

Diagnóstico de la ventilación natural, concentración de CO₂, temperatura y humedad relativa de un aula docente con motivo del SARS-CoV-2. Caso de las aulas de la ETSIE de la UPV.

Diagnosis of natural ventilation, CO₂ concentration, temperature and relative humidity of a teaching classroom due to SARS-CoV-2: The case of classrooms of the ETSIE of the UPV.

Antonio M. Romero Sedó^a, Paloma Arrué Burillo^b, Carolina Aparicio Fernández^c y Milagro Iborra Lucas^d

Universitat Politècnica de València, ^aaromeros@csa.upv.es, ^bpaarbu@csa.upv.es, ^ccaap@csa.upv.es, ^dmiborra1@csa.upv.es

Abstract

This article aims to give a broad vision of how to manage and quantify safe states inside the classrooms, based on compliance with administrative regulations and recommendations. Compliance verification is carried out through computational fluid dynamics (CFD) simulations, as a preliminary study to determine the location of the air vortices and renewals, to locate the security occupation zones and that it is this aspect that determines the maximum capacity. Subsequently, an experimental measurement of the CO₂ concentration is carried out, analyzing the regulatory effect of the rest intervals, obtaining the reduction speeds and the recommended times.

Keywords: SARS-CoV-2, ventilation, concentration of CO₂, teaching.

Resumen

Este artículo pretende dar una visión amplia de cómo gestionar y cuantificar los estados seguros en el interior de las aulas, partiendo del cumplimiento de las normativas y recomendaciones administrativas. Se realiza la comprobación del cumplimiento mediante simulaciones por dinámica de fluidos computacional (CFD), como un estudio previo que determine la localización de los vórtices de aire y las renovaciones, para localizar las zonas de ocupación de seguridad y que sea este aspecto el que determine el aforo máximo. Se realiza una medición experimental de la concentración de CO₂, analizando el efecto regulador de los intervalos de descansos obteniendo las velocidades de reducción y los tiempos recomendables.

Palabras clave: SARS-CoV-2, Ventilación, concentración de CO₂, docencia.

1. Introducción

Desde el inicio de la pandemia como consecuencia del SAR-CoV-2, y por recomendaciones administrativas se obligó a partir del 16 de marzo en el curso 2019-2020 a impartir las clases de forma telemática en toda la Universitat Politècnica de València. Así mismo, en el curso 2020-2021 se han impartido la mayoría de las clases de forma presencial, para ello, se ha tenido que tomar medidas de carácter preventivo en toda la universidad con la finalidad de evitar en la medida de lo posible los contagios en la comunidad educativa.

Bien es cierto que una de las vías de contagio del virus es a través de los aerosoles dispersos en el aire y que pueden ser inhalados tanto por los docentes como por los estudiantes en las aulas que no estén debidamente ventiladas (Santarpia et. al, 2020). Por ello se planteó al inicio del curso 2020-2021 un estudio de la ventilación natural de algunas aulas y su modelización por dinámica de fluidos computacional (CFD) de una de ellas, con ello se perseguía saber varios parámetros: caudal y velocidad del aire, dirección y sentido de las líneas de corriente en el aula, número de renovaciones del aire, etc. Esto permitió cuantificar el aforo máximo de las aulas, ubicaciones más adecuadas de los estudiantes y docentes, evitando cualquier zona del aula que tuviese remansos del aire provocados por vórtices.

Además, durante el transcurso de la docencia, se planteó la medición de uno de los gases como el dióxido de carbono CO₂, también llamado anhídrido carbónico, emanado este por la actividad humana en las aulas, que, aun siendo un gas incoloro e inodoro y no tóxico ni nocivo para la salud humana desplaza el aire obteniéndose sensaciones térmicas poco confortables haciendo que la respiración sea fatigosa. Las altas concentraciones de CO₂ en el aire son un indicador de falta de ventilación y de alto riesgo de posible contagio. El objetivo era conseguir junto con la temperatura y humedad relativa, estados de confort para la comunidad docente, y tener un indicador de la falta de ventilación, para ello se implantaron en la mayoría de las aulas medidores digitales para conocer y saber cuál era el estado de confort en las aulas.

2. Objetivos

El primer objetivo antes de iniciar las clases del curso 2020-2021 fue realizar una evaluación de la ventilación natural mediante dinámica de fluidos computacional (CFD), para ubicar de forma segura a los docentes y al estudiantado en el interior del aula, y el segundo objetivo fue la medición de la concentración de CO₂, temperatura y humedad relativa, para determinar el grado de confortabilidad de las aulas donde se imparte docencia. Las aulas a estudio fueron la JB2 y C1 de la ETSIE de la Universitat Politècnica de València.

3. Desarrollo de la Innovación

Con motivo de la pandemia se redactó normativa hasta la fecha inexistente para gestionar los espacios arquitectónicos, con la finalidad de aportar una cierta seguridad a las personas para no ser contagiadas por los aerosoles disueltos en el aire. Las normativas y recomendaciones que se publicaron fueron redactadas por las administraciones,

obedeciendo a criterios establecidos por otros países, posiblemente contrastados con modelos específicos en materia de aerosoles, pero no a nivel específico en docencia.

No obstante, existe normativa a nivel Nacional en España como es el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), (BOE, 2007), que establece criterios muy severos para su cumplimiento, tanto es así, que las medidas que establece en la calidad del aire, renovaciones y confortabilidad supera con creces a las normativas aparecidas durante la pandemia. Cabe destacar, que el RITE es uno de los reglamentos que ha perdurado con el tiempo y que dado su nivel de exigencia no ha sido absorbido por el Código Técnico de la Edificación (CTE), (BOE, 2006).

