

BUILDING & MANAGEMENT

E-JOURNAL. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE EDIFICACIÓN. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

September
December
2021



GESTION EN EDIFICACION

B&M

BUILDING & MANAGEMENT

BUILDING & MANAGEMENT
SEPTEMBER - DECEMBER 2021
ISSN 2530-8157



BUILDING & MANAGEMENT

VOLUME 5 ISSUE 3

BUILDING & MANAGEMENT

SCIENTIFIC e-JOURNAL

VOLUME 5 ISSUE 3

SEPTEMBER - DECEMBER 2020



Escuela Técnica Superior de Edificación
Universidad Politécnica de Madrid

ISSN: 2530-8157

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE EDIFICACIÓN. ETSEM

Avenida de Juan de Herrera, 6, 28040 Madrid
Phone: 913367611
www.edificacion.upm.es
e-mail: bm.edificacion@upm.es

DIGITAL EDITION

www.polired.upm.es

FRONT AND BACK COVERS IMAGES

Front cover:
Chen House
Casagrande Laboratory
Shanghai, Taiwan

Back cover:
Secondary School
Kere Architecture
Dano, Burkina Faso

<http://www.2030palette.org/ventilacion-cruzada/?lang=es>

BUILDING & MANAGEMENT is an open access scientific e-journal published every four months that accepts original, high quality and not published manuscripts. The journal scope covers all the phases of the building: project, construction, in-use, maintenance and end-of-life, and comprises a wide range of activities associated with the management of building processes where various agents in the sectors of architecture, engineering and construction participate.

GESTIÓN EN EDIFICACIÓN es una publicación científica cuatrimestral en la que se incluyen trabajos originales, de alta calidad, que no hayan sido publicados en otras revistas. Su ámbito abarca todas las fases de proyecto, ejecución, operación, mantenimiento y fin de vida del edificio y comprende un amplio abanico de actividades asociadas a la gestión de los procesos del edificio en las que participan diversos agentes de los sectores de la arquitectura, la ingeniería y la construcción.

The criteria and opinions expressed in this publication are the sole responsibility of the authors. Copyright and intellectual property rights of published documents belong to their authors, who are responsible of the published material copyright.

Los criterios y opiniones expuestos son responsabilidad exclusiva de los autores. Los derechos de autor y la propiedad intelectual del material publicado pertenecen, así mismo, a sus autores, quienes son responsables de los permisos sobre derechos del material publicado.

EDITOR - IN - CHIEF / DIRECCIÓN DE REDACCIÓN

Immaculada Martínez Pérez

Universidad Politécnica de Madrid

MANAGING EDITOR / SECRETARÍA DE REDACCIÓN

Sonsoles González Rodrigo

Universidad Politécnica de Madrid

ASSOCIATE EDITORS / COMITÉ EDITORIAL

Patricia Aguilera Benito

Universidad Politécnica de Madrid, Spain

Francisco de Borja Chávarri Caro

Universidad Politécnica de Madrid, Spain

Gregorio García López de la Osa

Universidad Politécnica de Madrid, Spain

Julián García Muñoz

Universidad Politécnica de Madrid, Spain

María de las Nieves González García

Universidad Politécnica de Madrid, Spain

Carolina Piña Ramírez

Universidad Politécnica de Madrid, Spain

María Isabel Prieto Barrio

Universidad Politécnica de Madrid, Spain

Mercedes Valiente López

Universidad Politécnica de Madrid, Spain

EDITORIAL ADVISORY BOARD / COMITÉ CIENTÍFICO

Antonio Baño Nieva

Universidad de Alcalá, Spain

Roberto Barrios Corpa

Intemac, Spain

Xavier Brioso

Universidad Católica Pontificia de Perú, Lima, Perú

Daniela Brizuela Valenzuela

Universidad Central de Chile, Santiago, Chile

Joana Cardoso Guedes

Universidade do Porto, Portugal

Álvaro Cerezo Ibarrrondo

Escuela Vasca EVETU del IVAP, Bizkaia, Spain

Alfonso Cobo Escamilla

Universidad Politécnica de Madrid, Spain

Miguel de Diego Elvira

IDOM, Spain

Luis de Pereda Fernández

Eneres / Instituto Europeo de Innovación, Spain

Emmanuel Dufrasnes

Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Strasbourg

Jesús Esteban Gabriel

Grupo SGS, Madrid, Spain

Ignacio Fernández Solla

ARUP, Spain

José Antonio Ferrer Tevar

CIEMAT, Spain

George Govaere Vicarioli

Universidad Costa Rica, Costa Rica

Helena Granados Menéndez

Consejo Arquitectos / Comisión Europea

Louis Gunnigan

Dublin Institute of Technology, Ireland

Sara Gutiérrez González

Universidad de Burgos, Spain

Héctor Hernández López

Universidad Central de Chile, Santiago, Chile

Marta Kosior-Kazberuk

Bialystok University of Technology, Poland

Sandra Llorente Monleón

Conspace. Vía Célere, Spain

Oscar López Zaldívar

Universidad Politécnica de Madrid, Spain

Fernando Machicado Martín

UNE. Asociación Española de Normalización, Spain

Fernando Martín Consuegra

Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja

M^a Dolores Martínez Aires

Universidad de Granada, Spain

Francisco J. Martínez Montesinos

Universidad Católica de Murcia, Spain

Juan Manuel Medina

Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

M^a del Pilar Mercader Moyano

Universidad de Sevilla, Spain

Trevor Mole

Property Tectonics/Salford University, Manchester, UK

Fernando Moral Andrés

Universidad Nebrija, Madrid, Spain

M^a Isabel Pérez Millán

Universidad Católica de Murcia, Spain

Rudy Piedra Mena

Universidad Costa Rica, Costa Rica

Carlos J. Pampiega

Project Management Institute Madrid, Spain

Mara Rodríguez Hermida

Instituto Tecnológico de Galicia / BREAM, Spain

Ángel Rodríguez Saiz

Universidad de Burgos, Spain

Jaão Santos Baptista

Universidade do Porto, Portugal

María Segarra Cañamares

Universidad de Castilla la Mancha, Spain

Begoña Serrano Lanzarote

Instituto Valenciano de Edificación/ UPV Spain

Patricia del Solar Serrano

Acerta, Madrid, Spain

Ricardo Tendaro Caballero

Universidad Politécnica de Madrid, Spain

Nelia Valverde Gascueña

Universidad de Castilla la Mancha, Spain

Amparo Verdú Vázquez

Universidad Politécnica de Madrid, Spain

SUMMARY

EDITORIAL: NATURAL VENTILATION AND INDOOR AIR QUALITY IN EDUCATIONAL BUILDINGS VENTILACIÓN NATURAL Y CALIDAD DEL AIRE INTERIOR EN EDIFICIOS DE USO DOCENTE Inmaculada Martínez Pérez _____	4
---	----------

ARTICLES

THE COLLECTION OF ENVIRONMENTAL DATA IN THE ANALYSIS OF THE HYGROTHERMAL AND AIR QUALITY BEHAVIOR OF A CAVE HOUSE IN ALMERÍA LA TOMA DE DATOS MEDIOAMBIENTALES EN EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIGROTÉRMICO Y DE CALIDAD DEL AIRE DE UNA CASA CUEVA EN ALMERÍA Luis Jiménez López _____	9
INTERIOR AIR QUALITY AND THERMAL BRIDGES: A TWO-WAY PATH CALIDAD DEL AIRE INTERIOR Y PUENTES TÉRMICOS: UN CAMINO DE IDA Y VUELTA Marta Epelde Merino & Iñaki del Prim Gracia _____	22
THE CO₂ ASSESSMENT IN A SCHOOL CLASSROOM FOR AN OPTIMAL NATURAL VENTILATION STRATEGY EVALUACIÓN DE CO ₂ EN UN AULA ESCOLAR PARA UNA ESTRATEGIA DE VENTILACIÓN NATURAL ÓPTIMA Patricia Guijarro Miragaya, Tania Estay Leal, Lucía Patrón Saade & Ricardo Tendero Caballero _____	29
REAL ESTATE DUE DILIGENCE LA <i>DUE DILIGENCE</i> INMOBILIARIA Gregorio García López de la Osa & Ricardo Tendero Caballero _____	44
USE OF FILTERS AND SPECIAL MATERIALS IN CLASSROOMS, BASED ON THE ASSESSMENT OF THE PRESENCE OF CO₂ AS AN INDICATOR OF COVID REDUCTION AND CONTROL IN CLOSED SPACES USO DE FILTROS Y MATERIALES ESPECIALES EN AULAS, BASADO EN LA EVALUACIÓN DE PRESENCIA DE CO ₂ COMO INDICADOR DE REDUCCIÓN Y CONTROL DE COVID EN ESPACIOS CERRADOS María Catalina Bohorquez, Jose Luis Chapa, Darío López, María Alejandra Manrique, Cristian Miranda & Ricardo Tendero Caballero _____	51

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

63

DIGITAL EDITION

A digital version of this issue is available to readers, accessible and downloadable at <http://polired.upm.es/index.php/bm/issue/archive> of the journal.

Existe a disposición de los lectores una versión digital del presente número, accesible y descargable en: <http://polired.upm.es/index.php/bm/issue/archive> of the journal.

EDITORIAL

BUILDING & MANAGEMENT SEPTEMBER—DECEMBER 2021
<http://dx.doi.org/10.20868/bma.2021.3.4708>

INMACULADA MARTÍNEZ PÉREZ

BUILDING & MANAGEMENT

VENTILACIÓN NATURAL Y CALIDAD DEL AIRE INTERIOR EN EDIFICIOS DE USO DOCENTE

NATURAL VENTILATION AND INDOOR AIR QUALITY IN EDUCATIONAL BUILDINGS

Después de los meses de pandemia que nuestra sociedad está sufriendo y gracias al esfuerzo de muchos científicos e ingenieros con muchos años de experiencia en investigación colectiva relacionada con la calidad del aire en interiores, no cabe ya ninguna duda sobre la transmisión del coronavirus a través de la inhalación de aerosoles, partículas inferiores a $100\mu\text{m}$, posiblemente como vía dominante.

Esto no quiere decir que la transmisión vinculada a las gotitas balísticas no tenga que seguir evitándose con distancia, mascarillas e higiene de manos.

Los expertos siguen analizando datos fundamentales sobre el comportamiento del coronavirus y su transmisión, confirmando en sus análisis que no todas las personas infectadas son igualmente contagiosas, que el tamaño de los aerosoles y la cantidad de virus exhalado varía según la etapa de la infección y con el tipo de actividad de la persona infectada. Está claro que si sabemos cómo se comporta el coronavirus podemos evaluar el riesgo y podemos dar soluciones.

Una de las preguntas fundamentales es el tiempo que permanece infeccioso el SARS-CoV-2 en los aerosoles y parece que según varios estudios realizados la vida útil puede ser de una a dos horas a una temperatura ambiente de alrededor de 20°C . Esta conclusión refuerza la idea de que las personas con alto riesgo que tengan que acudir a espacios públicos interiores lo hagan a primera hora.

La temperatura y la humedad también afecta a la supervivencia del virus en el aire. Las bajas temperaturas pueden ayudar a aumentarla considerablemente, y la humedad relativa más baja puede también aumentarla, ya

After the pandemic months that our society is suffering and thanks to the efforts of many scientists and engineers with many years of experience in collective research related to indoor air quality, there is no longer any doubt about the transmission of the coronavirus through inhalation of aerosols, particles smaller than $100\mu\text{m}$, possibly as the dominant route.

Nevertheless, it is still very important to continue with the prevention of transmission linked to ballistic droplets with distance, masks and hand hygiene.

Experts continue to analyse key data on coronavirus behaviour and transmission, confirming in their analyses that not all infected persons are equally contagious, that the size of aerosols and the amount of virus exhaled varies with the stage of infection and with the type of activity of the infected person.

If we know how the coronavirus behaves, we can assess the risk and can provide solutions.

One of the fundamental questions is how long SARS-CoV-2 remains infectious in aerosols and it appears from several studies that the lifespan may be one to two hours at an ambient temperature of around 20°C .

This conclusion reinforces the idea that people at high risk who need to go indoors in public places should do so first thing in the morning.

Temperature and humidity also affect the survival of the virus in the air. Low temperatures can help to increase this conside-

que con porcentajes altos de humedad superiores al 85% los aerosoles se asentarian en el suelo más rápido, aunque este factor sólo importa la para la transmisión interior a largo alcance.

Por lo tanto, para intentar establecer el tiempo que el virus permanece en el aire de un espacio cerrado, con la capacidad de infectar, se tendrá en cuenta el tamaño del aerosol que la transporta y el movimiento de aire que se produce en el interior de ese espacio.

Las instalaciones de climatización son un gran aliado que puede ayudar a evitar contagios facilitando el remplazo del aire del espacio interior por aire exterior. Cuando no es posible garantizar la calidad del aire interior por medios mecánicos la ventilación natural se convierte en el único recurso.

