aire (m/s)	PMV	PPD (%)
T1	66	30	31	31	0,67	1,2	0,1	0,0	2,07	78,82
T2	63	29	30	30	0,67	1,2	0,1	0,0	1,76	64,94
T3	61	29	30	32	0,67	1,2	0,5	0,4	1,66	59,6
T4	60	29	29	29	0,67	1,2	0,4	0,3	1,37	43,92
T5	65	27	27	29	0,67	1,2	1,3	1,2	0,56	11,57

PI-203										
Tratamientos	Nº personas	Vo.l aula	Q1	Q2	Q3	Q4	QT (m3/s)	QT (m3/h)	Q x per	R
T1	40	163,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
T2	40	163,2	0,6	0,0	0,0	0,0	0,6	2 110,5	52,8	13
T3	40	163,2	0,0	0,3	0,3	0,4	1,0	3 716,2	92,9	23
T4	40	163,2	2,1	1,6	0,1	0,2	4,0	14 304,2	357,6	88
T5	40	163,2	2,3	2,4	2,7	2,8	10,1	36 405,9	910,1	223

PI-204										
Tratamientos	Nº personas	Vo.l aula	Q1	Q2	Q3	Q4	QT (m3/s)	QT (m3/h)	Q x per	R
T1	40	163,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
T2	40	163,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	263,8	6,6	2
T3	40	163,2	0,0	0,5	0,0	0,0	0,5	1 633,0	40,8	10
T4	40	163,2	0,9	0,3	0,0	0,0	1,1	4 118,3	103,0	25
T5	40	163,2	2,6	1,4	0,0	0,0	4,1	14 668,1	366,7	90

Tabla 10: Resultados del muestreo de CO₂, PVM y ventilación de las dos aulas en el día 03 (07 feb de 2018).

PI-203				
Tratamientos	[CO ₂ int]	[CO ₂ ext]	[CO ₂]	CO ₂ *40
T1	794	404	390	2 600
T2	575	409	166	1 107
T3	476	401	75	500
T4	449	405	44	293
T5	450	409	41	273
PI-204				
Tratamientos	[CO ₂ int]	[CO ₂ ext]	[CO ₂]	CO ₂ *40
T1	959	404	555	3 700
T2	663	409	254	1 693
T3	502	401	101	673
T4	496	405	91	607
T5	434	409	25	167

PI-203										
Tratamientos	Prom. H.R(%)	Prom. T. Aire (°C)	Prom. T. Globo(°C)	T. Radiante	Aislamiento de la vestimenta (clo)	Tasa Metabólica (met)	Velocidad Relativa del Aire	Prom. Vel. Aire (m/s)	PMV	PPD (%)
T1	67	28	28	28	0,67	1,2	0,1	0,0	1,38	44,45
T2	60	29	30	31	0,67	1,2	0,2	0,2	1,68	60,68
T3	60	29	30	30	0,67	1,2	0,3	0,2	1,55	53,62
T4	63	28	29	30	0,67	1,2	0,7	0,7	1,07	29,16
T5	64	27	28	30	0,67	1,2	1,9	1,8	0,50	10,23
PI-204										
Tratamientos	Prom. H.R(%)	Prom. T. Aire (°C)	Prom. T. Globo(°C)	T. Radiante	Aislamiento de la vestimenta (clo)	Tasa Metabólica (met)	Velocidad Relativa del Aire	Prom. Vel. Aire (m/s)	PMV	PPD (%)
T1	69	28	29	29	0,67	1,2	0,1	0,0	1,53	52,53
T2	61	29	30	31	0,67	1,2	0,2	0,1	1,68	60,68
T3	65	28	29	30	0,67	1,2	0,8	0,7	1,09	30,06
T4	63	28	29	31	0,67	1,2	0,6	0,5	1,27	38,74
T5	63	28	29	31	0,67	1,2	1,6	1,5	1,02	26,97

PI-203										
Tratamientos	Nº personas	Vo.l aula	Q1	Q2	Q3	Q4	QT (m3/s)	QT (m3/h)	<i>Q x per</i>	<i>R</i>
T1	40	163,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
T2	40	163,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,4	1 582,8	39,6	10
T3	40	163,2	0,0	0,2	0,4	0,4	1,0	3 547,2	88,7	22
T4	40	163,2	2,4	1,4	0,1	0,8	4,6	16 607,4	415,2	102
T5	40	163,2	3,3	2,9	2,3	2,5	11,0	39 616,1	990,4	243
PI-204										
Tratamientos	Nº personas	Vo.l aula	Q1	Q2	Q3	Q4	QT (m3/s)	QT (m3/h)	<i>Q x per</i>	<i>R</i>
T1	40	163,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
T2	40	163,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,3	1 055,2	26,4	6
T3	40	163,2	0,0	0,8	0,0	0,0	0,8	2 857,7	71,4	18
T4	40	163,2	0,9	0,7	0,0	0,0	1,6	5 615,1	140,4	34
T5	40	163,2	2,9	2,0	0,0	0,0	4,9	17 628,5	440,7	108

Tabla 11: Resultados del muestreo de CO₂, PVM y ventilación de las dos aulas en el día 04 (08 feb de 2018).