La innovación de este artículo radica no solo en el cumplimiento de la normativa y recomendaciones establecidas por las administraciones como consecuencia del SARS-CoV-2, y el RITE, sino además su comprobación mediante cálculo numérico computacional de la ventilación natural, y de las variables que establecen los grados de confort en las aulas.

3.1 Estudio mediante dinámica de fluidos computacional (CFD).

El rango de velocidad de aire adecuada a la altura de la mesa y la cabeza de los estudiantes es de 0.12 y 0.35 m/s (BOE, 2007), como valores más empleados en los proyectos de climatización de zonas arquitectónicas ocupadas. Las características del aire están definidas por la presión barométrica es de 101204.92 Pa, (Harrison, 1965; U.S. Standard atmosphere, 1976; Hyland y Wexler, 1983), y considerando el aire en unas condiciones de confortabilidad (Carrier Air Conditioning Company, 2009), de temperatura seca de 22°C y humedad relativa del 50%.

El caudal de aire en el interior del aula se puede obtener variando los valores de la ecuación diferencial aplicable para fluidos compresibles en un sistema isotérmico, ecuación 1.

$$P \cdot dP + \frac{PM}{R \cdot T \cdot Z} \cdot g \cdot P^2 \cdot dz + \rho^2 \cdot \frac{R \cdot T \cdot Z}{PM} \cdot \lambda \cdot \frac{1}{D^5} \cdot \frac{8 \cdot Q_0^2}{\pi^2} \cdot dx = 0 \quad (1)$$

Para comprobar el comportamiento del aire en el interior del aula se han utilizado las ecuaciones de Navier-Stokes, mediante la dinámica de fluidos computacional (CFD), (Temam, 1979), (Zienkiewicz & Taylor, 2000), considerando el aire como un fluido real y compresible, ecuación 2. Los cálculos se han realizado mediante aplicación informática comercial (Systems, S. D., 2019).

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \nabla F + \nabla G + Q = 0 \quad (2)$$

El estudio se ha realizado en las aulas JB2 y C1 de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación.

Diagnóstico de la ventilación natural, concentración de CO₂, temperatura y humedad relativa de un aula docente con motivo del SARS-CoV-2. Caso de las aulas de la ETSIE de la UPV.

Diagnosis of natural ventilation, CO₂ concentration, temperature and relative humidity of a teaching classroom due to SARS-CoV-2: The case of classrooms of the ETSIE of the UPV.

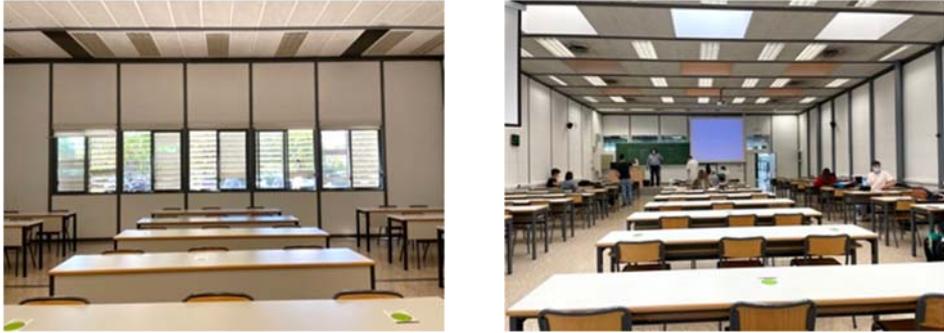


Fig. 2. Aula JB2 de la ETSIE de la UPV



Fig. 3. Aula C1 de la ETSIE de la UPV

3.2 Obtención de las variables de confort, monóxido de carbono CO₂, temperatura y humedad relativa.

Para la obtención de las variables de CO₂, temperatura y humedad relativa, se ha utilizado un equipo de medición portátil modelo CDP-H2008, figura 4. Las mediciones se han realizado en las zonas donde los resultados del cálculo de la ventilación natural por CFD indica la formación de vórtices en el aire, es decir, en las zonas donde el aire posee remansos y en consecuencia la renovación del aire se produce con dificultad.



Fig. 4. Equipo de medición portátil, modelo CDP-H2008.

En la tabla 1 se indican las mediciones realizadas en el exterior del edificio y en la tabla 2 la programación de las mediciones interiores, aforo y ventilación natural de las aulas.

Tabla 1. Mediciones exteriores en el año 2021.

Aula	Día	Hora	CO ₂ (ppm)	T (°C)	e (%)
JB2	24-May	12:30	431	24.0	42.2
		17:00	427	29.4	30.0
		20:00	418	28.0	30.3
C1	25-May	8:00	414	20.6	57.8
		20:00	420	20.9	73.2

Tabla 2. Programación de las mediciones interiores de las aulas en el año 2021.

Aula	Dia	Hora	Nº Personas	Ventilación Natural, Sup (m ²)		
				Huecos ext.	Huecos int.	Puerta int.
JB2	24 May	8:00-10:35	13	9.04	2.28	2.59
		10:35-12:30	28	9.04	2.28	2.59
		12:30-14:00	36	9.04	2.28	2.59
		15:00-17:00	12	9.04	2.28	2.59
		17:00-20:00	12	9.04	2.28	2.59
JB2	17-Jun	16:00-19:00	62	9.04	2.28	2.59
C1	25 May	8:00-11:30	22	5.42	2.28	2.59
		11:30-15:00	17	5.42	2.28	2.59
		15:00-18:00	35	5.42	2.28	2.59

4 Resultados

4.1.- Resultados de la ventilación natural por CFD en el aula JB2.