Y el uso para el que está previsto cada edificio implica unas necesidades de ventilación diferentes. En concreto, en este número se han analizado en varios artículos las condiciones de ventilación natural de centros docentes en los que el número de personas en cada aula, el tipo de actividad que realizan, las condiciones del entorno próximo a los huecos acristalados, sus dimensiones y el volumen de la propia aula, entre otros, condiciona la capacidad de ese espacio de generar una renovación de aire con aire del exterior.

De todos los espacios estudiados en los artículos de este número, el más desfavorable, teniendo en cuenta las condiciones del entorno, el volumen del aula, el número de personas en su interior y las dimensiones de los huecos, ventanas y puerta, con los que se puede hacer un intercambio de aire con el exterior, ha permitido extraer una serie de conclusiones de mínimos que pueden ser útiles a la hora de establecer los tiempos de ventilación natural durante el próximo invierno.

Todas las mediciones que se han realizado han estado vinculadas al análisis de la acumulación y disipación de CO₂ en el interior del aula, para así poder establecer la velocidad con la que ese espacio puede acumular aire viciado o ser capaz de eliminarlo. En todos los casos se utilizaron sensores de CO₂ de referencia comercial Wohler-cdl-210, calibrados.

En concreto se ha analizado durante varios meses del invierno del 2020 la situación del aula 2EF del Instituto Ramiro de Maeztu. En uno de los artículos publicados en este número, "P. Guijarro, T. Estay, L. Patrón and R. Tendero Caballero, "CO₂ assessment in a school classroom for an optimal natural ventilation strategy" *Building & Management*, vol. 5 (3), pp. 29-43, 2021", se realizaron también otros ensayos puntuales en esta misma aula y en el artículo quedan recogidas las condiciones generales del aula, de su entorno y de sus ocupantes.

A partir de los casos de estudio realizados durante semanas completas de medición en esta aula, se han podido observar las condiciones de ventilación del aula en la situación natural de uso y de apertura y cierre de ventanas durante el uso diario habitual del aula y también se han podido establecer los valores máximos y mínimo de concentración de CO₂ obtenidos durante la jornada lectiva, de modo que se reconocen tres hitos, que en las tres mediciones distintas muestran resultados similares entre sí.

Por un lado, en todas las mediciones de jornada completa se observa que, durante el período de recreo, en el cual no hay alumnos en la sala, el nivel de CO₂ alcanza los mínimos. Un segundo hito reconoce el cierre de persianas el cual afecta en

rably, and lower relative humidity can also increase it, as at high humidity percentages above 85% aerosols will settle to the ground more quickly, although this factor only matters for long-range indoor transmission.

Therefore, to try to establish how long the virus remains airborne in an enclosed space, with the ability to infect, the size of the aerosol carrying it and the air movement within that space will be considered.

Air-conditioning systems are a great ally that can help to avoid contagion by facilitating the replacement of indoor air with outdoor air.

When it is not possible to guarantee indoor air quality by mechanical means, natural ventilation becomes the only recourse.

And the intended use of each building implies different ventilation needs. Specifically, several articles in this issue have analysed the natural ventilation conditions of educational buildings in which the number of people in each classroom, the type of activity they carry out, the conditions of the surroundings near the glazed openings, their dimensions, and the volume of the classroom itself, among others, determines the capacity of this space to generate air renewal with outside air.

Of all the spaces studied in the articles in this issue, the most unfavourable, considering the conditions of the environment, the volume of the classroom, the number of people inside and the dimensions of the openings, windows and door, with which air can be exchanged with the outside, has enabled a series of minimum conclusions to be drawn that may be useful when establishing natural ventilation times during the coming winter.

All measurements were linked to the analysis of CO₂ accumulation and dissipation inside the classroom, to establish the rate at which the space can accumulate stale air or be able to remove it. In all cases, calibrated Wohler-cdl-210 CO₂ sensors were used.

Specifically, the situation in the 2EF classroom at the Ramiro de Maeztu Institute was analysed for several months during the winter of 2020. In one of the articles published in this issue, "P. Guijarro, T. Estay, L. Patrón and R. Tendero Caballero, "CO₂ assessment in a school classroom for an optimal natural ventilation strategy" *Building & Management*, vol. 5 (3), pp. 29-43, 2021", other specific tests were also carried out in this same classroom and the article includes the general conditions of the classroom, its environment, and its occupants.

Based on the case studies carried out during complete weeks of measurements in this classroom, it has been possible to observe the ventilation conditions of the classroom in the natural situation of use and the opening and closing of windows during the normal daily use of the classroom, and it has also been possible to establish the maximum and minimum values of CO₂ concentration obtained during the school day, so that three milestones can be recognised, which in the three different measurements show similar results to each other.

On the one hand, all full-day measurements show that during the break period, when there are no pupils in the room, the CO₂ level reaches the minimum. A second milestone recognises the closing of blinds which affects a rise in CO₂ in both cases and thirdly, it is observed that the opening and closing of win-

un alza de CO₂ en ambos casos y en tercer lugar se observa que la apertura y cierre de ventanas genera fluctuaciones destacables en un corto período de tiempo.

Esta información ha sido fundamental para poder diseñar el experimento de casos de estudios puntuales que se han realizado en distintos días lectivos durante las clases y, dado que no se ha podido contar con un purificador con filtros que pudiera garantizar la calidad del aire con puerta y ventanas cerradas, este conocimiento ha permitido tomar la decisión del establecimiento de los valores límite de concentración de CO₂ que no debían sobrepasarse durante la fase de cierre de huecos (puerta y ventanas), manteniéndose este valor en las 1000ppm, y los valores mínimos de concentración de CO₂ que iban a servir para establecer el tiempo necesario para disipar el CO₂ del aula en las fases de apertura de puerta y ventanas, estableciendo este valor en 700ppm.

Las conclusiones fundamentales de los casos de estudio realizados en el aula mencionada pueden extraerse como datos interesantes a tener cuenta para cualquier aula docente y para decidir cuales son las estrategias más adecuadas de ventilación natural de ese tipo de habitáculos durante el próximo invierno:

- ◆ Cuando se procede al cierre al 100% de la puerta del aula y del 100% de la superficie de apertura de las ventanas, se supera la concentración de 1000 ppm de CO₂ en un rango de tiempo entre los 4 y los 9 minutos en las distintas zonas del aula.
- ◆ La apertura del 100% del total de la superficie posible de ventanas y el 100% de la puerta del aula garantiza un nivel bueno de ventilación, manteniendo la concentración de CO₂ por debajo de las 800ppm.
- ◆ La apertura del 50% del total de la superficie posible de ventanas y el 100% de la puerta del aula logra garantizar también un nivel bueno de ventilación manteniendo la concentración de CO₂ por debajo de las 800ppm.
- ◆ No ha podido analizarse la ventilación natural que proporciona la apertura de porcentajes inferiores del 50% del total de la superficie posible de ventanas, además del 100% de la puerta del aula, dado que, al no contar con un purificador con filtros HEPA, con filtros mínimos MERV 13, no se podría haber garantizado la seguridad para los alumnos y profesores en caso de que hubiera algún positivo asintomático en el aula, y este experimento difería de las situaciones naturales a las que está expuesta el aula durante la semana.

En todo caso, de los datos de medición continuada realizados en las distintas fechas, se ha podido analizar la influencia en la ventilación natural del aula vinculada con la reducción de la apertura de ventanas provocada por el cierre parcial o total de las persianas, concluyéndose que cuando se cierran las persianas en un proporción cercana al 100% de la superficie de apertura posible (por evitar la radiación solar directa, al tener el aula orientación sur, o para garantizar la visibilidad de la pizarra electrónica), el efecto que se produce es similar al del cierre completo de las ventanas sobrepasando en pocos minutos la concentración de 1000 ppm de CO₂.

- ◆ La zona del aula que experimenta unos niveles mayores de concentración de CO₂ coincide con la ubicación de sensores con mayor concentración de personas en una menor superficie, en el caso de los casos de estudio analizados en

dows generates significant fluctuations in a short period of time.

This information has been fundamental in order to design the case study experiment that has been carried out on different school days during classes and, given that it has not been possible to have a purifier with filters that could guarantee the quality of the air with the door and windows closed, this knowledge has made it possible to make the decision to use the air purifier with a filter that could guarantee the quality of the air with the door and windows closed, This knowledge made it possible to take the decision to establish the limit values of CO₂ concentration that should not be exceeded during the closing phase (door and windows), keeping this value at 1000ppm, and the minimum values of CO₂ concentration that were to be used to establish the time needed to dissipate the CO₂ from the classroom during the door and window opening phases, setting this value at 700ppm.

The fundamental conclusions of the case studies carried out in the classroom can be extracted as interesting data to be taken into account for any teaching classroom and to decide which are the most appropriate natural ventilation strategies for this type of room during the coming winter:

- ◆ When 100% of the classroom door and 100% of the opening surface of the windows are closed, the concentration of 1000 ppm CO₂ is exceeded in a time range between 4 and 9 minutes in the different areas of the classroom.
- ◆ Opening 100% of the total possible area of windows and 100% of the classroom door ensures a good level of ventilation, keeping the CO₂ concentration below 800ppm.
- ◆ Opening 50% of the total possible window area and 100% of the classroom door also ensures a good level of ventilation while keeping the CO₂ concentration below 800ppm.
- ◆ It was not possible to analyse the natural ventilation provided by opening less than 50% of the total possible surface area of windows, in addition to 100% of the classroom door, given that, in the absence of a HEPA filter purifier with minimum MERV 13 filters, it would not have been possible to guarantee safety for students and teachers in the event of any asymptomatic positive in the classroom, and this experiment differed from the natural situations to which the classroom is exposed during the week.

In any case, from the continuous measurement data taken on the different dates, it was possible to analyse the influence on the natural ventilation of the classroom linked to the reduction in the opening of windows caused by the partial or total closure of the blinds, It was concluded that when the blinds are closed to a proportion close to 100% of the possible opening area (to avoid direct solar radiation, as the classroom faces south, or to guarantee the visibility of the electronic whiteboard), the effect produced is similar to that of completely closing the windows, exceeding the concentration of 1000 ppm of CO₂ in just a few minutes.

- ◆ The area of the classroom that experiences higher levels of CO₂ concentration coincides with the location of sensors with a higher concentration of people in a smaller area; in the case of the case studies analysed in this work, the

este trabajo, los mayores valores de concentración de CO₂ en las mediciones se registran en los sensores situados en el centro del aula, rodeados de alumnos.

La zona del aula que experimenta unos niveles menores de disipación de CO₂ cuando se procede a la apertura de puerta y ventanas, coincide con la única esquina que está alejada de la puerta de acceso y de las ventanas, como era previsible, obteniéndose en el sensor situado en dicha esquina, mayores valores de tiempo para alcanzar reducciones de concentración de CO₂ (de 1000ppm a 700ppm) en comparación con los valores de tiempo registrados en los sensores situados en otras zonas del aula.

También se han encontrado diferencias significativas en los niveles de disipación de concentración de CO₂ que experimenta el aula en las distintas alturas, obteniéndose valores de tiempo de disipación inferiores para sensores situados a la altura de la cabeza de los alumnos cuando estos están de pie, que los valores de tiempo de disipación obtenidos en sensores situados a la altura de las rodillas de los alumnos cuando estos están sentados.

- ◆ Al no disponer el aula analizada de otra sala enfrentada en el pasillo que habitualmente tenga la puerta y ventanas abiertas, no ha podido estudiarse una posible ventilación cruzada, no obstante, se ha intentado analizar la influencia de la apertura de las ventanas del pasillo de planta, aunque su posición, a alrededor de 15 metros de la puerta del aula y en la parte de la base de la U que forma el pasillo, no permita de forma evidente garantizar que pueda existir dicha ventilación cruzada.

En ese sentido, de los resultados obtenidos en los distintos casos de estudio se puede concluir, que cuando se genera una ventilación natural con las máximas aperturas de huecos de ventana de aula y puertas y además están abiertas las ventanas del pasillo, los tiempos en los que se genera la disipación del CO₂ concentrado en el aula son una sexta parte del tiempo necesario para disipar el CO₂ cuando las ventanas del pasillo están cerradas.

No obstante, dado que la ventilación natural cruzada, siempre va a depender de las diferencias de temperatura y presión y de la velocidad del viento exterior, siempre habrá variables, influenciadas por las condiciones meteorológicas del momento que puedan implicar una variación en dichos resultados.

En este edificio estudiado, el punto fijo puede ejercer mayor variabilidad en la ventilación cruzada en la medida en que se controlen las aperturas de las otras ventanas de pasillo de los otros pisos, la apertura de las puertas de acceso principales y secundarias.

