



Análisis del caudal de aire en espacios educativos para la prevención del COVID 19.

Flores Flores W.E.

Revista de Arquitectura y Urbanismo Taypi Vol. 1, N°1 / Pag. 54-64

Doi: 10.5281/zenodo.7111954

Recibido 30/06/2022

Aceptado 29/07/2022


Ensayo científico


ANÁLISIS DEL CAUDAL DE AIRE EN ESPACIOS EDUCATIVOS PARA LA PREVENCIÓN DEL COVID 19.

AIRFLOW ANALYSIS IN EDUCATIONAL SPACES FOR THE PREVENTION OF COVID 19.

Flores Flores W. E.

Universidad Nacional del Altiplano, Perú.

 0000-0002-3072-2683

 wily.ewff.94@gmail.com

Cita este artículo

Flores Flores, W.E., (2022). Análisis del caudal de aire en espacios educativos para la prevención del COVID 19. *Revista de Arquitectura y Urbanismo Taypi*, 1(1), 54-64. Doi: 10.5281/zenodo.7111954

Planteamiento

El caudal de aire es la cantidad de aire que entra en el ambiente por unidad de tiempo, expresada de la siguiente manera: m^3/s o l/s ; donde m^3 es el volumen de aire, s es la unidad de tiempo en segundos, y l son litros (Norma Técnica EM O.30, 2020). Además, RITE (2007) afirma que para garantizar la calidad del aire interior en los edificios en los que residen las personas, es necesario eliminar los contaminantes de los edificios, proporcionar un suministro adecuado de aire exterior y, por tanto, la posibilidad de extraer y eliminar el aire viciado. Asimismo, Meiss, Feijó y Padilla (2016) señalan que conocer el caudal de ventilación natural de un edificio permite entender la interacción del edificio y su propio contexto.

Por otro lado, Campo y Teres (2012) determinan que el caudal de aire tiene como fin ventilar un edificio, ofreciendo condiciones higiénicas y de salud. (Park y Song, 2021) indican que, sin una ventilación adecuada, pueden propagarse virus como el SARS-CoV-2 (COVID-19). En marzo de 2020, se declaró una emergencia de salud pública debido a la propagación del COVID-19 y una de las medidas para combatir la enfermedad fue la suspensión de las clases académicas presenciales, optándose por el aprendizaje virtual (Mares et al., 2022). En un intento de revertir esta crisis, Naciones Unidas (2020) propuso la reapertura de escuelas para revertir el atraso educativo.

Según la RM N° 121.2021-MINEDU (2021) del Perú, se establecen principios y condiciones, para un retorno a clases gradual y con el debido cumplimiento de protocolos frente al COVID-19. En 2022, según RR N° 1068-2022-R.-UNA (2022), se aprueba el retorno a clases semipresenciales y presenciales en la Universidad Nacional del Altiplano (UNA). Por esta razón, asegurar un caudal de aire óptimo, resulta pertinente para un regreso seguro a clases en los ambientes de la UNA Puno.

En estos tiempos, la ventilación en el interior de las aulas debe ser preferentemente natural, dando importancia a la ventilación cruzada (Sotres, 2020). De acuerdo con la Norma Técnica E.M. 0.30 (2020), se establece valores mínimos de caudal de aire que se rige principalmente según la norma ASHRAE 62.1, el valor para Aulas y laboratorios Universitarios es $5 l/s \cdot persona$. En este sentido, conocer el caudal de aire es imperativo para la correcta calidad de aire en las aulas, por lo que surge la pregunta: ¿El caudal de aire dentro en las aulas de la Escuela Profesional de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional del altiplano de Puno cumple con la normativa vigente?

Desarrollo

El Objeto de estudio es la Escuela Profesional de Arquitectura y Urbanismo (EPAU), se emplaza dentro de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, esta a su vez, se encuentra en el departamento de Puno, provincia de Puno, distrito de Puno, al Norte de la ciudad de Puno, en la Av. Sesquicentenario N.º 1150. La EPAU tiene como coordenadas $15^{\circ}49'29.3''$ Sur $70^{\circ}00'55.2''$ Oeste, un área aproximada de $2210.00 m^2$ y posee un total de 4 pisos.

El levantamiento de datos se realizó en los 4 pisos de la EPAU de la siguiente manera: en el primer piso se tomaron muestras en las aulas 102, 104 y 105; en el segundo piso de las aulas 201, 202, 203, 205 y 206; en el tercer piso se tuvo las aulas 301, 302, 305 y 306 y, por último, en el cuarto piso de las aulas 401 y 402. En total se tomaron muestras de 14 salones.