PI-203				
Tratamientos	[CO ₂ int]	[CO ₂ ext]	[CO ₂]	CO ₂ *40
T1	600	412	188	1 253
T2	663	442	221	1 473
T3	493	401	92	613
T4	494	420	74	493
T5	500	412	88	587
PI-204				
Tratamientos	[CO ₂ int]	[CO ₂ ext]	[CO ₂]	CO ₂ *40
T1	834	412	422	2 813
T2	889	442	447	2 980
T3	533	401	132	880
T4	554	420	134	893
T5	518	412	106	707

PI-203										
Tratamientos	Prom. H.R(%)	Prom. T. Aire (°C)	Prom. T. Globo(°C)	T. Radiante	Aislamiento de la vestimenta (clo)	Tasa Metabólica (met)	Velocidad Relativa del Aire	Prom. Vel. Aire (m/s)	PMV	PPD (%)
T1	68	27	28	28	0,67	1,2	0,1	0,0	1,23	36,73
T2	63	28	28	29	0,67	1,2	0,2	0,1	1,42	46,58
T3	65	27	27	28	0,67	1,2	0,3	0,2	0,99	25,7
T4	67	26	26	26	0,67	1,2	0,3	0,2	0,59	12,3
T5	67	26	26	28	0,67	1,2	1,8	1,7	0,07	5,1

PI-204										
Tratamientos	Prom. H.R(%)	Prom. T. Aire (°C)	Prom. T. Globo(°C)	T. Radiante	Aislamiento de la vestimenta (clo)	Tasa Metabólica (met)	Velocidad Relativa del Aire	Prom. Vel. Aire (m/s)	PMV	PPD (%)
T1	71	27	28	28	0,67	1,2	0,1	0,0	1,26	38,23
T2	64	28	29	29	0,67	1,2	0,1	0,0	1,43	47,12
T3	65	27	28	29	0,67	1,2	0,2	0,1	1,28	39,24
T4	67	26	27	27	0,67	1,2	0,2	0,1	0,89	21,72
T5	68	26	26	27	0,67	1,2	1,3	1,2	0,13	5,35

PI-203										
Tratamientos	Nº personas	Vo.l aula	Q1	Q2	Q3	Q4	QT (m3/s)	QT (m3/h)	Q x per	R
T1	40	163,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
T2	40	163,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,3	1 055,2	26,4	6
T3	40	163,2	0,0	0,0	0,2	0,2	0,5	1 637,5	40,9	10
T4	40	163,2	0,4	0,4	0,3	0,3	1,4	5 195,8	129,9	32
T5	40	163,2	2,6	2,5	2,8	2,7	10,6	38 057,0	951,4	233

PI-204										
Tratamientos	Nº personas	Vo,l aula	Q1	Q2	Q3	Q4	QT (m3/s)	QT (m3/h)	Q x per	R
T1	40	163,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
T2	40	163,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	263,8	6,6	2
T3	40	163,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	544,3	13,6	3
T4	40	163,2	0,3	0,2	0,0	0,0	0,4	15 99,6	40,0	10
T5	40	163,2	2,2	1,4	0,0	0,0	3,6	12 949,2	323,7	79

Tabla 12: Resultados del muestreo de CO₂, PVM y ventilación de las dos aulas en el día 05 (09 feb de 2018).