- ◆ Las recomendaciones que desprenden de las conclusiones obtenidas con este estudio coinciden con las conclusiones de otros ejercicios realizados por otros investigadores en los que se recomienda mantener abiertas las ventanas en la mayor área posible, incluso con ayuda de filtros HEPA según las condiciones de ventilación y evitar cerrar las ventanas pues se alcanza rápidamente niveles superiores a las 1000ppm que son los máximos recomendados por la OMS. Por lo tanto, estos resultados se encuentran alineados con los resultados obtenidos de las investigaciones analizadas previamente, en donde de mantenerse las ventanas cerradas no se cumple con los estándares óptimos para el nivel de educación, no obstante, como una futura línea de investigación se podrían realizar mediciones con

highest CO₂ concentration values in the measurements are recorded in the sensors located in the centre of the classroom, surrounded by students.

The area of the classroom that experiences lower levels of CO₂ dissipation when the door and windows are opened coincides with the only corner that is far from the access door and the windows, as expected, with the sensor located in this corner obtaining higher time values to reach CO₂ concentration reductions (from 1000ppm to 700ppm) compared to the time values recorded in the sensors located in other areas of the classroom.

Significant differences were also found in the levels of CO₂ concentration dissipation experienced in the classroom at different heights, with lower dissipation time values obtained for sensors located at the height of the students' heads when they are standing than the dissipation time values obtained for sensors located at the height of the students' knees when they are seated.

- ◆ As the classroom analysed does not have another room facing it in the corridor that usually has its door and windows open, it was not possible to study possible cross-ventilation. However, an attempt was made to analyse the influence of opening the windows in the floor corridor, although their position, around 15 metres from the classroom door and in the part of the base of the U that forms the corridor, does not clearly guarantee that there could be such cross-ventilation.

In this sense, from the results obtained in the different case studies, it can be concluded that when natural ventilation is generated with the maximum openings of classroom windows and doors and the corridor windows are also open, the times in which the dissipation of the CO₂ concentrated in the classroom is generated are one-sixth of the time needed to dissipate the CO₂ when the corridor windows are closed.

However, since natural cross ventilation will always depend on differences in temperature and pressure and outside wind speed, there will always be variables, influenced by the weather conditions at the time, which may imply a variation in these results.

In this building studied, the fixed point can exert greater variability in cross ventilation to the extent that the openings of the other corridor windows on the other floors, the opening of the main and secondary access doors are controlled.

- ◆ The recommendations that emerge from the conclusions obtained with this study coincide with the conclusions of other exercises carried out by other researchers in which it is recommended to keep the windows open in the largest possible area, even with the help of HEPA filters depending on the ventilation conditions and to avoid closing the windows as levels above 1000ppm, which are the maximum recommended by the WHO, are quickly reached. Therefore, these results are in line with the results obtained from previously analysed research, where keeping the windows closed does not meet the optimal standards for the level of education, however, as a future line of research, measurements could be carried out with

diferentes temperaturas y condiciones climáticas.

En ese sentido, pueden realizarse una serie de recomendaciones concretas, para esta aula analizada que podrían ser extrapolables como mínimos recomendados para otros edificios docentes:

- No cerrar las ventanas y puerta del aula más de 5 minutos, ya que con ese tiempo es suficiente para que la concentración de CO₂ supere las 1000ppm.
- Pueden abrirse las ventanas en un 50% de su superficie total de apertura ya que con esta superficie es suficiente para garantizar niveles de alrededor de 800ppm de concentración de CO₂.
- Procurar no cerrar las persianas en porcentaje superior al 50% de la superficie de apertura de ventana total y que si se cierran al 100% el efecto es similar al de ventanas cerradas y se alcanzan las 1000ppm en pocos minutos, y en cambio con el 50% de la superficie de persiana y ventana abierta se ha comprobado que la concentración de CO₂ no supera dicho valor.
- En la medida de lo posible favorecer la ventilación cruzada con la apertura de las ventanas del pasillo, ya que en los distintos casos de estudio analizados ha podido demostrarse que los tiempos de disipación son seis veces más rápidos con dichas ventanas abiertas.
- Además, se recomienda tener en cuenta las estimaciones que han realizado los expertos en aerosoles sobre el modo más adecuado de gestionar los cuartos de baño siguiendo las recomendaciones que ha realizado la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), al respecto: <https://www.atecyr.org/search.php?q=covid> y las analizadas por los científicos internacionales que están desarrollando modelos matemáticos para estimar el riesgo de infección, o en su defecto, la exposición, que pueden encontrarse en <http://tinyurl.com/covid-estimator>

different temperatures and climatic conditions.

In this sense, a series of concrete recommendations can be made for this classroom, which could be extrapolated as minimum recommendations for other educational buildings:

- Do not close the windows and door of the classroom for more than 5 minutes, as this is enough time for the CO₂ concentration to exceed 1000ppm.
- Windows can be opened to 50% of their total opening area as this is sufficient to ensure levels of around 800ppm CO₂ concentration.
- It is important not to close the blinds in a percentage higher than 50% of the total window opening surface and that if they are closed at 100% the effect is similar to that of closed windows and 1000ppm are reached in a few minutes, and on the other hand with 50% of the surface of the blind and window open it has been proven that the CO₂ concentration does not exceed this value.
- As far as possible, cross-ventilation should be encouraged by opening the corridor windows, as it has been shown in the various case studies analysed that the dissipation times are six times faster with these windows open.
- In addition, it is recommended to take into account the estimates made by aerosol experts on the most appropriate way to manage bathrooms following the recommendations made by the Spanish Technical Association of Air Conditioning and Refrigeration (ATECYR): <https://www.atecyr.org/search.php?q=covid> and those analysed by international scientists who are developing mathematical models to estimate the risk of infection or, alternatively, exposure, which can be found at <http://tinyurl.com/covid-estimator>.



The collection of environmental data in the analysis of the hygrothermal and air quality behavior of a cave house in Almería

La toma de datos medioambientales en el análisis del comportamiento higrotérmico y de calidad del aire de una casa cueva en Almería

LUIS JIMÉNEZ LÓPEZ

Graduado en Ingeniería de Edificación y Arquitecto Técnico. Instituto Nacional de las Cualificaciones. Ministerio de Educación y Formación Profesional. C/ Paseo del Prado 28, 1º planta. luis.jimenez@educacion.gob.es

The Technical Building Code (CTE) is the regulatory framework that regulates the basic quality requirements that buildings must meet. The basic documents of the CTE, characterize the basic requirements (energy saving, protection against humidity, indoor air quality, among others) and quantify them, establishing levels or limit values. They also establish procedures whose use proves compliance with the basic requirements, specified in the form of verification methods or solutions sanctioned by practice.

We must not forget the requirements established by other regulations and that affect housing, as is the case of the Regulation of Thermal Installations in Buildings (RITE), related to welfare and hygiene, especially related to the requirement of thermal quality of the environment.

In order to investigate and justify the technical requirements established by the regulations, especially those related to indoor environmental parameters (temperature, humidity, wind speed, CO₂,...), a multidisciplinary training is necessary, and the use of multiple equipment and tools is also necessary, of associated software for verification. But the most appropriate methodology for its justification is not specified. This is the challenge assumed in a study case for the justification of the requirements in a cave-house in Almería.

Basic requirements, welfare conditions, environmental parameters, habitability, cave houses

El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco normativo por el que se regulan las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios. Los Documentos Básicos del CTE, caracterizan las exigencias básicas (ahorro de energía, protección frente a la humedad, calidad del aire interior, entre otras) y las cuantifica, estableciendo niveles o valores límite. También establecen procedimientos cuya utilización acredita el cumplimiento de las exigencias básicas, concretados en forma de métodos de verificación o soluciones sancionadas por la práctica.

No hay que olvidar las exigencias establecidas por otras reglamentaciones y que afectan a las viviendas, como es el caso del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), relacionado con el bienestar e higiene, especialmente la relativa a la exigencia de calidad térmica del ambiente.

Para poder investigar y justificar las exigencias técnicas establecidas por los reglamentos, especialmente las relacionadas con los parámetros medioambientales interiores (temperatura, humedad, velocidad del viento, CO₂,...) es necesario una formación pluridisciplinar, siendo necesario el uso de múltiples equipos y herramientas además de software asociado para la verificación. Pero no se especifica la metodología más apropiada para su justificación. Este es el reto asumido en un caso de estudio para la justificación de las exigencias en una casa cueva en Almería.

Exigencias básicas, condiciones de bienestar, parámetros medioambientales, habitabilidad, casas-cueva

1. INTRODUCCIÓN

La Junta de Andalucía en 2018 publicó el Decreto 28/2016 [1], de 2 de febrero, de las viviendas con fines turísticos y

de modificación del Decreto 194/2010, de 20 de abril, de establecimientos de apartamentos turísticos, dando solución, en parte, a las casa-cueva que existen en Andalucía, incorpo-

rando esta definición y tipología: “3.2 Ciudad. Casas-cueva: modelo de vivienda troglodita excavada en materiales blandos e impermeables de zonas rocosas. Se admite hasta un 50% de la superficie útil en construcción tradicional, debiendo asegurar una adecuada ventilación directa de las estancias sin ventana exterior”.

Recientemente se ha publicado en el Decreto-ley 3/2019 [2], de 24 de septiembre, de medidas urgentes para la adecuación ambiental y territorial de las edificaciones irregulares en la Comunidad Autónoma de Andalucía. En él se especifica, “que a pesar de la abundante producción normativa, no han conseguido solucionarse los problemas asociados a las **edificaciones irregulares**, lo que en gran medida se debe a que la regulación vigente en el ordenamiento jurídico andaluz sobre esta materia resulta extraordinariamente desordenada y compleja, lo que genera un escenario de incertidumbre e inseguridad jurídica” y por otro, “la existencia de graves riesgos sanitarios originados por vertidos incontrolados debido a la inexistencia de saneamiento y la aparición de una emergente economía sumergida...”. Muchas de estas edificaciones irregulares, están las consideradas como casas-cueva, especialmente en el ámbito rural.

De un total de unas 500.000 edificaciones existentes en suelo no urbanizable en Andalucía, alrededor de 300.000 edificaciones son irregulares, de las cuales tan sólo han sido declaradas en **asimilado a fuera de ordenación** y por consiguiente han podido acceder a los suministros básicos en condiciones mínimas de seguridad y salubridad, un 26% de dichas viviendas.

En España existe poca regulación (leyes y reglamentos urbanísticos nacionales, autonómicos o planes urbanísticos de ayuntamientos) en relación a las casas-cueva con el fin de legalizarlas como vivienda. Solo el Decreto 117/2006 [3], por el que se regulan las condiciones de habitabilidad de las viviendas y el procedimiento para la obtención de la cédula de habitabilidad en Canarias, define a las casas-cueva, como aquellas cuevas que hayan sido objeto de una transformación con el fin de destinarlas a un uso residencial, y que, a la fecha de publicación de esta norma, vinieran destinándose, con carácter permanente o por temporada, a ese uso.

Para que las casas-cueva puedan contar con cédula de habitabilidad, deberán cumplirse las condiciones mínimas establecidas, entre las que podemos citar: un informe municipal sobre su uso residencial, que deberá basarse en pruebas documentales y la certificación de técnico competente debidamente visada acreditativa de la adecuada seguridad estructural de la casa-cueva.

Este conjunto de condiciones debe justificarse documentalmente, que en el caso de una casa-cueva, destacan las referidas a las de habitabilidad, especialmente la justificación de los parámetros medioambientales interiores (humedad, temperatura y calidad del aire), siendo estos los más cuestionados

desde el origen de este tipo de construcciones artificiales, siendo exigidas actualmente por el Código Técnico de la Edificación [4] y el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los edificios [5], entre otros.

En el caso de Canarias, alguna de las exigencias, sí que están adaptadas a casas-cuevas, como por ejemplo:

- ◇ El edificio ha de estar protegido contra humedad exterior en cubiertas, soleras y fachadas, en particular las expuestas al viento dominante, y contra la humedad interior en las superficies expuestas a salpicaduras.
- ◇ Las cubiertas y fachadas deberán alcanzar al menos un 50% de los niveles de aislamiento térmico y acústico exigidos en la normativa vigente.
- ◇ Los huecos abiertos al exterior o patio han de sumar al equivalente de al menos un 3% de la superficie interior de la vivienda.
- ◇ El hueco de ventilación será como mínimo la mitad del disponible para iluminación.
- ◇ La cocina y cuarto higiénico tendrán extracción forzada natural o mecánica, y un hueco de entrada de aire en la proximidad del pavimento y otro de salida de aire usado en la proximidad del techo, ambos de 100 cm² como mínimo.

Según López Frías [6], *el interés por la conservación y protección de las casas cueva tiene un carácter multidisciplinar.*

Por lo tanto, el objetivo de este análisis es comprobar en un caso de estudio con ayuda de equipos y medios adecuados el comportamiento higrotérmico (humedad y temperatura) y la calidad del aire interior (CO₂), parámetros para la justificación del cumplimiento de las exigencias técnicas establecidas en el CTE y RITE, como comentamos anteriormente.