Figura 1.
Plantas arquitectónicas del objeto de estudio

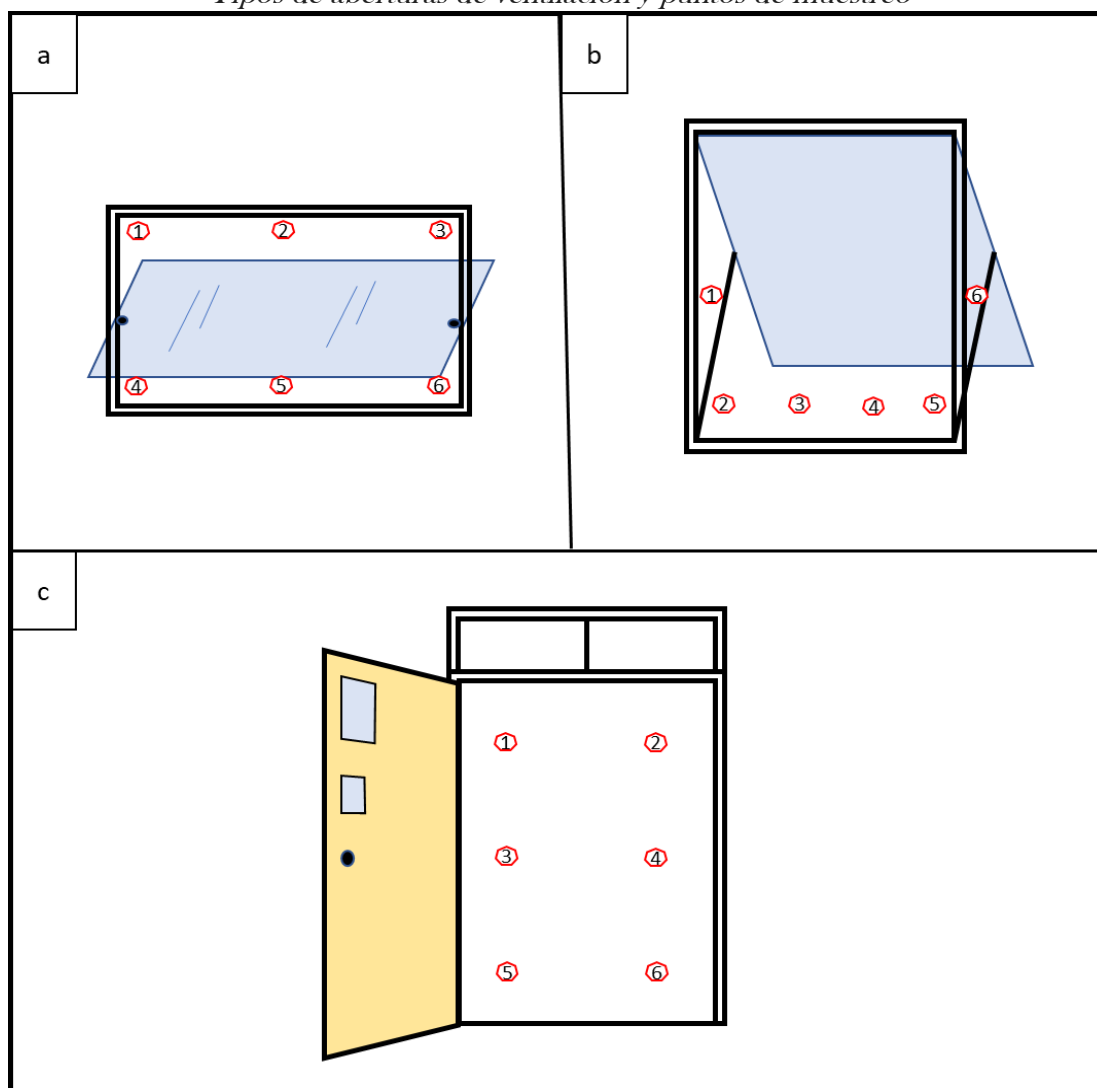


Nota. El gráfico representa las aulas donde se hicieron las mediciones por cada piso en el objeto de estudio. (a) Primer piso, (b) Segundo piso, (c) Tercer piso y (d) Cuarto piso.

Se formaron cuadrillas para la recolección de datos. Se hizo el registro de la información en fichas tomando en cuenta datos de flujo de aire, temperatura, área de abertura de ventilación, aforo, denominación del aula, periodo de medición, fecha y croquis de ubicación de los vanos de ventilación.

Para esta investigación se usaron 3 anemómetros UNI-T UT363BT que tienen una precisión de $\pm 5\% \text{ rdg} + 0,5$. Estos son anemómetros de hélice, que vienen a ser instrumentos usados para la medición de la velocidad del aire de forma directa, consta de una hélice rodeada de una de una estructura circular para que el flujo de aire circule (Zúñiga y Moreno, 2017). Se usó una wincha Stanley de 3/4X5MT 30-615 para la medición de las dimensiones de las aberturas de ventilación. Las mediciones se realizaron durante 2 días en los siguientes periodos de tiempo: mañana, tarde y noche. Para registrar los datos se identificaron los vanos de ventilación en un croquis. Después se aplicó un criterio para determinar la cantidad de puntos de medición, en total se marcaron 6 puntos de muestreo por cada vano de un aula como se muestra en la Figura 2.