PI-203				
Tratamientos	[CO ₂ int]	[CO ₂ ext]	[CO ₂]	CO ₂ *40
T1	733	425	308	2 053
T2	639	427	212	1 413
T3	461	421	40	267
T4	453	401	52	347
T5	482	406	76	507
PI-204				
Tratamientos	[CO ₂ int]	[CO ₂ ext]	[CO ₂]	CO ₂ *40
T1	663	425	238	1 587
T2	719	427	292	1 947
T3	545	421	124	827
T4	470	401	69	460
T5	496	406	90	600

PI-203										
Tratamientos	Prom, H,R(%)	Prom, T, Aire (°C)	Prom, T, Globo(°C)	T, Radiante	Aislamiento de la vestimenta (clo)	Tasa Metabólica (met)	Velocidad Relativa del Aire	Prom, Vel, Aire (m/s)	PMV	PPD (%)
T1	72	26	26,5	27	0,67	1,2	0,1	0,0	0,98	25,29
T2	63	27	27,1	27	0,67	1,2	0,1	0,0	1,07	29,16
T3	64	26	26,8	27	0,67	1,2	0,1	0,1	0,87	20,98
T4	62	27	27,2	28	0,67	1,2	0,3	0,2	0,97	24,87
T5	63	27	27,5	28	0,67	1,2	1,5	1,4	0,49	10,02
PI-204										
Tratamientos	Prom, H,R(%)	Prom, T, Aire (°C)	Prom, T, Globo(°C)	T, Radiante	Aislamiento de la vestimenta (clo)	Tasa Metabólica (met)	Velocidad Relativa del Aire	Prom, Vel, Aire (m/s)	PMV	PPD (%)
T1	69	27	28	28	0,67	1,2	0,1	0,0	1,24	37,22
T2	64	28	29	29	0,67	1,2	0,1	0,0	1,48	49,81
T3	64	27	28	28	0,67	1,2	0,2	0,1	1,14	32,37
T4	61	27	27	26	0,67	1,2	0,2	0,1	0,86	20,61
T5	62	28	28	28	0,67	1,2	0,9	0,9	0,81	18,84

PI-203										
Tratamientos	Nº personas	Vo,l aula	Q1	Q2	Q3	Q4	QT (m3/s)	QT (m3/h)	Q x per	R
T1	40	163,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
T2	40	163,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	263,8	6,6	2
T3	40	163,2	0,0	0,0	0,3	0,2	0,6	2 012,9	50,3	12
T4	40	163,2	1,7	0,1	0,1	0,1	2,0	7 038,9	176,0	43
T5	40	163,2	2,3	2,1	2,2	2,0	8,6	31 000,6	775,0	190
PI-204										
Tratamientos	Nº personas	Vo,l aula	Q1	Q2	Q3	Q4	QT (m3/s)	QT (m3/h)	Q x per	R
T1	40	163,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
T2	40	163,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	263,8	6,6	2
T3	40	163,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	408,2	10,2	3
T4	40	163,2	0,3	0,1	0,0	0,0	0,4	1 327,4	33,2	8
T5	40	163,2	2,4	0,7	0,0	0,0	3,1	11 291,2	282,3	69