2. METODOLOGÍA. CASO DE ESTUDIO

Para hacer un análisis para verificar el cumplimiento del conjunto de condiciones, en especial las referidas a la habitabilidad (comportamiento higrotérmico y de calidad del aire), se ha elegido un caso de estudio de casa-cueva ubicada en la localidad de Cuevas del Almanzora en Almería.

La localidad de Cuevas de Almanzora presenta muchos barrios y pedanías donde se concentra gran parte del hábitat excavado (ver figura 1). Según estimaciones por parte del ayuntamiento, en la localidad existen unas 800 cuevas, de las que unas 260 están rehabilitadas bien como casas-cuevas, apartamentos de turismo rural o viviendas cueva. El resto se considera simplemente cuevas, a la espera de rehabilitación funcional.

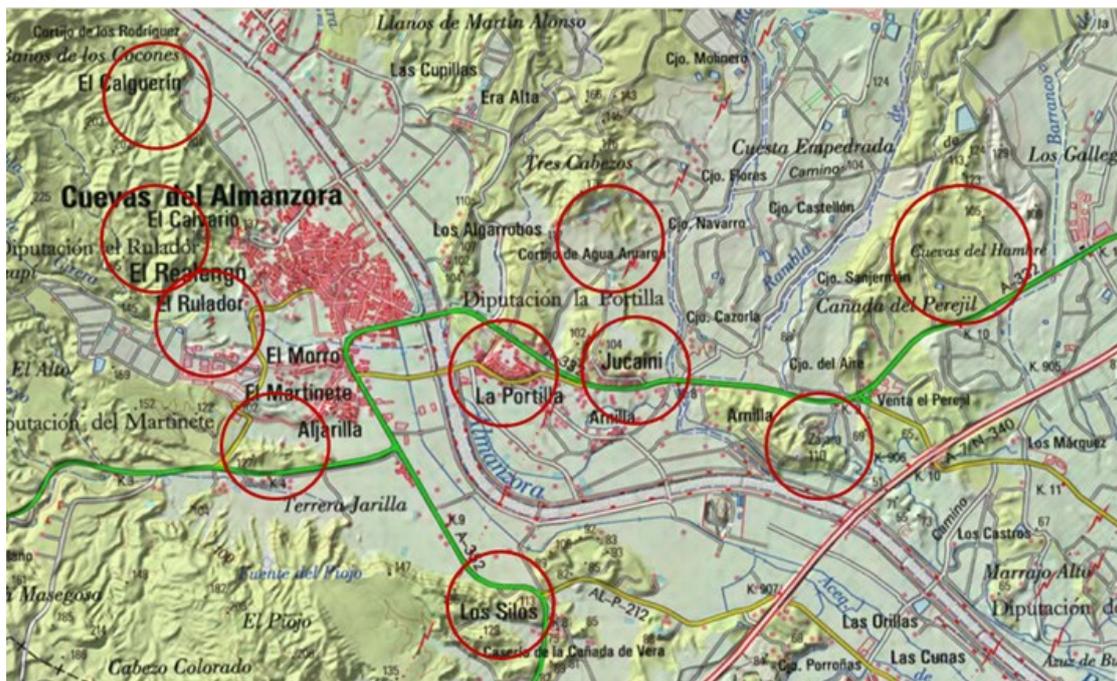


Fig. 1. Zona de concentración de hábitat excavado en Cuevas del Almanzora.

La tipología constructiva en el hábitat excavado de la localidad es muy variada, por lo que atendiendo al aspecto exterior y forma de las fachadas, según indica Gil Albarracín [16] y otros autores que elaboraron la guía de Arquitectura Subterránea en Andalucía [12], podemos encontrar los siguientes tipos:

◆ *Fachada de destierro*

Aquellas en las que se ha aprovechado el corte del terreno para la fachada inclinada o se ha utilizado para allanar la placeta o acceso delantero, sin apenas obra de albañilería (solo la fijación de los marcos de puertas y ventanas) y fachada blanqueada de cal (figura 2).



Fig. 2. Detalle de cueva con fachada enlucada sin apenas obra.

◆ *Fachada de obra*

Consistente en preparar y adecuar la fachada excavada al cerro que sirve de con obra de fábrica, bien para para ocultar la cueva como tal (ver figura 3) o muro construido que sirve para contención y protección de humedades, dotado de cornisas, vuelos y canales, para evacuar las aguas de escorrentía.



Fig. 3. Cueva con fachada de obra.

◆ *Cuevas con porche*

Para ocultar por un lado la cueva y simular viviendas unifamiliares o simplemente para adecuar o proteger la placeta o acceso es corriente que se usen porches adintelados o con arcos (figura 4).



Fig. 4. Ejemplo de cueva con fachada de obra.

◆ Casa - cueva o vivienda cueva

Es el resultado de la construcción delante de la cueva de una edificación de una o más plantas. En muchas ocasiones se ha utilizado este sistema para adecuarlas al modo de vivienda unifamiliar e integrarse en el entorno, no dando la sensación exterior de cueva (figura 5).



Fig. 5. Ejemplo de casa cueva o vivienda cueva.

Para seleccionar la muestra representativa para caso de estudio, he seleccionado una tipología de casa-cueva que cumple dos requisitos fundamentales: **ser residencia habitual y estar adecuada para el uso como vivienda**. Tanto Sorroche Cueva [9] como Urdiales Viezma [10], ha estudiado distintas zonas de Andalucía, especialmente en la provincia de Granada [11], indicando el objeto de recuperación vernácula de la zona y modelos de viviendas de futuro.

2.1. CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio de esta investigación está situado en las afueras del municipio de Cuevas del Almanzora (Almería), en la zona situada en la Cañada del Hambre.

El municipio cuenta con Plan General de Ordenación Urbana,

y en sus Normas Urbanísticas solo establece en el apartado 9.2.18., la *imagen y conservación de las casas – cueva*, permitiendo las obras de mantenimiento y mejora de fachada y de reparación de acabados (con licencia de obra menor) e incluso la posibilidad de adecuación funcional completa o ampliación, para lo que obliga a un estudio geotécnico y licencia de obra mayor, para evitar en lo posible accidentes, como el que ocurrió en la localidad en octubre de 2011, en el que murieron 3 personas (figura 6) que trabajaban en una cueva quedando sepultada por derrumbe de parte de la montaña.



Fig. 6. Accidente de 2001 de derrumbe de tierras en una casa cueva.

La casa-cueva elegida (figura 7) cumple los requisitos de partida, ya que pertenece a un matrimonio con residencia habitual en ella, que decidieron rehabilitarla en 2004, la cueva que pertenecía a sus abuelos.

Está situada en un “cabezo” a una altura de 105 m sobre el nivel del mar, a unos 7,5 km de la costa de Almería. La parcela, desde el punto de vista catastral, es muy grande. Además, recientemente se ha registrado el porche y un almacén, sin que pudiese registrar la parte de casa-cueva excavada en la montaña, pendiente de actuaciones del catastro. La fachada es **ESTE**, según la figura 8 del documento DA/DB HE1 del CTE.



Fig. 7. Detalle de cueva rehabilitada caso de estudio en Cuevas de Almanzora.

La planta de la casa-cueva está compuesta por cinco dormitorios, cocina, salón comedor y baño (figura 8). En total son 116 m² de superficie útil, fruto de la unión de dos cuevas. Es por esto, por lo que la cueva tiene dos accesos: uno de ellos directo por la cocina y el principal, además de otros dos huecos de ventana, uno en un dormitorio y otro en el baño, todos ellos organizados para dar iluminación al interior. También tiene una zona independiente que se usa de garaje y almacén, pero que no está conectado con la cueva.

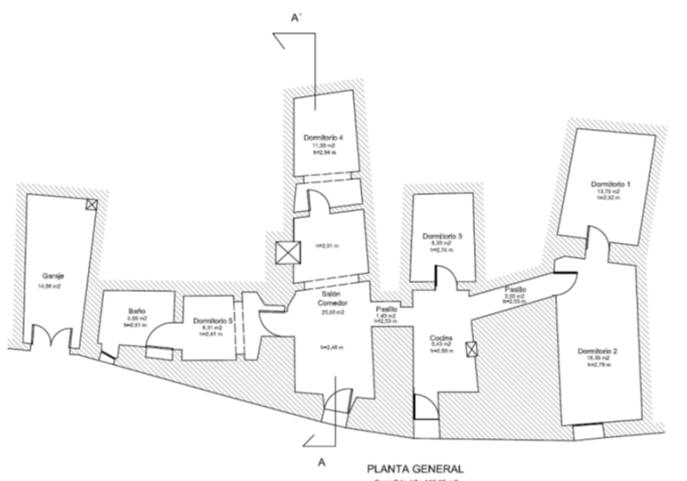


Fig. 8. Planta general de la casa-cueva caso de estudio.

Los muros de fachada son de 1,20 m de media; está excavada en el “cabazo” así como su interior en forma de bóveda, con alturas medias de 3,00 m (ver figura 9). Para las paredes y techos se ha utilizado un revestimiento totalmente transpirable para que se puedan evacuar las humedades que en un principio pudiese tener en el terreno, a base de morteros de cal apagada y yeso. El suelo se ha tratado como una solera con capa de grava, colocando tubos de ventilación, acabándola con suelo cerámico (ver figura 10).

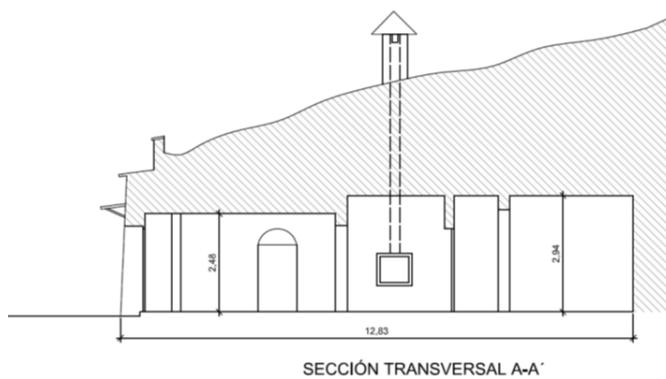


Fig. 9. Detalle sección transversal de la casa-cueva.



Fig. 10. Detalle de huecos de paso y habitaciones para tener luz natural y ventilación.

Para los datos exteriores de humedad relativa, temperatura seca y velocidad del viento (figura 11), se ha tomado la referencia de la estación agroclimática de Cuevas de Almanzora que pertenece al Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de la Junta de Andalucía, con objeto de tener referencia de parámetros medioambientales (especialmente los higrotérmicos) exteriores, siendo las medias y datos característicos de 2019 los indicados a continuación:

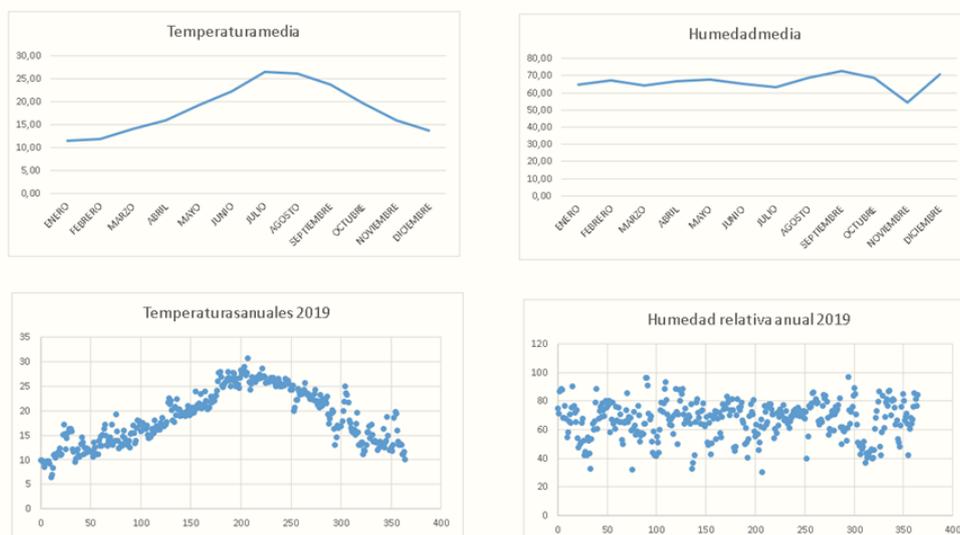


Fig.11. Datos obtenidos estación climática entorno casa cueva del caso de estudio.

2.2. ESTUDIOS REALIZADOS. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Dado que no existe una metodología específica normalizada ni protocolo para la toma de datos (aunque si ejemplos de monitorización de variables medioambientales en edificios [12]), en interiores para casas-cuevas, para este estudio se han realizado una serie de comprobaciones y ensayos, que indico a continuación:

- ◆ Medida de la humedad relativa y temperatura con termohigrómetros (metodología de monitorización mediante el uso de “data logger”).
- ◆ Medida de la calidad del aire, especialmente el CO₂ (metodología de monitorización mediante el uso de “data logger”).
- ◆ Medida de velocidad del viento con anemómetro interior y exterior.