Los resultados por ventilación natural por CFD, se representan en la perspectiva con las líneas de corriente en el interior del aula JB2, figura 5.

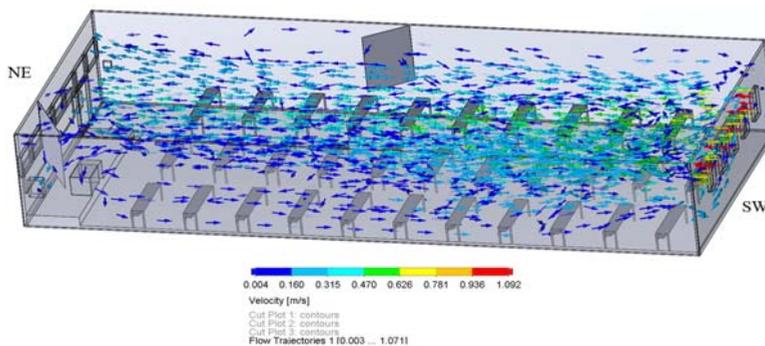


Fig. 5.- Perspectiva de las líneas de corriente en el interior del aula JB2.

La velocidad mínima y máxima es de 0.004 y 0.955 m/s respectivamente. La velocidad máxima se encuentra situada en la entrada del aire a través de las ventanas de la cara SW, mientras que la mínima es variable. En la figura 6, se representa la ventilación en planta.

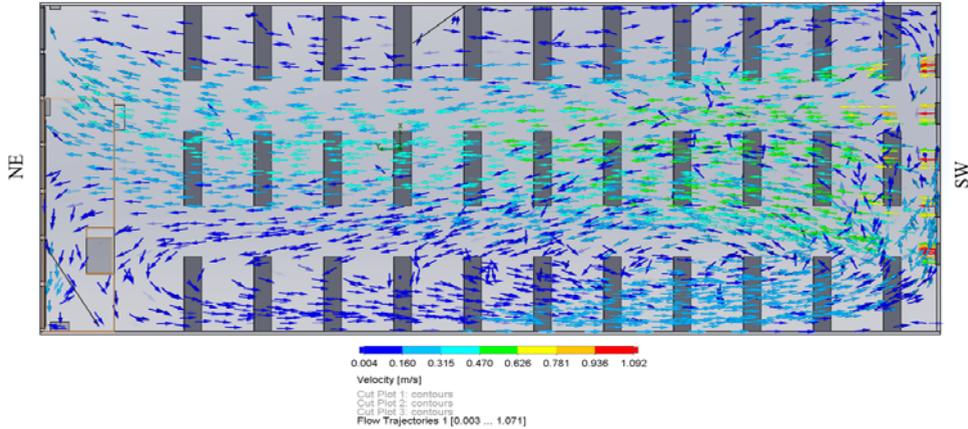


Fig. 6.- Planta de las líneas de corriente, velocidad, sentido y dirección del aire en el aula JB2.

Se puede observar que se produce un vórtice de aire cercano a la cara oeste de dimensiones aproximadas de 4.04 metros de anchura y 23.78 metros de longitud cuya superficie es de 96.07 m², correspondiente a un 35.88% de la superficie total del aula. La existencia de este vórtice es preocupante dado que en el supuesto de que el aula se encuentre totalmente ocupada el aire del vórtice es compartido por al menos 22 estudiantes, lo que supone un 32.84% del aforo total máximo, y dado que en este espacio el aire no se renueva adecuadamente el contagio es inevitable.

La parte del aula más segura con mayor renovación de aire, así como la velocidad del aire más aconsejable, se sitúa sobre la columna central 2, figura 7. La velocidad mínima se encuentra situada sobre la columna 3 con un valor de 0.005 m/s y la máxima en la entrada del aire por las ventanas SW, con un valor de 1.082 m/s en la columna central 2.

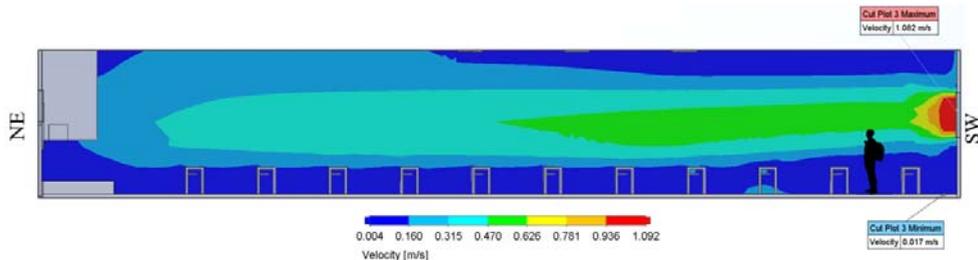


Fig. 7.- Ventilación natural columna 2. Sección vertical en sentido longitudinal del aula.

Los resultados obtenidos de las secciones transversales del aula en las filas 1, 6 y 11, por la parte central de las mesas de los estudiantes, viene dado por las figuras 8, 9 y 10. El rango de velocidades se encuentra entre los valores de 0.001 y 0.526 m/s.