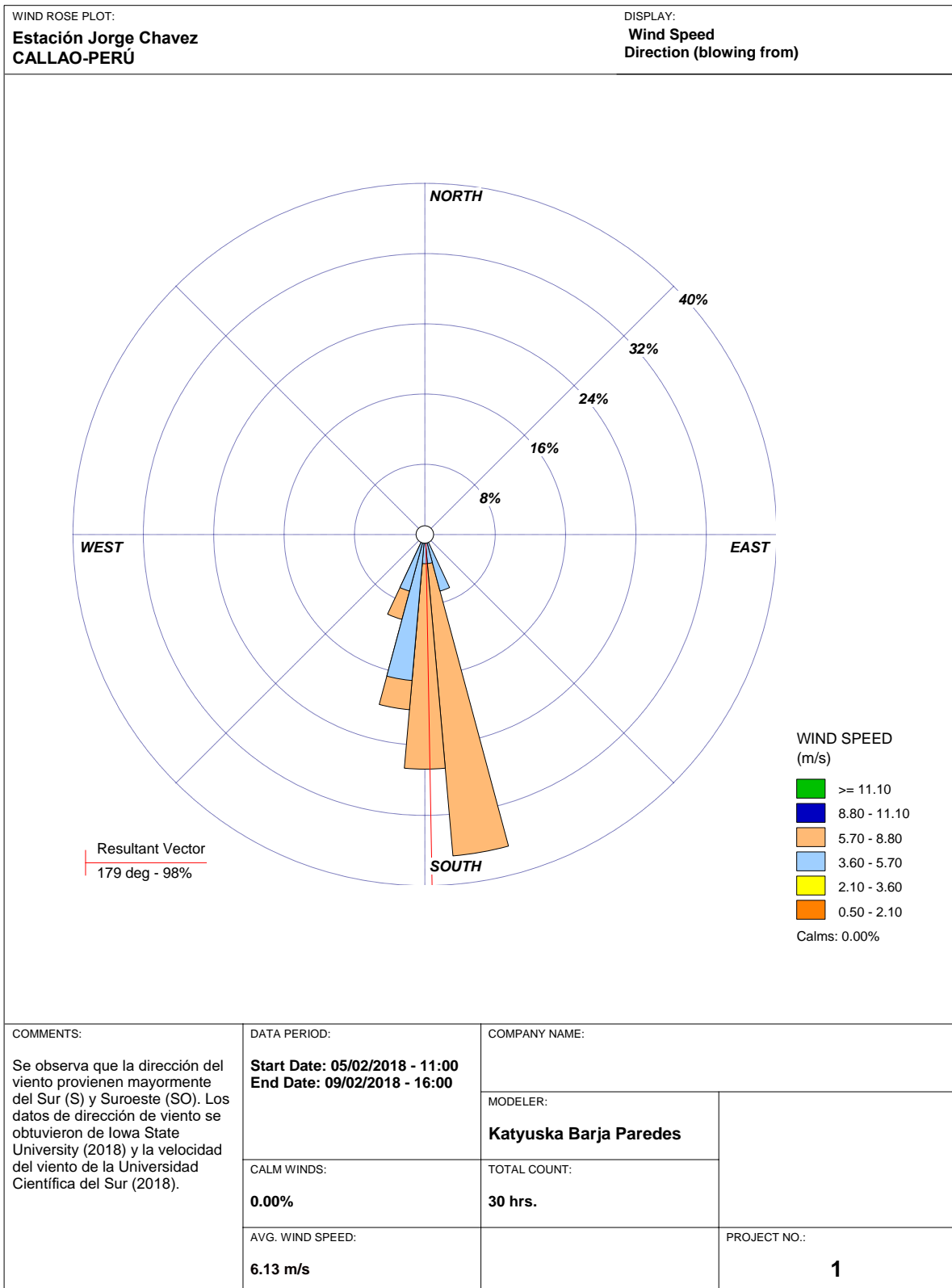
Tabla 13: Resultados meteorológicos finales por día (entre las 11-14 hrs.).

		Temperatura del aire	Humedad Relativa	Velocidad del viento	Dirección del viento(*)
Fecha	Hora	°C	%	m/s	grados
05/02/2018	11:00	22,3	89	8	170
	11:30	22,8	86	6,4	-
	12:00	23,3	85	6,4	180
	12:30	23,3	84	8	-
	13:00	23,3	84	8	170
	13:30	23,1	85	8	-
	14:00	22,7	86	8	180
	14:30	23	85	8	-
	15:00	22,6	88	8	170
	15:30	22,1	89	8	-
06/02/2018	16:00	21,9	90	8	180
	11:00	22,7	89	6,4	170
	11:30	22,9	89	6,4	-
	12:00	23,1	89	6,4	180
	12:30	23,1	88	6,4	-
	13:00	22,8	89	6,4	180
	13:30	23,7	86	6,4	-

	14:00	23,7	86	6,4	170
	14:30	23,8	84	6,4	-
	15:00	23,9	85	6,4	190
	15:30	24,1	84	6,4	-
	16:00	23,3	86	6,4	200
07/02/2018	11:00	23,5	86	6,4	170
	11:30	24	84	6,4	-
	12:00	23,7	86	6,4	170
	12:30	23,9	85	6,4	-
	13:00	24,1	84	6,4	180
	13:30	24,2	86	6,4	-
	14:00	24,1	84	6,4	180
	14:30	24,3	84	6,4	-
	15:00	24,3	83	6,4	170
	15:30	24,1	85	6,4	-
16:00	24	85	8	170	
08/02/2018	11:00	21,5	93	4,8	160
	11:30	21,9	91	4,8	-
	12:00	22,1	90	6,4	170
	12:30	21,8	91	6,4	-
	13:00	21,8	91	4,8	180
	13:30	21,9	90	6,4	-
	14:00	22	89	4,8	190
	14:30	21,9	90	4,8	-
	15:00	21,6	91	4,8	190
	15:30	21,4	91	4,8	-
16:00	21,3	91	4,8	200	
09/02/2018	11:00	21	93	4,8	170
	11:30	21,1	92	4,8	-
	12:00	21,8	90	4,8	160
	12:30	21,8	89	4,8	-
	13:00	21,6	90	4,8	190
	13:30	21,6	88	6,4	-
	14:00	22,1	88	4,8	190
	14:30	21,8	89	4,8	-
	15:00	22	88	4,8	190
	15:30	22,4	87	4,8	-
16:00	22,8	85	4,8	200	

(*) Data de Iowa State University (2018)

FUENTE: Estación meteorológica de la Universidad Científica del Sur (2018).