En los estudios se han tenido en cuenta parte de lo recomendado por las normas UNE - EN-ISO 7726[13], UNE – EN-15927[14] y UNE-EN-ISO 16000 [15], en lo referido a la ubicación de los equipos, duración y frecuencia de muestreo. Se ha seguido el siguiente proceso:

- ◇ Datos de partida: forma y tipología de casa cueva.
- ◇ Requisitos y exigencias básicas a justificar.
- ◇ Número, tipos equipos a utilizar (data logger).
- ◇ Ubicación y altura (UNE UNE-EN-ISO-7726/2002).
- ◇ Tiempo necesario de toma de datos.
- ◇ Tratamiento de los datos: reales (media anual) o estadísticos (muestreo), según UNE ISO 15927-1 de 2003.

Con dichas pruebas se han realizado los siguientes estudios y análisis que comentamos a continuación.

2.2.1. MONITORIZACIÓN DE VARIABLES MEDIOAMBIENTALES. TEMPERATURA SECA Y HUMEDAD RELATIVA

Neila [16] define el bienestar ambiental global como el resultado de la interacción compleja de un conjunto de parámetros e indica que el confort térmico es la sensación que expresa el grado de satisfacción de los usuarios de un edificio en relación con el ambiente térmico que se da en su interior.

Entre los parámetros vinculados al bienestar se encuentran los indicados en la tabla 1.

Parámetros geográficos	Latitud
	Altitud
Parámetros climáticos	Temperatura
	Humedad
	Movimiento del aire
	Radiación
Parámetros personales	Actividad
	Arropamiento
	Edad
	Sexo
Parámetros del espacio interior	Previsibilidad subjetiva
	Tiempo de ocupación
	Gradiente vertical de temperatura
	Radiación de onda larga emitida por los paramentos interiores
	Variación periódica de la temperatura
	Asimetría radiante entre paramentos

Tabla 1. Relación de parámetros vinculados al bienestar.

Sin embargo, para manejar una combinación múltiple de parámetros se crearon los índices de bienestar. Lo ideal y más sencillo sería conocer el efecto de dos o más parámetros simples. Pero en función del grado de precisión y objetivo que se quiera alcanzar se agrupan en varios grupos, según se indican en la tabla 2:

Índices de bienestar Directos	Temperatura seca
	Humedad relativa
	Velocidad del aire
Índices de Bienestar Derivados de los Directos	Temperatura Media Radiante
	Temperatura Equivalente
	Temperatura Operativa
	Temperatura Operativa Húmeda
	Temperatura efectiva
Índices de Bienestar Empíricos	Índice de enfriamiento por viento
	Voto medio observado
	Voto medio previsto (VMP)
	Índice de confort ecuatorial
	Porcentaje de personas insatisfechas (PPI)
	Índice de Temperatura húmeda- Temperatura de globo

Tabla 2. Relación de los índices de bienestar.

Son los índices de bienestar directos los más sencillos de obtener pero son los derivados de los directos o los empíricos los que presentan datos más precisos, pero a su vez son más complejos de obtener, necesitando equipamiento especial complementario.

Es el RITE el que establece las condiciones de bienestar térmico interior. Tiene un componente subjetivo y otro objetivo, por ello en su valoración hay que considerar desde el principio éstos aspectos:

- ◆ Recoger el grado de satisfacción de los ocupantes de los edificios o locales de trabajo, integrándolo en los métodos usados de evaluación.
- ◆ Y utilizar una metodología que incluya la magnitud de la temperatura operativa y las variables vinculadas a ésta: temperatura del aire o seca, temperatura radiante media, humedad relativa, velocidad relativa del aire, aislamiento del vestido y la actividad metabólica del individuo.

Se define como temperatura operativa como la temperatura uniforme de un recinto negro imaginario en el que un ocupante intercambiaría la misma cantidad total de energía por radiación y convección en el ambiente, que en el local real no uniforme.

La temperatura operativa es una ponderación de la temperatura radiante media de los cerramientos del local y la temperatura seca del aire, considerando que ambas contribuyen a la temperatura ambiental con sus coeficientes de transferencia de calor radiante y convectivo.

Su expresión es la siguiente, de acuerdo con la norma UNE-EN-ISO 7726:2002 [5] Ergonomía en ambientes térmicos. Instrumentos de medida de las magnitudes física.

Estos métodos se han determinado teniendo en cuenta las posibilidades de medidas "in situ" y las prestaciones de los equipos de medida actuales. En la norma UNE- EN-ISO 7726 se muestran los intervalos de medida, la exactitud de las medidas y los tiempos de respuesta (90%), de los sensores para cada una de las magnitudes (ver tabla 3).

$$t_o = \frac{h_c \cdot t_a + h_r \cdot \bar{t}_r}{h_c + h_r} \quad (1)$$

- t_o es la temperatura operativa
- t_a es la temperatura del aire
- t_r es la temperatura radiante media
- h_r es el coeficiente de intercambio de calor por radiación
- h_c es el coeficiente de intercambio de calor por convección

Por eso, en la práctica, si la velocidad relativa del aire es inferior a 0,2 m/s, que es lo normal en viviendas para un uso normal, o la diferencia entre la temperatura del aire y la radiante media es inferior a 4°C se puede aplicar la media aritmética de la temperatura radiante y la del aire, ya que en éstos casos el cuerpo humano eliminaría calor por convección y radiación a partes casi iguales.

$$t_o = \frac{\bar{t}_r + t_a}{2} \quad (2)$$

En definitiva, el RITE indica que para personas con actividad metabólica sedentaria (1,2 met, con grado de vestimenta normal (de 0,5 clo en verano y 1 clo en invierno), los valores estarán comprendidos entre los límites en verano de temperaturas operativas 23-25 °C (que equivalen a 22-24 °C de temperatura seca aproximadamente) con humedad relativa entre 45 y 60% y en invierno de temperaturas operativas de 21-23 ° C (que equivalen a 21-24 °C de temperatura seca) con humedades relativas entre 40-50%.

Alturas de medida de las magnitudes físicas de un ambiente

Posición de los sensores	Coeficiente ponderación en ambiente homogéneo en método C	Altura recomendada	
		Sentado	De pie
A nivel de la cabeza	---	1,10 m	1,70 m
A nivel del abdomen	1	0,60 m	1,10 m
A nivel del tobillo	---	0,10 m	0,10 m

Tabla 3. Alturas de medida de la magnitudes físicas de un ambiente.

De hecho, las especificaciones y métodos (concretamente del tipo C) están relacionados con las medidas a realizar en ambientes moderados, próximos a la situación de **bienestar o de confort** (tabla 4):

Clase C (de confort)				
Magnitud	Símbolo	Intervalo de medida	Exactitud	Tiempo de respuesta
Temperatura del aire.	t_a	10°C a 40°C	Requerida: +- 0,5 °C Deseable: +-0,2 °C Desviación (tt-ta) igual a 10°C	Lo más corto posible. Su valor debe especificarse como una característica del instrumento de medida.
Humedad absoluta expresada como presión parcial de vapor de agua.	P_a	0,5 KPa a 3,0 Kpa	+ - 0,15 Kpa Esta exactitud deben garantizada al menos por una desviación (tt-ta) de cantidad de 10°C como mínimo.	Lo más corto posible. Su valor debe especificarse como una característica del instrumento de medida.

Tabla 4. Datos clase C de confort.

Por otro lado, la norma UNE ISO 15927-1 de 2003, tiene como objetivo indicar el procedimiento para el cálculo y presentación de las medias mensuales a partir de los datos climáticos necesarios para evaluar algunos aspectos de comportamiento higrotérmico para edificios, cubriendo entre otras, las siguientes variables climáticas:

- Temperatura del aire.
- Humedad atmosférica.

Los periodos sobre los que se calculan los parámetros pueden calcularse para medias mensuales o totales a partir de meses individuales o de todos los meses correspondientes de muchos años. Los cálculos de la desviación estándar de medias diarias o anuales o totales deben referirse a un año o mes específico.

La media mensual se puede hacer de la siguiente forma:

- ◆ A partir de datos de cada hora.
 - La media de medidas continuas registradas durante esa hora.
 - Medidas registradas en un momento particular de esa hora.

- ◆ A partir de datos medios en intervalos (3, 4 o 6h).
- ◆ A partir de datos máximos y mínimos diarios.
- ◆ A partir de datos puntuales (7:30, 14:30 y 21:30).

Los métodos especificados pueden utilizarse para calcular las medias mensuales o totales a partir de meses individuales (por ejemplo, el mes de enero de un año específico) o de todos los meses correspondientes de muchos años (por ejemplo, todos los meses de enero de los datos de 30 años).

Los cálculos de la desviación estándar de medias diarias o totales sobre las medias mensuales o anuales o totales deben referirse a un año o mes específico.

El año específico o el periodo multiaño sobre el cual se calculan todos los parámetros deben indicarse con los valores de

los parámetros. En nuestro caso, como solo tenemos un año de referencia el periodo elegido es de 1 de abril de 2015 a 31 de marzo de 2016.

Los datos se han obtenido como cálculo de la media mensual, a partir de datos de cada hora. La media mensual se ha calculado de la manera siguiente:

$$\theta_{mm} = \frac{\sum_{h=1}^{h_m} \theta_h}{h_m} \quad (3)$$

- θ_h es la temperatura por hora, en °C.
- h_m es el número de horas en el mes considerado (en nuestro caso meses completos).

El cálculo de la media anual y desviación estándar, en el caso de la temperatura media anual, se ha calculado a partir de las medias diarias de la manera siguiente:

$$\theta_{ym} = \frac{\sum_{d=1}^{d_y} \theta_{dm}}{d_y} \quad (4)$$

La desviación estándar de las medias diarias a partir de la media anual se ha calculado usando la siguiente formula:

$$\theta_{sdy} = \sqrt{\frac{d_y \sum_{d=1}^{d_y} \theta_{dm}^2 - \left(\sum_{d=1}^{d_y} \theta_{dm} \right)^2}{d_y(d_y - 1)}} \quad (5)$$

Los datos obtenidos a modo de resumen de la temperatura seca y humedad relativa exterior se resumen en la figura 12.

Año	Mes	Tmedia mes interior (°C)	Hmedia mes interior (%)	Trocio mes interior (°C)
2015	ABRIL	17,46	68,02	11,27
2015	MAYO	21,94	58,42	13,08
2015	JUNIO	24,99	50,40	13,52
2015	JULIO	28,79	65,57	21,40
2015	AGOSTO	28,72	64,12	20,75
2015	SEPTIEMBRE	24,43	67,09	17,62
2015	OCTUBRE	21,54	71,44	16,00
2015	NOVIEMBRE	17,62	66,68	10,93
2015	DICIEMBRE	15,02	73,20	10,18
2016	ENERO	14,95	65,62	8,30
2016	FEBRERO	15,20	57,59	6,54
2016	MARZO	15,85	54,71	6,28

DATOS ANUALES EN FUNCION DE LA MEDIA MENSUAL

Xmedia	20,54	63,57	12,99
σ estándar	5,25	6,87	5,09

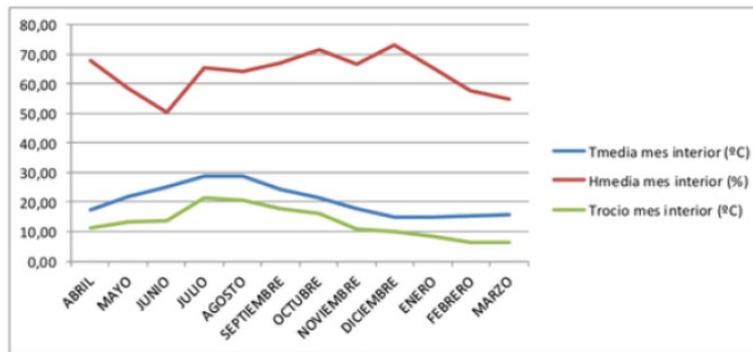


Fig. 12. Datos obtenidos en la observación en un periodo de tiempo en la casa cueva.

Para obtener estos datos, la monitorización de variables medioambientales que se han utilizado en distintos estudios, se ha aplicado al caso de estudio de la casa-cueva, permitiendo obtener datos en periodos de tiempo y medias para compararlas con lo establecido en el RITE. Con ayuda de “data logger” modelos HT-71 en distintas zonas de la cueva, se ha podido establecer los valores interiores medios y también comprobar la fiabilidad de los datos tomados en el exterior para compararlas gráficamente con los datos obtenidos en la Estación Agroclimática cercana (ver figura 2). Los tres interiores se han puesto a distintas profundidades de la casa-cueva (dos en los dormitorios y una cercana a la fachada principal, en la cocina). En la figura 13 de vista en planta de la casa-cueva pueden apreciarse la ubicación de los equipos.