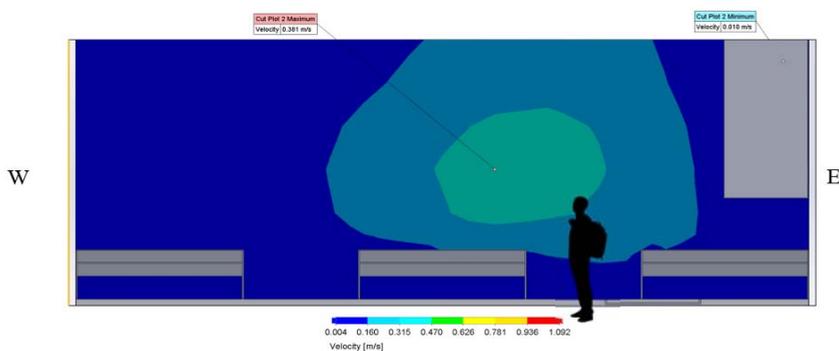


Fig. 8.- Ventilación natural (central), fila 1. Sección vertical en sentido transversal del aula.

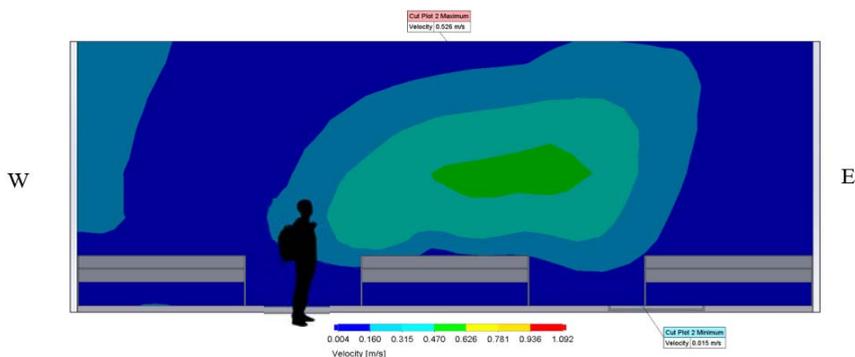


Fig. 9.- Ventilación natural (central), fila 6. Sección vertical en sentido transversal del aula.

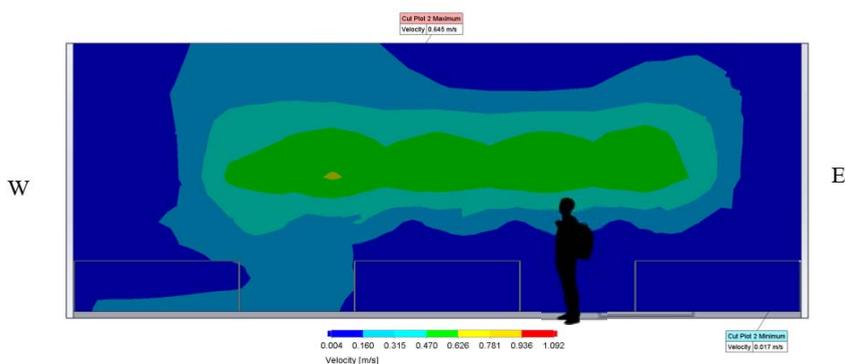


Fig. 10.- Ventilación natural, fila 11. Sección vertical en sentido transversal del aula.

Y, por último, los resultados obtenidos de las secciones cenitales a la altura de las de la cabeza del alumno sentado viene dado por la figura 11.

Diagnóstico de la ventilación natural, concentración de CO₂, temperatura y humedad relativa de un aula docente con motivo del SARS-CoV-2. Caso de las aulas de la ETSIE de la UPV.

Diagnosis of natural ventilation, CO₂ concentration, temperature and relative humidity of a teaching classroom due to SARS-CoV-2: The case of classrooms of the ETSIE of the UPV.

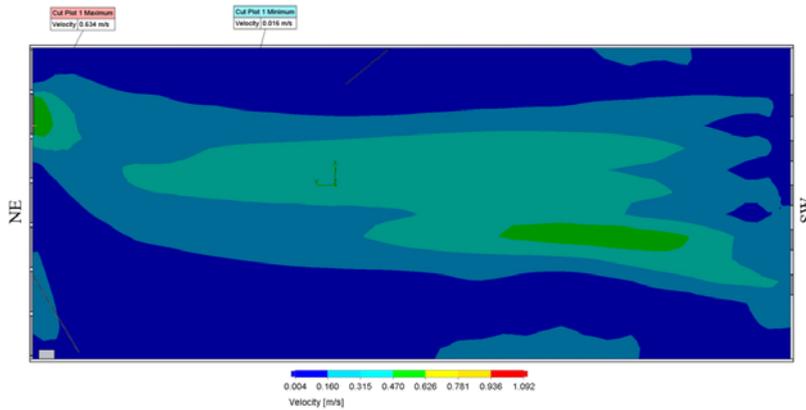


Fig. 11.- Ventilación natural. Planta a la altura de la cabeza alumno sentado.

Como se ha indicado en los resultados obtenidos, es recomendable que el aula sea ocupada por todas las filas de la columna 2 central, más la mitad de las filas de la columna 3 que dan al pasillo. Por tanto, el aforo sería de 33 estudiantes más 1 profesor, siendo un total de 34 personas, cuyo esquema de ubicación de estudiantes y profesor viene dado por la figura 12. En base a estos datos los resultados son el $t=3.73$ min, $n= 16.07$ renovaciones/hora y considerando las 34 personas, $q= 140.63$ litros·s⁻¹·persona⁻¹.