WRPLOT View - Lakes Environmental Software

Figura 58: Rosa de viento del día 05 al 09 de febrero (11-16 hrs).
FUENTE: Elaboración propia mediante el software WRPLOT View.

Anexo 6: Detalle de resultados estadísticos



Tabla 14: Prueba T-student para comparación entre las aulas.

Prueba de muestras independientes

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig,	t	gl	Sig, (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
CO2	Se asumen varianzas iguales	2,823	,099	-1,692	48	,097	-73,72000	43,57227	-161,32792	13,88792
	No se asumen varianzas iguales			-1,692	41,888	,098	-73,72000	43,57227	-161,65937	14,21937
CO2_40	Se asumen varianzas iguales	2,321	,134	-1,811	48	,076	-524,36000	289,52225	-1106,48349	57,76349
	No se asumen varianzas iguales			-1,811	42,484	,077	-524,36000	289,52225	-1108,44240	59,72240
PMV	Se asumen varianzas iguales	,019	,891	-1,246	48	,219	-1,17520	,14059	-,45788	,10748
	No se asumen varianzas iguales			-1,246	47,928	,219	-1,17520	,14059	-,45789	,10749
QE	Se asumen varianzas iguales	15,578	,000	2,061	48	,045	161,54800	78,37142	3,97171	319,12429
	No se asumen varianzas iguales			2,061	31,313	,048	161,54800	78,37142	1,77317	321,32283

R	Se asumen varianzas iguales	15,676	,000	2,064	48	,044	39,64000	19,20450	1,02676	78,25324
	No se asumen varianzas iguales			2,064	31,283	,047	39,64000	19,20450	,48649	78,79351

Estadísticas de grupo

	Aula	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
CO2	PI-203	25	164,0400	121,10515	24,22103
	PI-204	25	237,7600	181,09971	36,21994
CO2_40	PI-203	25	1075,9200	818,68252	163,73650
	PI-204	25	1600,2800	1193,87487	238,77497
PMV	PI-203	25	,9692	,48732	,09746
	PI-204	25	1,1444	,50662	,10132
QE	PI-203	25	259,4080	364,44889	72,88978
	PI-204	25	97,8600	143,97562	28,79512
R	PI-203	25	63,6400	89,33266	17,86653
	PI-204	25	24,0000	35,21363	7,04273

FUENTE: Elaboración propia mediante software SPSS.

Tabla 15: Prueba ANOVA para comparación de tratamientos del aula PI-203.

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig,
CO2	Entre grupos	721843,400	4	180460,850	16,736	,000
	Dentro de grupos	485215,100	45	10782,558		
	Total	1207058,500	49			
CO2_40	Entre grupos	32169450,200	4	8042362,550	16,785	,000
	Dentro de grupos	21561346,300	45	479141,029		
	Total	53730796,500	49			
PMV	Entre grupos	8,071	4	2,018	21,765	,000
	Dentro de grupos	4,172	45	,093		
	Total	12,243	49			
QE	Entre grupos	2973412,545	4	743353,136	32,225	,000
	Dentro de grupos	1038056,687	45	23067,926		

Total	4011469,232	49			
R	Entre grupos	178375,280	4	44593,820	32,080
	Dentro de grupos	62554,100	45	1390,091	
	Total	240929,380	49		

FUENTE: Elaboración propia mediante software SPSS.

Tabla 16: Prueba de Correlación de Pearson entre variables.

		Correlaciones				
		CO2	CO2_40	PMV	QE	R
CO2	Correlación de Pearson	1	,997**	,473**	-,469**	-,468**
	Sig, (bilateral)		,000	,001	,001	,001
	N	50	50	50	50	50
CO2_40	Correlación de Pearson	,997**	1	,472**	-,473**	-,473**
	Sig, (bilateral)	,000		,001	,001	,001
	N	50	50	50	50	50
PMV	Correlación de Pearson	,473**	,472**	1	-,734**	-,734**
	Sig, (bilateral)	,001	,001		,000	,000
	N	50	50	50	50	50
QE	Correlación de Pearson	-,469**	-,473**	-,734**	1	1,000**
	Sig, (bilateral)	,001	,001	,000		,000
	N	50	50	50	50	50
R	Correlación de Pearson	-,468**	-,473**	-,734**	1,000**	1
	Sig, (bilateral)	,001	,001	,000	,000	
	N	50	50	50	50	50

** , La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral),

FUENTE: Elaboración propia mediante software SPSS.