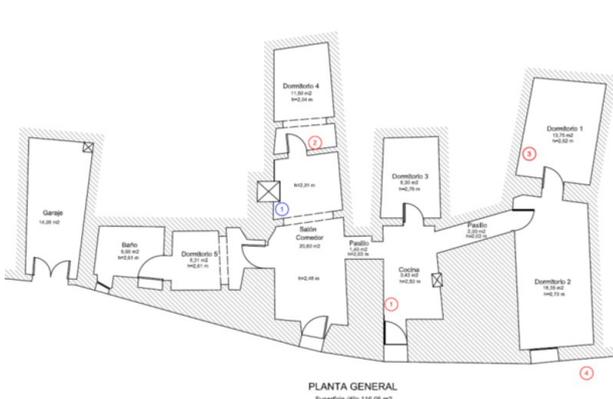


Fig.13. Datos en planta de la ubicación de los equipos utilizados en la monitorización higro-térmica.

Para exportar los datos de los “data logger” estos llevan asociados un software denominado Data View, que permite no solo configurar los equipos para la toma de datos sino también para importarlo en tablas de Excel y gráficos (figura 14).

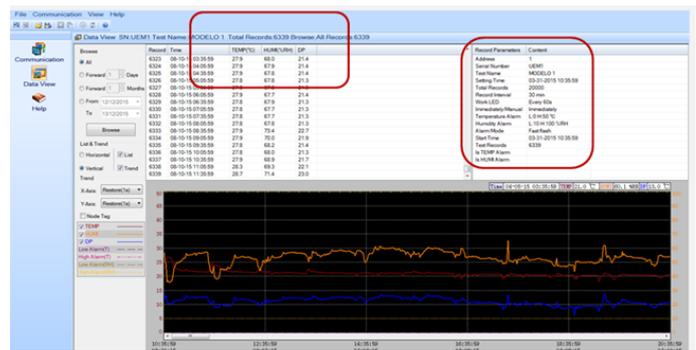


Fig. 14. Detalle de software para la importación de datos de los “data logger” HT-71 y su tratamiento.

Las temperaturas aportan mejor información, aunque puede ser engañosa. Las humedades solo son significativas en sus extremos inconformes, por debajo de 20-30 % o por encima de 70-80 %. En viviendas la velocidad el aire sin no es un índice clarificador sino se va acompañado de otros.

En este sentido, una humedad relativa baja puede producir sequedad e la garganta, problemas en el habla, entre otros, y una humedad relativa demasiado alta puede causar un ambiente bochornoso.

2.2.2. MONITORIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE. CONCENTRACIÓN DE CO₂

En los locales habitables de las viviendas debe aportarse un caudal de aire exterior suficiente para conseguir que en cada local la concentración media anual de CO₂ sea menor de 900 ppm y que el acumulado anual (figura 15) de CO₂ que exceda 1.600 ppm sea menor que 500.000 ppm.h.

Según indica la sección HS3 de calidad del Aire del CTE, el acumulado anual (ver figura 15) de CO₂ es la magnitud que representa la relación entre las concentraciones de CO₂ alcanzadas por encima de un determinado valor (valor base) y el tiempo que se han mantenido a lo largo de un año. Puede calcularse como el sumatorio de las áreas (medidas en ppm-hora) contenidas entre la representación de las concentraciones de CO₂ en función del tiempo y el valor base.

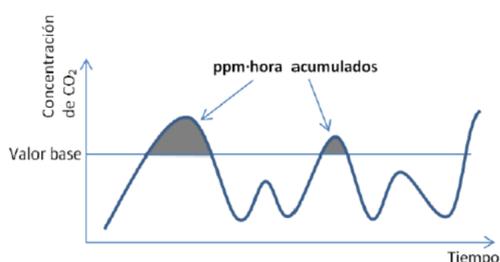


Fig. 15. Gráfico del CTE explicativo del acumulado anual de concentración de CO₂.

Además, el caudal de aire exterior aportado debe ser suficiente para eliminar los contaminantes no directamente relacionados con la presencia humana. Esta condición se considera satisfecha con el establecimiento de un caudal mínimo de 1,5 l/s por local habitable en los períodos de no ocupación.

La norma UNE-EN ISO 16000-1 en su parte 1, establece los aspectos generales de la estrategia de muestreo en la toma de datos de aire de interiores, especialmente el de CO₂. Para obtener datos más fiables se ha establecido una monitorización temporal de una zona de mayor uso en un periodo comprendido entre 1 de noviembre a 20 de febrero, obteniéndose 5333 datos tomados cada 30 minutos de concentración de

CO₂, humedad relativa, temperatura seca y punto de rocío, con ayuda del data logger CDL-210 de Wholer (figura 16).



Fig.16. Equipo de monitorización del CO₂ CDL-210.

El equipo se ha instalado en el salón comedor (un solo punto de muestreo por ser menor de 50 m²) y dadas las características y espacios disponibles se ha colocado a 1/2 altura de la dependencia (1,50 m de altura), pero separada de todas las paredes 1,00 a 2,00 m salvo una de ellas por imposibilidad de espacio y tamaño del equipo unos 40 cm (ver figura 17).



Fig.17. Detalle de ubicación del medidor de CO₂.

Los datos obtenidos quedan reflejados en el gráfico de la figura 18, exportados en la tabla de la figura 19. En éste, puede comprobarse los valores mínimos y máximos obtenidos y el periodo de no ocupación de la vivienda.

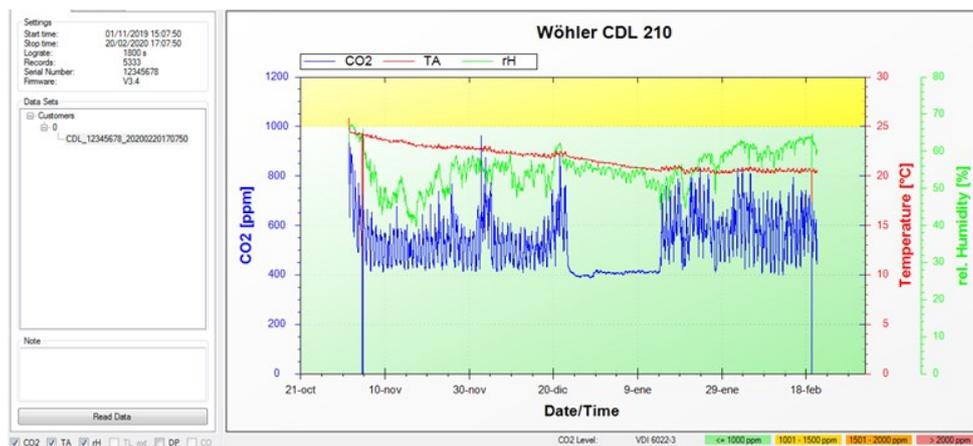


Fig.18. Datos y gráficos de concentración de CO₂ dentro casa- cueva.

Logger: Woehler CDI.210
Start time: 01/11/2019 15:07
Lograte: 1800 s
Records: 5333
Measuring U Celsius
Serial Numb 12345678
Note:

Data Set	Date:	Time:	CO2:	Temperatur rel.	Humidith Dew Point:
1	01/11/2019	15:07:50	931	25,8	61,9
2	01/11/2019	15:37:50	820	24,7	64,2
3	01/11/2019	16:07:50	714	24,5	65,2
4	01/11/2019	16:37:50	677	24,4	65,6
5	01/11/2019	17:07:50	656	24,4	65,8
6	01/11/2019	17:37:50	641	24,4	65,9
7	01/11/2019	18:07:50	632	24,3	66
8	01/11/2019	18:37:50	710	24,4	66
9	01/11/2019	19:07:50	704	24,4	66
10	01/11/2019	19:37:50	764	24,4	66,2
11	01/11/2019	20:07:50	770	24,4	66,5
12	01/11/2019	20:37:50	768	24,4	66,4
13	01/11/2019	21:07:50	846	24,4	66,5
14	01/11/2019	21:37:50	914	24,4	66,7
15	01/11/2019	22:07:50	827	24,4	66,8
16	01/11/2019	22:37:50	817	24,4	66,8
17	01/11/2019	23:07:50	816	24,4	66,9
18	01/11/2019	23:37:50	818	24,4	66,9
19	02/11/2019	0:07:50	813	24,4	66,9
20	02/11/2019	0:37:50	811	24,4	66,9
21	02/11/2019	1:07:50	820	24,4	66,9
22	02/11/2019	1:37:50	835	24,4	66,9
23	02/11/2019	2:07:50	849	24,4	66,9
24	02/11/2019	2:37:50	852	24,3	66,9

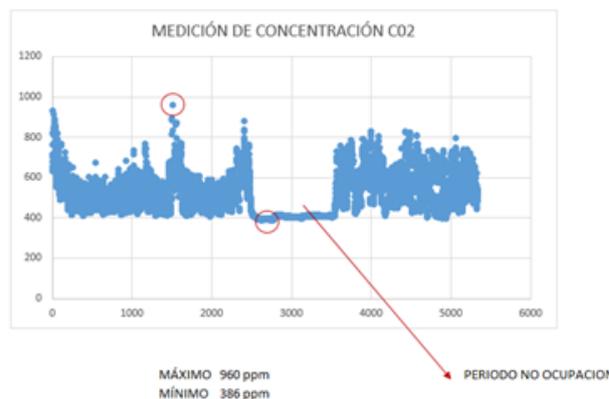


Fig. 19. Datos en Excel y gráficos de concentración de CO₂ obtenidos en un periodo de tiempo interior casa-cueva.

2.2.3. VELOCIDAD DE VIENTO INTERIOR Y EXTERIOR

Se ha utilizado para comprobar las velocidades el anemómetro de molinete modelo Testo 410-1 (figura 20) debido a su tamaño práctico es ideal para las mediciones de control rápidas y velocidades bajas. Tiene una sonda de molinete montada permanentemente con un diámetro de 40 mm, lo que permite su empleo para la medición integrada de la velocidad del aire en las rejillas (ver figura 20).



Fig.20. Detalle de anemómetro equipo usado en el interior en rejillas.

Todos estos parámetros aportan por sí mismos información, aunque de forma parcial sobre el confort.

3. RESULTADOS PROVISIONALES Y CONCLUSIÓN

3.1.DATOS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD OBTENIDOS EN LA MONITORIZACIÓN

La mayoría de los datos provisionales obtenidos en la monitorización medioambiental indican que la media anual está dentro de los valores establecidos en el RITE, pero que en ciertas ocasiones puntuales se superan estos valores (la humedad

interior en meses de verano por la cercanía de la casa-cueva al mar). En caso de los dormitorios derecho e izquierdo la humedad relativa varía entre 55 a 89 % mientras que las temperaturas secas varían entre 20°C a 25 °C. En la cocina, sin embargo, los valores están más cercanos a los que establece el RITE.

3.2. VELOCIDAD DEL VIENTO

Las velocidades del aire interior a través de las rejillas y chimenea de ventilación principal son menores de 1,00 m/s. Dado que la renovación de aire se realiza de forma natural, no controlada por los usuarios, la casa-cueva está preparada para la implantación de un sistema de ventilación mecánica higo-regulable, ya que la ventilación por rejillas a través de los dormitorios (por el suelo) se unen en una chimenea complementaria en zona de garaje donde se puede acoplar fácilmente un equipo y de esta manera se puede regular la calidad del aire.

3.3 CONCENTRACIÓN DE CO₂

En las figuras 18 y 19 podemos analizar la concentración de CO₂ en el periodo de tiempo estudiado (4 meses), solo puntualmente un día se ha alcanzado la concentración de 960 ppm, pero presumiblemente la media no supera los 900 ppm. establecidos por el CTE. También se puede observar el comportamiento de la concentración de CO₂ en un periodo de no ocupación por parte de los usuarios que coincide con las vacaciones de navidad, estando alrededor de 400 ppm (ver figuras 18 y 19).

4. CONCLUSIONES

Como conclusión final, son múltiples las herramientas utilizadas

en la verificación del cumplimiento de las exigencias, requiere una gran especialización al ser necesario conocimientos de las distintas ramas de la arquitectura e ingeniería (monitorización y control parámetros medioambientales, calificación energética, etc.). De ahí la necesaria formación multidisciplinar en este sentido.

Las exigencias sí que están definidas en los reglamentos, pero no especifican metodologías ni protocolos para verificarlos. Algunas normas UNE pueden servir de base, pero cada una de ellas tiene un criterio diferente para la toma de datos, según el parámetro a medir. Sería por tanto ideal, indicar la forma o protocolo para la toma de datos de los parámetros climáticos interiores, pero "in situ", no en laboratorio de ensayos, teniendo en cuenta la tipología de casas-cueva y la utilización de los equipos de monitorización en el interior, ya que las normas establecen unas alturas y distancias que son difícil de cumplir. De ahí que la toma de datos usada en el caso de estudio puede servir como modelo de protocolo para el estudio del comportamiento interior de una casa cueva.