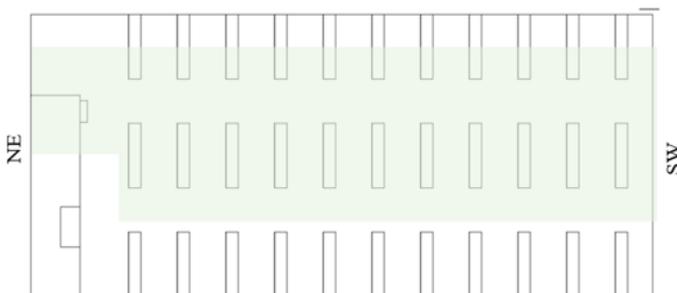


Fig. 12.- Ventilación natural, planta de la zona de ocupación de seguridad, color verde claro.

Se plantean las siguientes recomendaciones, es imprescindible que en todo momento las ventanas situadas en la cara SW, los huecos practicados en la cara NE y la puerta de acceso al aula se encuentren totalmente abiertas. La velocidad del aire en la tarima del profesor puede ser inferior al mínimo de 0.12 m/s, se recomienda permanecer en ella el menor tiempo posible. Se aconseja no sobrepasar el aforo máximo en el aula de 34 personas. Y no es aconseja utilizar para la docencia la columna 1 por razones de formación de vórtice y escasa velocidad del aire, ni en la columna 3 en los asientos cercanos a la pared de la cara este.

4.2 Resultados de las mediciones de monóxido de carbono CO₂, temperatura y humedad relativa.

4.2.1.- Estudio del aula JB2 el día 24 de mayo de 8:00 a 20:00h.

El aforo fue de 13 personas de 8:00 a 10:35, de 28 personas de 10:35 a 12:30 y de 36 personas de 12:30 a 14:00h.

De la evolución de la concentración de CO₂ en ppm, figura 13, se puede observar que la concentración máxima registrada fue de 592 ppm a las 12:51h, aproximadamente cinco horas tras el comienzo de la docencia. Se observa una evolución claramente ascendente a lo largo de la mañana, produciéndose descensos en los momentos coincidentes con los descansos entre las distintas sesiones de aula, donde se produce el movimiento de los estudiantes en el aula y la salida a los pasillos para volver a acceder al aula al comienzo de la siguiente clase. Se puede observar que un descanso de 19 minutos con un aforo de 13 personas produjo un descenso de 37 ppm, 1.94 ppm/min. Mientras que un descanso de menor tiempo (13 min) pero con un mayor aforo (28 personas) produjo un descenso de 71 ppm, 5.46 ppm/min, aproximadamente tres veces superior.

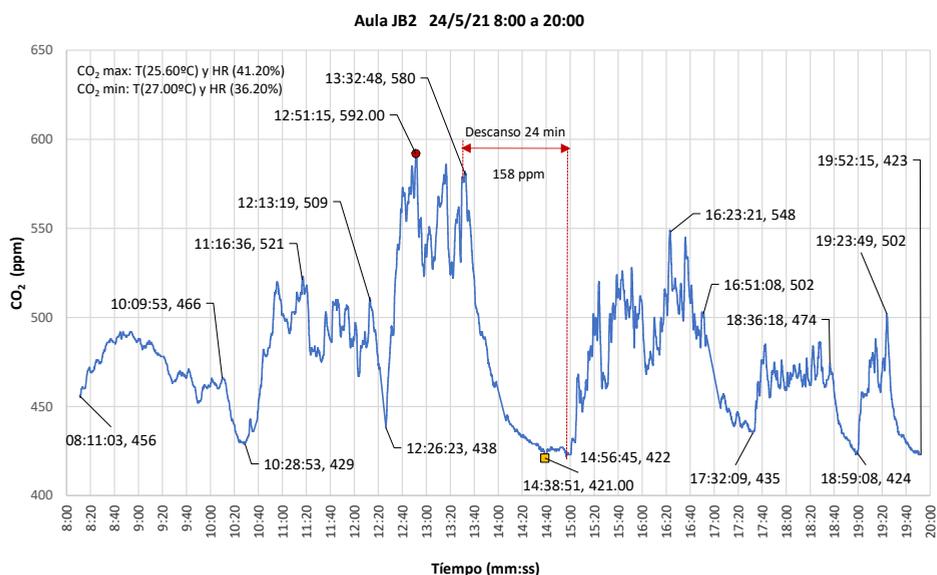


Fig. 13. Concentración de CO₂ (ppm) en aula JB2 el 24/5/2021 de 8:00 a 20:00

Al finalizar la docencia de la mañana se pasó de un registro de 580 ppm, el segundo más alto de la mañana a 463 ppm, es decir 117 ppm en 26 min, 4.5 ppm/min, cuando el aforo era de 36 personas.

Al finalizar la docencia de la mañana se redujo la concentración de CO₂ en 117 ppm en 26 min, 4.5 ppm/min, hasta que el aforo pasó de 36 personas a ser nulo. Ya con el aforo nulo, el descenso fue mucho más lento hasta alcanzar un mínimo de 421ppm en 41min, 1.05

ppm/min. Considerándose el valor mínimo y estable dado que la medición del exterior del edificio fue de 431 ppm.

En la sesión de tarde el aforo fue de 12 personas de 15:00 a 20:00h. En este caso el valor máximo registrado fue de 548 ppm a las 16h 22min, obtenido en sentido ascendente a 1.38 ppm/min.