Figura 2.
Tipos de aberturas de ventilación y puntos de muestreo



Nota. (a) Ventana Pivotante, (b) Ventana Proyectante y (c) Puerta. (1), (2), (3), (4), (5) y (6) representan los puntos de muestreo y el orden de medición.

Según Quispe (2010), para poder determinar el caudal de aire (Q), se debe conocer la velocidad del flujo de aire (V) en m/s y el área (S) en m^2 de la abertura donde este circula dicho flujo, teniendo esos datos se procede a multiplicar el flujo y área para obtener el caudal expresado en m^3/s .

$$Q=V \times S \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (1)$$

Para obtener el área (S) de los vanos de ventilación, se multiplica la base (B) por su altura (H).

$$S=B \times H \text{ (m}^2\text{)} \quad (2)$$

El análisis del flujo en la EPAU comenzó registrando todos los datos obtenidos en hojas de cálculo Excel para poder ordenarlos, hallando el flujo mediante las fórmulas mencionadas para su posterior estudio. Este análisis implicó el uso de la estadística descriptiva, la cual proporciona evidencia objetiva que apoya o rechaza las hipótesis planteadas (Spriestersbach, et al. 2009). La información obtenida mediante una recolección planeada tiene que traducirse en datos o cifras, y de esta manera, poder formular representaciones de la información en cuadros o tablas, gráficas o figuras (Rendón et al, 2016). También se aplicó la estadística inferencial, que, según Flores et al. (2016), es la derivación de inferencias a partir de pruebas realizadas con datos de una muestra de la población.

Para lograr una mayor interpretación los datos se ordenaron y analizaron de la siguiente manera: Caudal por piso, la EPAU, como se ha mencionado anteriormente, tiene 4 niveles, por lo que en este caso el análisis del flujo se realizó para cada piso.

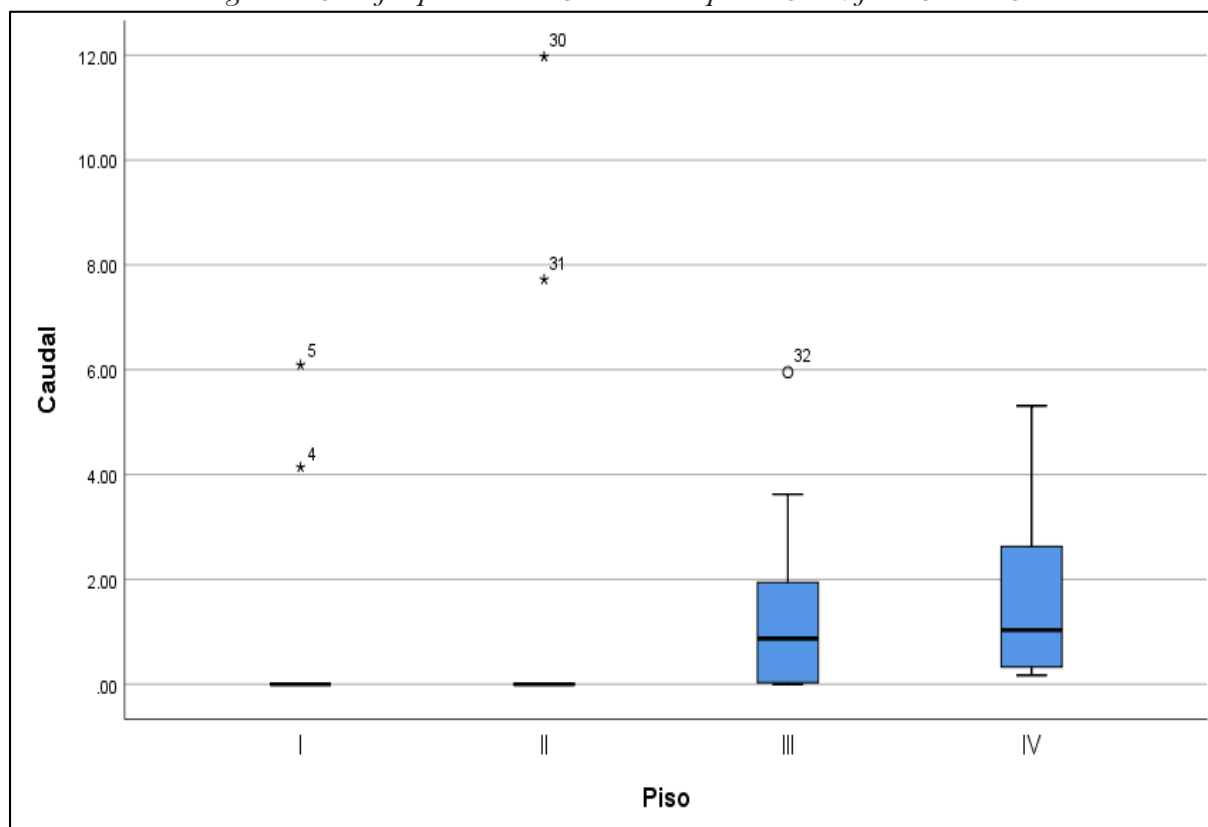
Tabla 1.
Descriptivos del caudal por piso