Por otro lado, la legalización de una casa-cueva como vivienda bastaría con realizar el proceso de tramitación según proceda en el ayuntamiento; bastaría en gran parte con justificar el bienestar térmico interior para cumplir con las exigencias reglamentarias y una vez verificadas y corregidas, mediante el reconocimiento de la situación de asimilado al régimen de fuera de ordenación, situación que recogen los decretos autonómicos de Andalucía, similar al establecido en Canarias.

Sería necesario legislar adecuadamente este tipo de construcciones, como indica Piedecausa [17], ya aunque pudiéndose, se encuentran fuera del marco reglamentario, más desde el punto de vista legal que técnico. Con unos ajustes en la normativa tanto técnica como urbanística de la población para permitir su adecuación funcional, su rehabilitación y permitir así su legalización.

La evolución social ha ido alterando el carácter original de estas viviendas en zonas urbanas y rurales, y en muchos casos, la actividad de ocio (segunda residencia) ha acabado convirtiéndose en su mejor aliado para su conservación. En unos lugares donde la excavación era una necesidad habitable, su desarrollo a nivel vacacional se ha convertido hoy en reclamo turístico imprescindible para supervivencia arquitectónica. Este es el caso de Cuevas del Almanzora como muchas otras poblaciones de Almería [18] y Granada [8].

En definitiva, si se desarrollarán unas mínimas exigencias por parte de los ayuntamientos, muchas de ellas serían no solo segunda residencia sino modelos de vivienda sostenibles y eficientes.

5. RECONOCIMIENTO

Algunos de los equipos utilizados en la investigación han sido cedidos por la empresa PCE Ibérica, S.L. Gracias a los equi-

pos aportados y colaboraciones que realizan a las universidades facilitan la investigación, por lo que es de agradecer.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] DECRETO 28/2016, de 2 de febrero, de las viviendas con fines turísticos y de modificación del Decreto 194/2010, de 20 de abril, de establecimientos de apartamentos turísticos (BOJA nº 28 de 11 de febrero de 2016).
- [2] DECRETO-LEY 3/2019, de 24 de septiembre, de medidas urgentes para la adecuación ambiental y territorial de las edificaciones irregulares en la Comunidad Autónoma de Andalucía (Boja nº 23 de 25 de septiembre de 2019).
- [3] DECRETO 117/2006, de 1 de agosto, por el que se regulan las condiciones de habitabilidad de las viviendas y el procedimiento para la obtención de la cédula de habitabilidad de Canarias.
- [4] REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación y modificaciones posteriores.
- [5] REAL DECRETO 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios y modificaciones posteriores.
- [6] LÓPEZ FRÍAS, María J. Las casas cueva: un análisis de las cuestiones jurídicas que plantean. Revista Crítica de Derecho Inmobiliario. Nº 76, p. 1993-2026, marzo de 2016.
- [7] GIL ALBARRACIN, Antonio. *Arquitectura y tecnología popular en Almería*. Editorial G.B.G. Colegio de Arquitectos de Almería, 1992, p-p 127-152. ISBN 84- 604-3801 -5
- [8] AA.VV. ARQUITECTURA SUBTERRÁNEA. Tomos I y II. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía. Sevilla, 1989. ISBN 84-87001-02-5.
- [9] SORROCHE CUERVA, M.A (2007): La casa-cueva. ¿Un modelo de recuperación de la arquitectura vernácula en la provincia de Granada?. ISBN 978-84-690-9639-0. Actas del Congreso Internacional sobre arquitectura vernácula.
- [10] URDIALES VIEDMA, M.E.: Cuevas vivienda en Andalucía: de infravivienda a vivienda de futuro. Scripta Nova: revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales, ISSN-e 1138-9788, nº. extra 7, 146, (2003). V Coloquio Internacional de Geocrítica (actas del coloquio).
- [11] AA.VV. (2007): Cuevas en la provincia de Granada. Aspectos técnicos, urbanísticos, legales, patrimoniales y perspectivas para el desarrollo local en la provincia, Granada, Diputación de Granada.
- [12] L. LEÓN, S. MUÑOZ, J. LEÓN, P. BUSTAMANTE. Monitorización de variables medioambientales y energéticas en la construcción de viviendas protegidas: Edificio Cros-Pirotecnia en Sevilla. Informes de la Construcción, Vol. 62, 519, 67-82, julio-septiembre 2010. ISSN: 0020-0883. doi: 10.3989/ic.09.045
- [13] NORMA UNE-EN ISO 7726 Ergonomía de los ambientes térmicos. Instrumentos de medida de las magnitudes físicas. Marzo 2002.
- [14] NORMA UNE ISO 15927-1 Comportamiento Higrotérmico en edificios. Cálculo y presentación de datos climáticos. Parte 1: medidas mensuales de elementos meteorológicos simples.
- [15] NORMA UNE-EN ISO 16000-1. Aire de interiores. Parte 1: Aspectos generales de la estrategia de muestreo.
- [16] NEILA GONZÁLEZ, F. Javier. *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*.

Colección Arquitectura y Tecnología. Tomo 4. Editorial Munilla-Leria, Madrid, 2004, pp- 361-418. ISBN- 84-89150-64-8.

[17] PIEDECAUSA GARCÍA, BEATRIZ (2009): La vivienda enterrada: estudio de su evolución tipológica y adaptación geográfica Investigaciones Geográficas, nº 50 ISSN: 0213-4691.

[18] CACHORRO FERNANDEZ, Emilio. "Arquitectura troglodítica durante el siglo XX en Almería". Estudios geográficos. Vol. LXXVII, 280 pp 7-33. Enero a Junio de 2016. ISSN: 0014-1496. Doi: 10.3989/estgeogr.201601.

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.



Interior air quality and thermal bridges: a two-way path

Calidad del aire interior y puentes térmicos: un camino de ida y vuelta

MARTA EPELDE MERINO

Passivhaus Designer y Arquitecto Técnico
martaepelde@coaatg.org

IÑAKI DEL PRIM GRACIA

Blancodelprim Arquitectura
ecopasiva. bdp@coavn.org

What is the relationship between a thermal bridge and indoor air quality? This paper aims to demonstrate that there is a direct two-way relationship between the two phenomena. Thermal bridges are abundantly present in the residential building stock throughout Spain. They are considered energetically unfavourable points, but we cannot forget that the CTE also affects the risk of mould formation and pathologies derived from them. It is precisely this last aspect, the growth of moulds, that is dealt with here: how indoor air quality influences the formation of moulds and how this circumstance seriously affects the healthiness of dwellings and the health of the inhabitants due to the consequences that the presence of this type of microbiological contamination has for the respiratory system. The graphs presented in this work show that, in many cases, the indoor air quality is due to the indoor response that the building can give to the ventilation needs of its inhabitants. Therefore, one of the hypotheses put forward is that condensation aggravated by indoor air quality does not always originate from user behaviour. In conclusion, it is analysed whether Nearly Zero Energy Buildings (Nzeb) can minimise this problem of lack of healthiness due to the presence of thermal bridges and indoor air quality, beyond achieving a reduction in energy consumption or whether there is a risk of making very cost-saving thanks to active systems but unhealthy in terms of air quality.

Puente Térmico; Condensaciones; Calidad Del Aire; Salubridad.

¿Qué relación existe entre un puente térmico y la mala calidad del aire interior? En la presente comunicación se pretende demostrar que existe una relación directa de ida y vuelta entre ambos fenómenos. Los puentes térmicos están presentes de manera abundante en el parque residencial construido de todo el Estado. Se consideran puntos energéticamente desfavorables, pero no podemos olvidar que el CTE también incide en el riesgo de formación de mohos y patologías derivadas de los mismos. Es precisamente este último aspecto, el crecimiento de mohos, el que se trata aquí: cómo la mala calidad del aire influye en la formación de moho y cómo llega a afectar gravemente esta circunstancia en la salubridad de las viviendas y la salud de los habitantes por las consecuencias que tiene la presencia de este tipo de contaminación microbiana para el aparato respiratorio. Las gráficas presentadas en este trabajo demuestran que, en muchos casos, la mala calidad del aire está en la pobre respuesta que el edificio puede dar a las necesidades de ventilación de sus habitantes. Por ello, una de las hipótesis que se plantean es que las condensaciones agravadas por la mala calidad del aire no siempre tienen origen en un mal uso por parte del usuario. Como conclusión, se analiza si los edificios de Energía Casi Nula (nZEB) pueden minimizar esta problemática de falta de salubridad por la presencia de puentes térmicos y mala calidad del aire, más allá de alcanzar una reducción de consumos energéticos, o si se corre el riesgo de hacer edificios muy ahorradores gracias a los sistemas activos pero poco salubres en términos de calidad del aire.

Thermal bridging insulation; Condensation; Air quality; Salubrity.

1. INTRODUCCIÓN

En la presente comunicación se pretende demostrar que existe una relación directa de ida y vuelta entre un puente térmico y la mala calidad del aire interior.

En primer lugar, conviene recordar que los puentes térmicos son definidos en la última versión del Código Técnico de la Edificación (en adelante, CTE) como "zona de la envolvente térmica del edificio en la que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio del espesor del cerramiento o de los materiales empleados, por la penetración completa o parcial de elementos constructivos con diferente conductividad, por la diferencia entre el área externa e interna del elemento" [1]. Siguiendo literalmente esta definición

es posible concluir que estas variaciones de uniformidad constructiva están presentes de manera abundante en el parque residencial construido en todo el Estado y, por tanto, se puede afirmar que los puentes térmicos son una constante en los edificios existentes objeto de rehabilitación.

Debido a la implantación de estándares constructivos orientados a la construcción de Edificios de Consumo Casi Nulo, así como al salto cualitativo realizado por el CTE con la publicación del nuevo DB-HE en diciembre de 2019, los puentes térmicos y su tratamiento han adquirido una gran importancia tanto en obra nueva como en rehabilitación, ya que se consideran puntos energéticamente muy desfavorables, y por tanto contrarios a los objetivos y prestaciones de los Edificios de Consumo Casi Nulo con muy baja demanda energética.

Sin embargo, no se puede obviar que los puentes térmicos, además de suponer importantes pérdidas energéticas en un edificio, son también zonas sensibles en las que aumenta la probabilidad de producirse humedades por condensación. De nuevo, es el propio CTE quien describe cómo el riesgo de formación de condensaciones superficiales aumenta en un puente térmico debido a que en ellos se concentran superficies con temperaturas superficiales bajas. No obstante, el CTE no se detiene únicamente en el riesgo de condensaciones superficiales, sino que va un paso más allá e indica cómo las condensaciones superficiales en los puentes térmicos *"suponen un riesgo para la salud al propiciar la formación de moho"* [1].



Fig. 1: Formación de moho en puentes térmicos de pilar y encuentro de fachada con forjados.

1.1. EL MOHO Y LA HUMEDAD

Los puntos o superficies frías que se crean en los puentes térmicos, son lugares propicios para la formación de condensaciones debido a que en ellos se alcanza la temperatura de rocío o humedad de saturación (100%). Sin embargo, debe diferenciarse el riesgo de condensación del riesgo de formación de moho, ya que este último no requiere saturación (humedad 100%), sino una humedad relativa superficial superior al 80% durante varios días.

El moho se desarrolla de manera más abundante en altos niveles de humedad, con contenidos medios de humedad en el material entre el 70% al 90%. Pero una vez que ha iniciado su crecimiento, algunas variedades de moho pueden sobrevivir en contenidos de humedad menores del 60% [2]. En principio, es habitual encontrar este tipo de contaminación microbiológica en materiales de construcción que contengan celulosa, como pueden ser papel, la madera o fibras textiles naturales [2].

Esta afirmación podría hacernos pensar que la mayoría de los edificios existentes de la península, al estar construidos en fábrica, debieran estar fuera de riesgo de crecimiento de moho. Sin embargo, la realidad y la bibliografía indican que el moho también puede crecer en materiales como el plástico, el metal o el hormigón, siendo su fuente de alimento una capa de suciedad orgánica (a veces llamada biofilm) compuesta por células de la piel, grasas, aceites o residuos de los insectos [2].

Del párrafo anterior se deriva que humedades superficiales elevadas favorecen claramente el crecimiento de moho. Sin

embargo es necesario remarcar que dichas humedades superficiales elevadas se generan a causa de las temperaturas superficiales bajas creadas por las variaciones de la resistencia térmica del elemento constructivo, es decir, por la presencia de un puente térmico.

Para la elaboración de este documento, además de analizar una serie de puentes térmicos representativos en los que se ha detectado la presencia de estas temperaturas superficiales bajas y como consecuencia humedades superficiales elevadas que generarán riesgos de formación de moho, se ha pretendido profundizar en cómo las condiciones ambientales del interior de los edificios pueden empeorar las condiciones superficiales de los puentes térmicos analizados hasta crear situaciones de riesgo inicialmente no previstas.

El análisis de cómo estas condiciones interiores empeoran, habitualmente por la mala calidad del aire interior, es el objetivo final de este escrito. Se pretende mostrar cómo la mala calidad del aire interior influye de manera determinante en la formación de moho y cómo llega a afectar gravemente esta circunstancia en la salubridad de las viviendas y por tanto en la salud de los habitantes debido a las consecuencias que tiene la presencia de este tipo de contaminación microbiológica para el aparato respiratorio.