El primer descanso de la tarde redujo 67 ppm en 41 min, 1.64 ppm/min y el segundo 50 ppm en 23 min, 2.17 ppm/min, con el aforo de 12 personas. Al finalizar la docencia se redujo 79 ppm en 29 min, 2.72 ppm/min, hasta alcanzar el mínimo de 423 ppm cuando el exterior del edificio registro 418 ppm.

Puede observarse que los descanso permiten controlar la concentración descendiendo momentáneamente, pero creando un proceso acumulativo en los valores mínimos y máximos de las mediciones. Estando la velocidad de descenso relacionada con el aforo existente.

Los valores de la temperatura registrados oscilaron desde 29.20 a 20.30°C y la humedad relativa claramente descendiente a lo largo de la mañana pasó de un 60.00% a un 29.40%, figura 14.

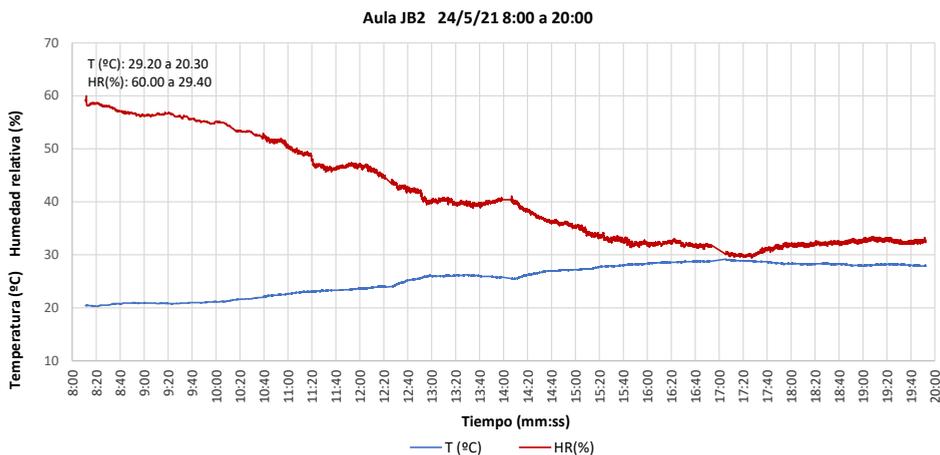


Fig. 14. Temperatura (°C) y Humedad relativa (%) en aula JB2 el 24/5/2021 de 8:00 a 20:00

4.2.2.- Estudio del aula JB2 el día 17 de junio de 16:00 a 19:00h.

El aforo fue de 62 personas de 16:00 a 19:00h debido a la realización de un examen. Este aforo generó una concentración de CO₂ que alcanzó un máximo de 688 ppm a las 18:52h, aproximadamente 3 horas tras el comienzo del examen, figura 15.

Destacó el rápido aumento al inicio que incrementó 214 ppm en 15 min, 14,26 ppm/min. En el primer descanso se redujo en 98 ppm en 27 min, 3.63 ppm/min y en el segundo descanso

se redujo 96 ppm en 17 min, 5.65 ppm/min. Y la finalización del examen redujo en 90 ppm en 6 min, 15.00 ppm/min.

Los descansos facilitan el control de la acumulación de CO₂, pero se mantiene un crecimiento sostenido. Es destacable que la velocidad de reducción de la concentración es mayor cuando más elevado ha sido el aforo. En la figura 16 se representa la evolución de la temperatura y humedad relativa.