Piso	Media (m ³ /s)	* Límite inferior (m ³ /s)	* Límite Superior (m ³ /s)	Desviación Estándar (m ³ /s)	Valor mínimo (m ³ /s)	Valor Máximo (m ³ /s)
I	1.14	-0.64	2.31	2.31	0	6.09
II	0.9	-0.42	2.21	2.97	0	11.97
III	1.31	-0.67	1.96	1.52	0	5.95
IV	1.66	-0.58	2.75	1.71	0.17	5.31

Nota. * Límites en un intervalo de confianza del 95%.

La Tabla 1, muestra la media de caudal por piso, sus límites para un intervalo de confianza del 95%, su desviación estándar y los valores mínimos y máximos. Los valores mínimos igual a 0 m³/s en los pisos I, II y III, indican que no hubo registro alguno en el instrumento de flujo de aire y, por tanto, no se registró ningún caudal de aire. El piso II presenta como valor máximo datos atípicos de 11.97 m³/s y el piso IV un valor mínimo de 0.17.

Figura 2.
Diagrama de cajas para el caudal en los 4 pisos del objeto de estudio



La figura 4 muestra valores atípicos muy altos para los pisos I y II, también hay una mínima variabilidad en los datos, y tienden hacia un valor de 0 m³/s, lo que significa que no hay caudal de aire. En cambio, en el piso III y IV las medianas del caudal tienden a ser iguales

aproximándose a 1 m³/s. Por otro lado, el piso IV muestra una mayor variabilidad de datos en comparación al piso III, donde la variabilidad es menor. En el piso III, hasta el primer cuartil, el 25% de los datos tiene un valor de 0 m³/s y el 75% de los datos es inferior a 2 m³/s. Para el piso IV vemos que hasta el segundo cuartil los datos son superiores a 0 m³/s e inferiores o iguales a 1,03 m³/s, después del segundo cuartil los datos divergen aún más.

Según Novales (2010), para contrastar la normalidad de datos cuando el tamaño es menor a 50 se emplea la prueba de normalidad de Shapiro Wilk.

Tabla 2.
Prueba de normalidad Shapiro-Wilk

Piso	Estadístico	gl*	Sig.**
I	.570	9	.000
II	.342	22	.000
III	.828	24	.001
IV	.827	12	.019

Nota. * Grados de libertad (cantidad de datos). ** Nivel de significancia

El nivel de significancia para los I, II, III y IV es de .000, .000, .001 y .019 respectivamente. Siendo estos menores a 0.05 por ende se rechaza H₀ y se acepta H₁, por tanto, la variable caudal sigue una distribución no normal para los 4 casos.

Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo por piso, dado que para los pisos la distribución no es normal, se realizó un procedimiento estadístico no paramétrico “Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon”, que según Berlanga y Rubio (2011) indica que, al no existir una distribución normal, la Prueba de los rangos de signos de Wilcoxon permite realizar pruebas de hipótesis entre dos medianas poblacionales.

Esto con el fin para determinar si existe diferencia estadísticamente significativa con la mediana obtenida y el valor establecido en la norma ASHRAE 62.1 que es de 5 l/s*persona o su equivalente de 0.005 m³/s*persona para ambientes educativos y laboratorios universitarios. Además, para determinar el aforo, se empleó la máxima capacidad de aforo por cada piso según los alumnos matriculados en el semestre I del año 2022 de la EPAU. Esto debido a la necesidad de cubrir con el caudal de aire al máximo número de persona que vayan a ocupar dichas aulas. Para el primer piso se realizó la prueba para un aforo máximo de 40 personas, requiriéndose 0.2 m³/s como valor mínimo según la Norma Técnica EM 0.30. Planteándose así las siguientes hipótesis:

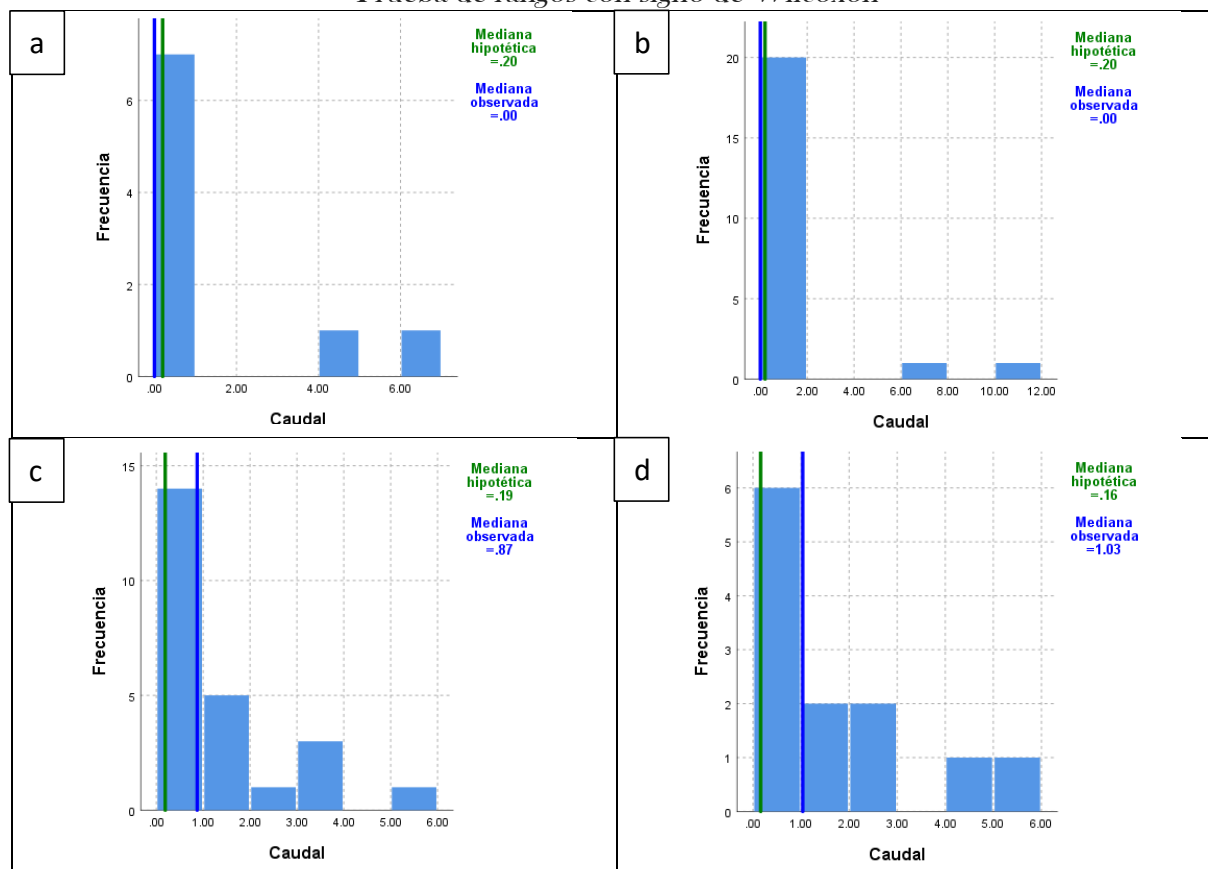
H₀: La mediana no es significativamente diferente al valor de la norma. p > 0.05

H₁: La mediana es significativamente diferente al valor de la norma. p < 0.05

El nivel de significación es de .493, lo que confirma H₀, es decir, que la mediana no es significativamente diferente al valor de la norma. Sin embargo, como se muestra en la Figura 5(a), muchos datos tienen un valor de 0 m³/s y 2 datos con valores de 4 m³/s y 6 m³/s, estos últimos superan significativamente los valores establecidos en la norma, por lo que cumplen con los requisitos de ventilación adecuada, en contraste con los datos con valor 0 m³/s, que no lo hacen. En el segundo piso el nivel de significación es 0,003, lo que rechaza H₀, por lo que la mediana es significativamente diferente del valor normal. Como se muestra en la Figura 5(b), en la mayoría de los casos, el valor medido es inferior a la norma, y sólo dos datos son conformes a la norma. Para el tercer piso, la prueba se realizó para una capacidad máxima de 37 personas, lo que requirió 0,19 m³/s. En el tercer piso, se tiene un nivel de significancia de .005, rechazándose de esta manera H₀, por tanto, la mediana es significativamente diferente al valor de la norma. Según la figura 5(c) se tiene una mediana observada de 0.87 m³/s, que es mucho mayor a la mediana hipotética de 0.19 m³/s, en tal caso más de la mitad de datos cumple con la norma con creces.