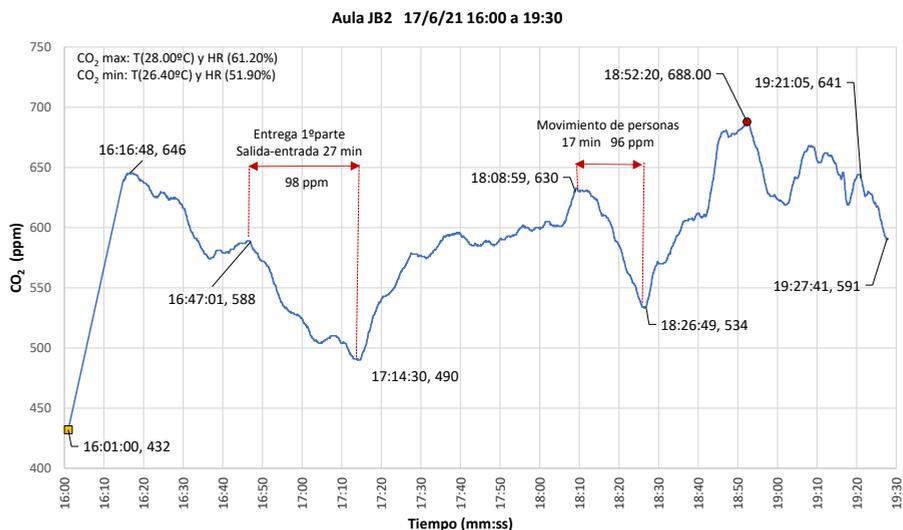


Fig. 15. Concentración de CO₂ en aula JB2 el 17/6/2021 de 16:00 a 19:30

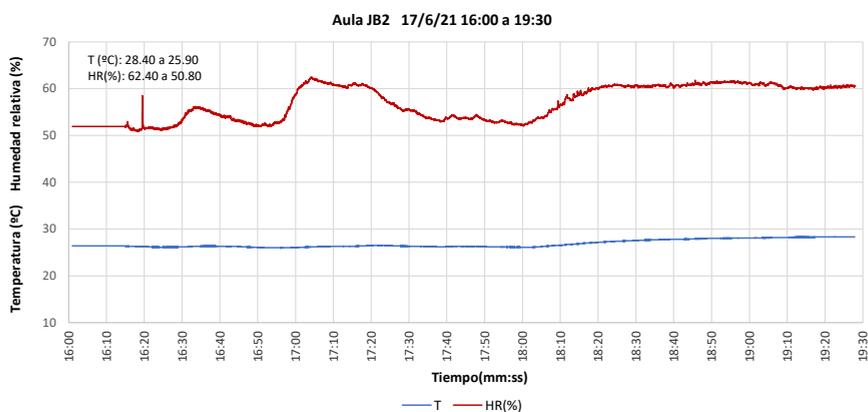


Fig. 16. Temperatura (°C) y Humedad relativa (%) en aula JB2 el 17/6/2021 de 16:00 a 19:30

4.2.3.- Estudio del aula C1 el día 25 de mayo de 8:00 a 20:15h.

El aforo fue de 22 personas de 8:00 a 11:30, de 17 de 11:30 a 15:00 y de 35 de 15:00 a 19:00h. En este caso se generó una concentración de CO₂ que alcanzó un máximo de 556 ppm a las 12:08h, aproximadamente 4 horas tras el comienzo de las clases, figura 17 y 18.

El incremento inicial fue de 71 ppm en 35 min, 2.03 ppm/min. La finalización de las clases de la mañana se redujo en 94 ppm en 53 min, 1.77 ppm/min. El primer descanso de la tarde redujo 37 ppm en 33 min, 1.12 ppm/min, el segundo descanso de 15 ppm en 10 min, 1.5ppm/min y la finalización de las clases en 70 ppm en 45 min, 1.55 ppm/min.

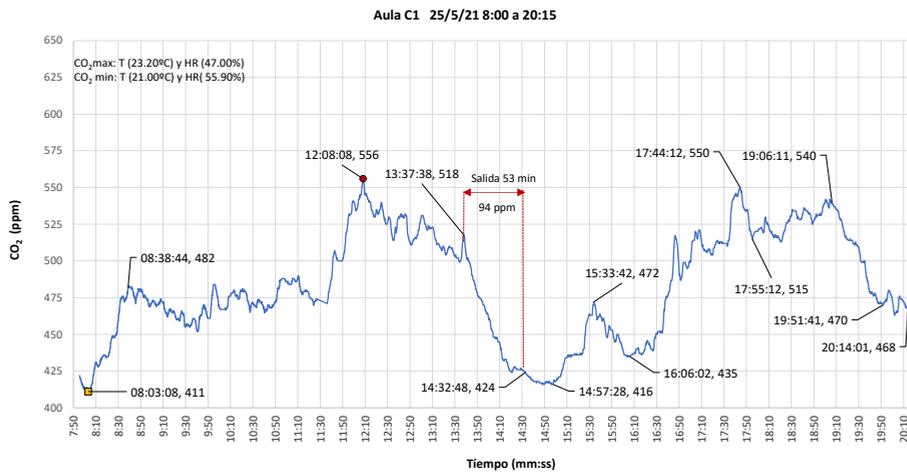


Fig. 17. CO₂ en aula C1 el 25/5/2021 de 8:00 a 20:15

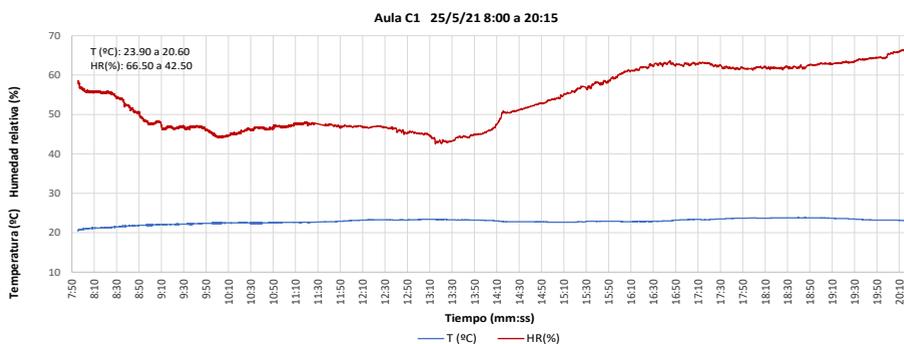


Fig. 18. Temperatura (°C) y Humedad relativa (%) en aula C1 el 25/5/2021 de 8:00 a 20:15

En la tabla 3 se indican los resultados de las concentraciones máximas registradas de CO₂, y las velocidades de reducción de esta, por unidad de tiempo y por persona, producidas en

los descansos y finalización de la docencia, observándose velocidades mayores con mayores aforos.

Tabla 3. Concentración de CO₂ máximo y velocidad de reducción de CO₂ (ppm/min y ppm/min-persona), año 2021.