Para el cuarto piso se realizó la prueba para un aforo máximo de 32 personas, requiriéndose 0.16 m³/s. Se tiene un nivel de significancia de .002, rechazándose de esta manera H₀, por tanto, la mediana es significativamente diferente al valor de la norma. Según la Figura 8, se tiene una mediana observada de 1.03 m³/s que es mucho mayor a la media hipotética de 0.16 m³/s. En tal caso, el 4to nivel cumple con la normativa vigente.

Figura 3.
Prueba de rangos con signo de Wilcoxon



Nota. (a) Primer piso, (b) Segundo piso, (c) Tercer piso y (d) Cuarto piso.

Análisis de caudal general por aula, donde se analizó pretende obtener un análisis más claro en comparación al análisis por piso. La tabla 3 muestra el análisis descriptivo del caudal promedio para todas las aulas de la EPAU, se observa que las muestras obtenidas para las aulas 102, 105, 201, 202, 203, 205 y 305 son 0 m³/s, debido a que en el proceso de levantamiento de datos no se registró en el instrumento medida alguna.

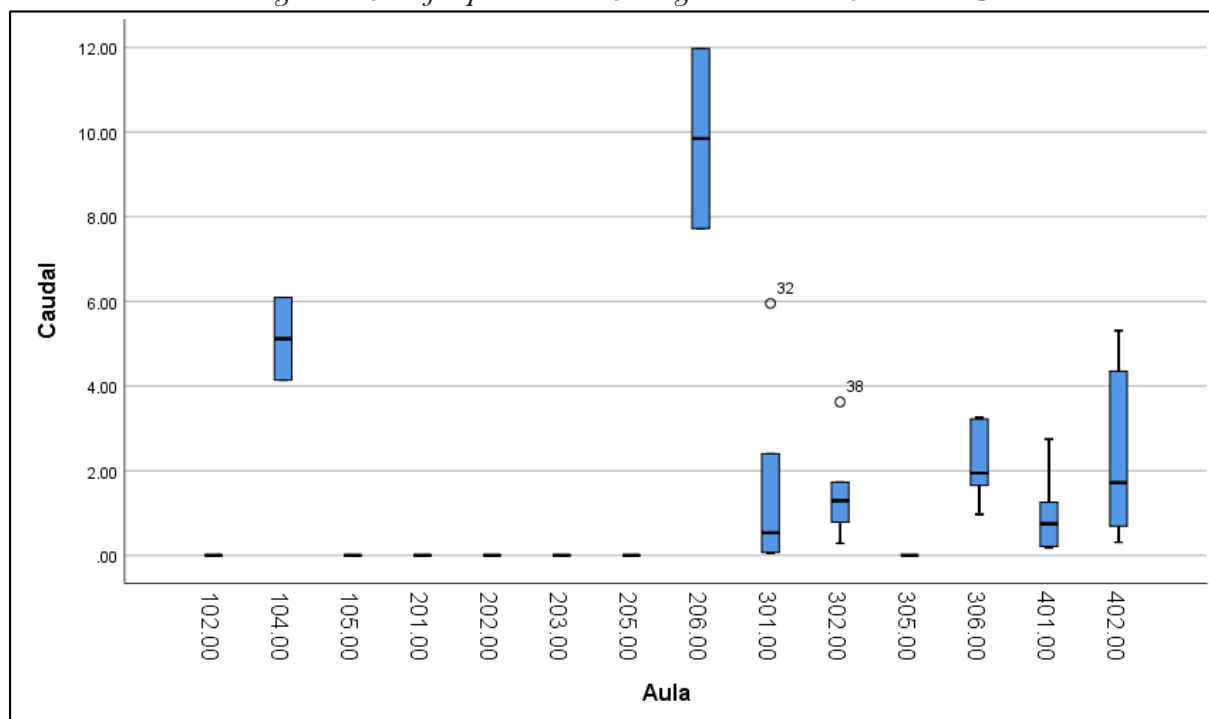
Se observa valores atípicos en el aula 206, con un promedio y valor máximo de 9.85 m³/s y 11.97 m³/s respectivamente, muy superior a los valores de las demás aulas. Siguiendo esta tendencia, se encuentra el aula 104 que posee valores altos al igual que el aula 206.

También se observa que todas las aulas con datos distintos de 0 cumplen la norma, ya que superan el aforo 40 personas que es el máximo aforo de toda la escuela, y que le corresponde un caudal de 0.2 m³/s. Se entiende que según la Tabla 3, el 50% de aulas cumplen y el otro 50% no.

Tabla 3.
 Descriptivos del caudal de las aulas de la EPAU

Aula	Media (m ³ /s)	Límite inferior (m ³ /s)	Limite Superior (m ³ /s)	Desviación Estándar (m ³ /s)	Valor mínimo (m ³ /s)	Valor Máximo (m ³ /s)
102	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
104	5.12	-7.27	17.50	1.38	4.14	6.09
105	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
201	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
202	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
203	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
205	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
206	9.85	-33.00	36.85	9.31	7.72	11.97
301	1.60	-0.84	4.02	2.31	0.06	5.95
302	1.50	-0.26	2.74	1.19	0.28	3.62
305	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
306	2.16	1.21	3.11	0.90	0.97	3.26
401	0.98	-0.06	2.01	0.99	0.17	2.75
402	2.35	0.16	4.54	2.09	0.31	5.31

Figura 6.
 Diagrama de cajas para el caudal según las aulas de la EPAU



La Figura 6 muestra las aulas 104 y 206 poseen mejor, ya que sus medianas son más altas que las de las demás aulas. Por otro lado, las aulas 301, 302, 306, 401, y 402 tienen medianas inferiores a 2 m³/s. Las aulas 302, 306 y 401 son las que menos variabilidad presentan en los datos. Análisis de caudal general, tomando en consideración la Tabla 3, se analizó de manera general los caudales en todas las aulas. Los resultados se muestran a continuación:

La media del caudal para todas las aulas de enseñanza de la EPAU es de $2.55 \text{ m}^3/\text{s} \pm 3.48 \text{ m}^3/\text{s}$, teniendo un límite inferior de $0.54 \text{ m}^3/\text{s}$ y un límite superior de $4.56 \text{ m}^3/\text{s}$ en un intervalo de confianza del 95%. Habiéndose obtenido que el caudal mínimo para esta aula es de $0 \text{ m}^3/\text{s}$ y el caudal máximo de $11.97 \text{ m}^3/\text{s}$.

La prueba de normalidad para las aulas de la EPAU muestra un nivel de significancia de 0.002 que es menor a 0.05, en tal sentido se rechaza H_0 y se conserva H_1 , de esta manera la variable caudal sigue una distribución no normal

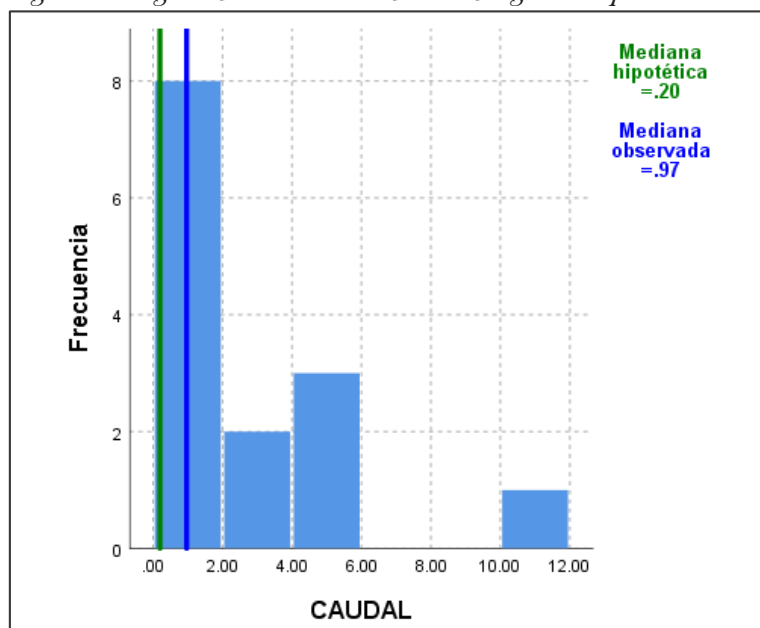
Prueba Wilcoxon de los rangos con signo general

Dado que la distribución no es normal, se realizó la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon para determinar si existe diferencia estadísticamente significativa con la mediana obtenida y el valor establecido en la norma ASHRAE 62.1 que es de $5 \text{ l/s} \cdot \text{persona}$ o su equivalente de $0.005 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{persona}$ para ambientes educativos y laboratorios universitarios.

También se empleó la máxima capacidad de aforo según los alumnos matriculados en el semestre I del año 2022 de la EPAU. Para el análisis general de aulas de la EPAU usó el aforo máximo que es 40 personas, requiriéndose $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ como valor mínimo según la Norma Técnica EM 0.30.

Figura 7.

Prueba de Rangos con signo de Wilcoxon de caudal general para las aulas de la EPAU



El nivel de significación es de 0,119, por lo que se acepta H_0 , es decir, la mediana no es significativamente diferente del valor de la norma. Según la figura 7, tenemos una mediana observada de $0,97 \text{ m}^3/\text{s}$, que está muy por encima de la media hipotética de $0,20 \text{ m}^3/\text{s}$. En este caso, dado que no hay una diferencia significativa en las medianas, podemos decir que el flujo de aire requerido en las clases EPAU se cumple parcialmente.