Aula	Dia	Hora	Nº Personas	CO ₂ máximo (ppm)	Velocidad de reducción de CO ₂ (ppm/min) -- (ppm/min/personas)		
					1º Descanso	2º Descanso	Finalización
JB2	24-May	8:00-10:35	13	491	1.94 - 0.15	-	-
		10:35-12:30	28	521	-	5.46 - 0.20	-
		12:30-14:00	36	592	-	-	4.50 - 0.13
		15:00-17:00	12	548	1.64 - 0.14	-	-
		17:00-20:00	12	502	-	2.17 - 0.18	2.72 - 0.23
C1	25-May	17-Jun 16:00-19:00	62	688	3.63 - 0.06	13.71 - 0.22	15.00 - 0.24
		8:00-11:30	22	482	-	-	-
C1	25-May	11:30-15:00	17	556	-	-	1.77 - 0.10
		15:00-19:00	35	550	1.12 - 0.03	1.50 - 0.04	1.55 - 0.04

Dada la recomendación de no sobrepasar una concentración de CO₂ de entre 700 y 900 ppm, Puede considerarse que el aforo de la JB2 no debería sobrepasar de 62 personas, sin embargo, en comparación con los resultados del cálculo por CFD que permite localizar las zonas no seguras por formación de vórtices se limita el aforo a 34 personas.

5 Conclusiones

Para poder afirmar que una ventilación es adecuada, desde el punto de vista de la seguridad, no basta con cumplir la normativa oficial o recomendaciones, es necesario realizar simulaciones mediante dinámica de fluidos computacional para comprobar la dirección de las líneas de corriente, velocidad del aire, caudales, número de renovaciones del aire, existencia de vórtices, remanso, eficiencia del sistema, etc. Cualquier aplicación de ecuaciones simples de tipo lineal que propone la normativa hay que adoptarla como sugerencia, debiendo demostrar mediante la mecánica de fluidos que el sistema funciona correctamente.

Por simplificación en todas las simulaciones por dinámica de fluidos computacional, no se ha tenido en cuenta la pérdida de carga o de presión producido por las lamas exteriores de las ventanas y por la ocupación tanto de estudiantes como del profesor. Es por ello por lo que los resultados de cálculo deben de adoptarse como valores mínimos.

Es necesaria una medición experimental que aporte la seguridad cuantitativa de la concentración de CO₂ como medida inmediata, pero siempre acompañada de un estudio previo que determine la localización de los vórtices de aire y las renovaciones, para localizar las zonas de ocupación de seguridad y que sea este aspecto el que determine el aforo máximo. La ocupación de las zonas donde se producen los vórtices es sensible a la propagación de contagios.

Diagnóstico de la ventilación natural, concentración de CO₂, temperatura y humedad relativa de un aula docente con motivo del SARS-CoV-2. Caso de las aulas de la ETSIE de la UPV.
Diagnosis of natural ventilation, CO₂ concentration, temperature and relative humidity of a teaching classroom due to SARS-CoV-2: The case of classrooms of the ETSIE of the UPV.

Es recomendable establecer un tiempo entre 10 a 15 minutos entre clases para que exista una renovación completa del aire del aula. Esto se ha visto claramente reflejado en el estudio experimental realizado, como elemento regulador de la concentración de CO₂.

Dado que el sistema posee gran variedad de variables como la presión barométrica, humedad relativa y específica, entalpía, temperatura seca y húmeda, presión del vapor de agua, volumen específico, densidad, viscosidad cinemática, grado de compresibilidad del aire, pérdidas de carga o de presión provocada por las personas, condiciones de confortabilidad, etc., es muy complejo establecer una única solución válida. Por ello se recomienda de forma práctica para asegurar la renovación del aire que los huecos del aula, incluido ventanas y puertas estén en todo momento abiertas.

Referencias

- España. Acuerdo, de 19 de junio, sobre las medidas de prevención frente a la covid 19. *Diario Oficial de la Generalitat Valenciana*, 20 de junio de 2020, núm. 8841, pp. 24259-24277.
- España. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo y corrección de errores, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Aplicación de la exigencia HS 3 Calidad del aire interior. *Boletín Oficial del Estado*, 28 de marzo de 2006, núm. 74, pp. 11816-11831.
- España. Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el reglamento de Instalaciones térmicas en los Edificios. *Boletín Oficial del Estado*, 29 de agosto de 2007, núm. 207, pp. 35931-35984.
- HARRISON, L. P. (1965). Fundamental Concepts and Definitions Relating to Humidity and Moisture Measurement and Control in Science and Industry. Proc. Int. Symp. On Humidity and Moisture, Vol.3 Fundamentals and Standards, Reinhold, New York, 3–256.
- HYLAND, R.W., AND WEXLER, A. 1983. Formulations for the thermodynamic properties of the saturated phases of H₂O from 173.15K to 473.15K. ASHRAE Trans. 89, 500-519.
- Carrier Air Conditioning Company. (2009). Manual de aire acondicionado. Marcombo.
- SANTARPIA, J. L., RIVERA, D. N., HERRERA, V., MORWITZER, M. J., CREAGER, H., SANTARPIA, G. W., ... & LOWE, J. J. (2020). Aerosol and surface transmission potential of SARS-CoV-2. MedRxiv.
- SYSTEMS, S. D. (2019). SolidWorks Education Edition . <http://www.solidworks.es>
- TEMAM, R. (1979). Navier-Stokes equations : Theory and numerical analysis (Ed. rev.). Amsterdam, etc. : North-Holland.
- U.S. Standard atmosphere. 1976. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), National Aeronautics and Space Administration (NASA), and the United States Air Force. Available from National Geophysical Data Center, Boulder, CO. Washington DC. EEUU.
- ZIENKIEWICZ, O. C., & TAYLOR, R. L. (2000). The finite element method. Volume 3, Fluid dynamics (5th ed.). Oxford [etc.]: Butterworth-Heinemann.