Conclusiones

De acuerdo con lo anterior y con los resultados obtenidos en el análisis del flujo de aire por piso, se puede concluir que el primer piso no cumple totalmente con las normas, a excepción del aula 104, que sí lo hace. Asimismo, el segundo piso no cumple las normas en su totalidad, a excepción del aula 206. Lo contrario es la situación en el tercer piso, donde el flujo de aire es parcialmente conforme, con la excepción del aula 305, donde se encontraron vanos dañados, por lo que se

sellaron. Por último, en la cuarta planta, los caudales de aire obtenidos son conformes y superiores a la norma.

El análisis del caudal de aire por clase muestra que las clases 104, 206, 301, 302, 306, 401 y 402 cumplen la norma de caudal de aire, mientras que las clases 102, 105, 201, 202, 203, 205 y 305 no cumplen la norma, teniéndose en estos últimos un nulo registro de datos. Según el análisis general, se puede concluir que el flujo de aire de la EPAU cumple parcialmente la norma, ya que el 50% de aulas analizadas si cumplen y el otro 50% no, esto según las normas de calidad del aire establecidas en la Norma Técnica EM. 0.30.

Como hay mucha variabilidad y valores atípicos en los datos, se recomienda analizarlos agrupándolos según la orientación de sus vanos, esto debido a que algunas clases están orientadas al norte y otras al oeste, y también tener en cuenta el bloque en el que se encuentran, ya que está estrechamente relacionado con su orientación. Debido a la falta de registro de datos en los pisos inferiores, se recomienda también utilizar instrumentos con mayor precisión y tomar muestras más largas.

Referencias Bibliográficas

- Campo Diaz, V.J., y Terés Zubiaga, J. (2012). Ventilación en viviendas: el reto de una ventilación eficaz y eficiente. *Revista de Edificación*, 40, 120-127.
<https://hdl.handle.net/10171/38905>
- Flores-Ruiz, Eric, Miranda-Novales, María Guadalupe, & Villasís-Keever, Miguel Ángel. (2017). El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada. *Estadística inferencial. Revista alergia México*, 64(3), 364-370.
<https://doi.org/10.29262/ram.v64i3.304>
- Mares-Rodríguez A, Flores-Serrano RM, González-Sánchez A. (2022). Estimación del aforo en un salón de clases según su tamaño y capacidad de ventilación en tiempos de pandemia por el coronavirus SARS-CoV-2. *Rev. Salud ambiental*. 2022; 22(1):91-99.
- Meiss, A., Feijó-Muñoz, J., & Padilla-Marcos, M. A. (2016). Evaluación, diseño y propuestas de sistemas de ventilación en la rehabilitación de edificios residenciales españoles. Estudio de caso. *Informes de la Construcción*, 68(542), e148-e148.
- Naciones Unidas. (2020) Construir hoy el futuro de la educación | Naciones Unidas. Recuperado el 3 de agosto de 2022, de <https://www.un.org/es/coronavirus/articles/future-education-here>
- Norma Técnica EM.030 (22 de setiembre de 2020).
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1317239/RM%20232-2020-VIVIENDA.pdf>
- Novales, A. (2010). *Análisis de regresión*. Universidad Complutense de Madrid: Madrid, Spain, 116.
- Park S, Choi Y, Song D, Kim K. Natural ventilation strategy and related issues to prevent coronavirus disease (COVID-19) airborne transmission in a school building. *Sci. Total Environ*. 2021; 1:789.
- Quispe Mamani, E. (2017). Caracterización y diseño del sistema de ventilación para mejora de la circulación del aire en el proyecto minero Inmaculada 4-CIEMSA.
http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3463/Quispe_Mamani_Elmer.pdf?sequence=1
- Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (29 de agosto de 2007).
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-15820>
- Rendón-Macías, M. E., Villasís-Keever, M. A., & Miranda-Novales, M. G. (2016). Estadística descriptiva. *Revista Alergia México*, 63(4), 397-407.

Resolucion Ministerial N° 121.2021-MINEDU. Ministerio de Educacion (9 de marzo de 2021)
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1722273/RM%20N%C2%B0%20121-2021-MINEDU.pdf.pdf>

Resolución Rectoral N° 1068-2022-R-UNA. Resoluciones rectorales UNA-Puno (31 de mayo de 2022). <https://transparencia.unap.edu.pe/web/wp-content/uploads/2022/06/RR-1068-2022-R-UNA.pdf>

Sotres, A. (2020). Una guía del CSIC muestra cómo se deben ventilar las aulas para reducir el riesgo de contagio por Covid-19.
https://www.csic.es/sites/default/files/21octubre2020_guia_ventilacion_aulas2.pdf