La relación evidente entre las patologías de condensaciones y las afecciones a la salud de los usuarios, se basa en la existencia de suficiente evidencia epidemiológica derivada del riesgo de aparición de síntomas e infecciones respiratorias o asma en ocupantes de edificios que presentan patologías con existencia de mohos o altos contenidos de humedad interior [3].

Por ejemplo, algunos estudios consultados indican que el riesgo de desarrollar asma es un 50% mayor en viviendas donde se ha detectado moho o humedad [4].

Estas evidencias han sido estudiadas para diferentes países y diferentes condiciones climáticas por la OMS (Organización Mundial de la Salud), llegando a resultados que demuestran cómo la reducción de la humedad en los edificios puede reducir los efectos adversos para la salud [3].

2. DESARROLLO / METODOLOGÍA

2.1. ANÁLISIS DE FORMACIÓN DE MOHO EN UN PUENTE TÉRMICO

A la hora de realizar la simulación de un puente térmico, se debe tener en cuenta que las condiciones de contorno no son las mismas para el cálculo del flujo energético a través de un detalle constructivo que para valorar el riesgo de condensación del puente térmico.

Las diferentes normativas (UNE-EN ISO 10211:2012 [5], UNE-EN ISO 13788:2016 [6]) fijan estos parámetros y por tanto obligan a un doble cálculo del puente térmico: por un lado el que se realiza para evaluar el flujo energético que lo atraviesa y por otro el que evalúa las condensaciones.

Son raras las veces en las que se llevan a cabo ambas comprobaciones, incluso hoy en día aún es poco habitual encontrarse al menos uno de los dos análisis en proyectos de rehabilitación energética. Dentro de que ambos análisis (el energético y el de condensaciones) son importantes para asegurar una adecuada rehabilitación energética, debe tenerse en cuenta que evitar que un puente térmico condense siempre será prioritario frente a la evaluación energética del mismo: lo primordial será que no condense y de manera secundaria que tenga la menor pérdida energética posible.

A la hora de establecer el riesgo de formación de moho en un puente térmico, el CTE [1] utiliza un parámetro llamado factor de temperatura superficial (f_{Rsi}) cuya formulación es sencilla y simplemente requiere datos de temperatura interior, temperatura exterior y temperatura superficial:

$$f_{Rsi} = (\theta_{si} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e) \quad (1)$$

- ◆ θ_{si} temperatura mínima en la superficie interior del cerramiento (°C)
- ◆ θ_i temperatura del ambiente interior (°C)
- ◆ θ_e temperatura del ambiente exterior (°C)

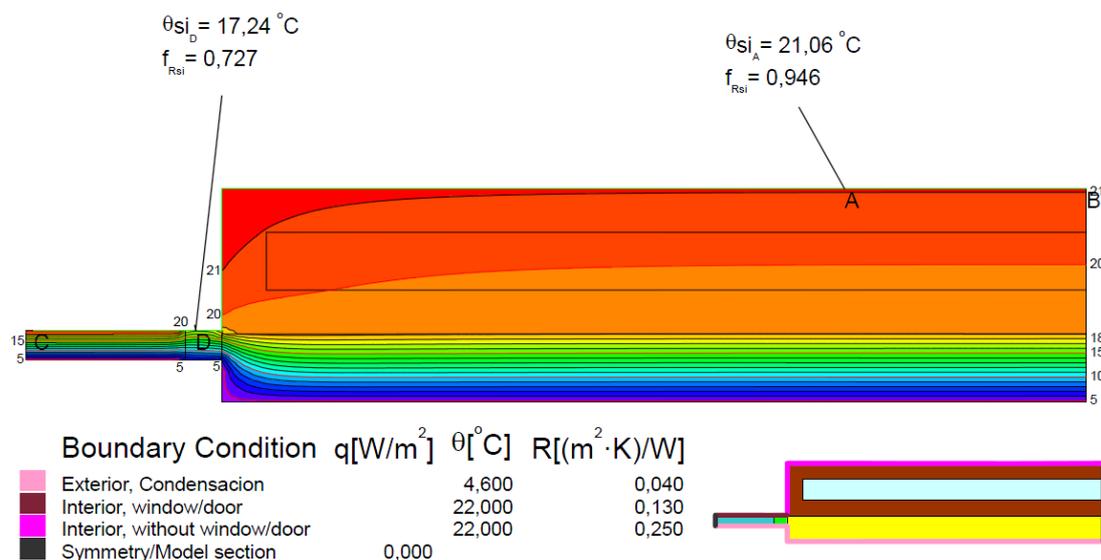


Fig. 2: Puente térmico calculado con Flixo Energy mostrando como resultados la temperatura superficial y el factor f_{Rsi} en los puntos A y D, para unas condiciones de contorno concretas.

El factor f_{Rsi} , que se obtiene de aplicar la fórmula (1) o de una simulación (ver Figura 2), debe cumplir para todos los meses del año la condición:

$$(2)$$

Cumpliendo este requisito, se asegura que la temperatura superficial interior es superior a la temperatura superficial

El dato de la temperatura superficial se supone un dato conocido obtenido a través de la simulación del puente térmico o mediante la medición directa y los datos de temperatura interior y exterior, a priori están fijados por la normativa estatal con valores de 20°C para la temperatura interior y la temperatura media del mes de enero de la población en la que se ubica el edificio como valor para la temperatura exterior.

Programas avanzados para la simulación de puentes térmicos aportan resultados de f_{Rsi} automáticamente, pero no se debe olvidar que habrán sido calculados para las temperaturas interior y exterior que hayan sido fijadas por el calculista como parámetros en el programa.

En consecuencia, a la hora de evaluar el riesgo de condensación en una simulación de puente térmico, es importante verificar las condiciones de contorno con las que ha sido calculado para garantizar que se ajustan a la normativa de limitación de condensación que se esté aplicando y que no se confunden con los parámetros para cálculo de flujo energético en un puente térmico. En el ejemplo que se muestra a continuación, se puede observar el resultado f_{Rsi} aportado automáticamente por el programa Flixo Energy, así como las condiciones de contorno (Boundary Conditions) con las que ha sido realizada dicha simulación:

aceptable, que es aquella que implica una humedad relativa superior al 80% en la superficie interior del cerramiento [1]. Para no extender la explicación sobre el procedimiento de obtención de la temperatura superficial aceptable o, dicho del otro modo, del factor $f_{Rsi\ min}$ (ampliamente explicado en el DA DB-HE / 2 [7] y la ISO 13788:2016 [6]); la comprobación de la condición de la fórmula (2) puede realizarse mediante la tabla aportada por el CTE [2] en la que, para una zona climática definida y una higrometría definida, se obtiene un valor de f_{Rsimin} :

Categoría del espacio	α	Zona climática de invierno				
		A	B	C	D	E
Clase de higrometría 5	0,70	0,80	0,80	0,80	0,90	0,90
Clase de higrometría 4	0,56	0,66	0,66	0,69	0,75	0,78
Clase de higrometría 3 o inferior a 3	0,42	0,50	0,52	0,56	0,61	0,64

Tabla 1. Factor de temperatura de la superficie interior mínimo $f_{Rsi\ min}$

A título ilustrativo, y para visualizar la simplicidad de esta comprobación, se toma como ejemplo la verificación del riesgo de moho para un puente térmico que arroja una temperatura superficial interior (θ_{si}) de $14,5^{\circ}\text{C}$, con una temperatura ambiental interior (θ_i) de 20°C y una temperatura exterior (θ_e) correspondiente al mes de enero en la ciudad de Vitoria, que resulta ser de $4,6^{\circ}\text{C}$ según los datos climáticos aportados por el CTE [7]:

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = \frac{14,5 - 4,6}{20 - 4,6} = 0,64 \quad (3)$$

Este factor de temperatura superficial (0,64) se compara con el factor temperatura superficial mínimo que se obtiene de la tabla 1: para la zona climática de Vitoria (zona climática D) y

clase de higrometría 3 o inferior, cuyo valor $f_{Rsi\ min}$ es 0,61, y por tanto se cumple la condición de la fórmula (2) sobre la limitación de riesgo de moho.

No obstante, en este punto del análisis se profundiza en cómo los parámetros de ambiente interior (temperatura y humedad ambiental) pueden llevar a que puentes térmicos inicialmente fuera de riesgo de formación de moho, sí presenten riesgo cuando las condiciones interiores varían. Esta afirmación se demuestra al comparar el valor f_{Rsi} obtenido en el ejemplo (0,64), con las diferentes clases higrométricas mostradas en la tabla 1 de $f_{Rsi\ min}$: cuando la clase higrométrica es 3 o inferior, el factor f_{Rsi} cumple la condición de tener un valor mayor que $f_{Rsi\ min}$ ($0,64 > 0,61$). Sin embargo, si se compara el valor f_{Rsi} (0,64) con los $f_{Rsi\ min}$ para las clases higrométricas 4 ó 5, se observa que la comprobación deja de cumplir los parámetros ($0,64 < 0,75$ y $0,64 < 0,90$), arrojando riesgo de condensación.

Categoría del espacio	f_{Rsi}	$f_{Rsi\ min}$	$f_{Rsi} > f_{Rsi\ min}$
Clase higrom. 3 o inferior (55% humedad rel. o inferior)	0,64	0,61	Cumple
Clase higrométrica 4 (62% humedad relativa)	0,64	0,75	No cumple
Clase higrométrica 5 (70% humedad relativa)	0,64	0,90	No cumple

Tabla 2: Ejemplo comprobación f_{Rsi} y $f_{Rsi\ min}$ para $\theta_{si} 14,5^{\circ}\text{C}$; $\theta_i 20^{\circ}\text{C}$; $\theta_e 4,6^{\circ}\text{C}$.

Esto deja en evidencia cómo los cambios que solo intervengan en la humedad relativa interior, afectan directamente al riesgo de formación de moho en los puentes térmicos. Por tanto, el análisis de las condiciones de temperatura y humedad interiores será un parámetro a tener muy en cuenta a la hora de establecer diagnósticos y soluciones ante la aparición de esta patología en las viviendas.

El propio Código Técnico da pistas sobre cómo los parámetros ambientales interiores pueden ser muy variables y por tanto pueden desvirtuar los cálculos iniciales realizados con arreglo a los parámetros normativos (20°C interiores, temperatura media de invierno y 55 % de humedad relativa para residencial): "Debe cuidarse el uso de datos de temperatura y humedad relativa interior que se correspondan adecuadamente con las condiciones existentes ya que en caso contrario los cálculos pueden dar lugar a resultados incorrectos.

Por ejemplo, para una vivienda en zona marítima la humedad relativa interior puede ser muy superior al 55% indicado y producirse condensaciones con gran facilidad que no se detectarían de usar el valor por defecto" [7].

2.2. INFLUENCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LOS PARÁMETROS DE CÁLCULO Y COMPROBACIÓN DEL RIESGO DE CONDENSACIÓN

En diversas monitorizaciones realizadas en inmuebles situados en la provincia de Guipúzcoa, hemos observado que las humedades relativas interiores en los edificios suelen alcanzar habitualmente valores por encima del 60 % y, que en los casos donde las viviendas sufren patologías de condensación, esas humedades relativas interiores a menudo se sitúan cercanas al 70 y 80%, incluso con máximos de 90% de humedad relativa.

Esta diferencia entre los parámetros a priori marcados por el CTE y los que finalmente se han obtenido en las diferentes casuísticas medidas, pone de manifiesto la importancia de monitorizar el estado real de las viviendas con el objetivo de analizar y prevenir problemáticas de condensación, ya que un puente térmico aparentemente fuera de riesgo en proyecto, considerando temperaturas de 20°C interiores y humedades medias del 55 % para el cálculo, puede entrar en zona de riesgo cuando las condiciones reales del ambiente interior varían respecto de los parámetros de cálculo.

¿Cuáles son los factores que provocan humedad elevada en las viviendas afectadas por moho? Tradicionalmente el exceso de humedad en las viviendas se achaca al mal uso que pueden hacer los usuarios debido a una escasa ventilación, calefacción insuficiente, exceso de plantas o actividades que pro-

vocan mucha producción de humedad (secado de ropa en el interior de la vivienda, cocina,...).

Sin embargo, en las monitorizaciones realizadas hemos observado cómo la mala calidad del aire interior está directamente relacionada con estas humedades interiores elevadas que no siempre tienen como único culpable al usuario.

En los casos monitorizados se observa que las viviendas con problemáticas de moho en sus puentes térmicos presentan humedades interiores elevadas en conjunto, con elevadas concentraciones de CO₂. Es más, se observa de manera clara en la toma de datos, cómo las humedades y las concentraciones de CO₂ se elevan exponencialmente en los dormitorios por la noche para volver a reducirse ambos de manera gradual al realizar las ventilaciones habituales por la mañana.

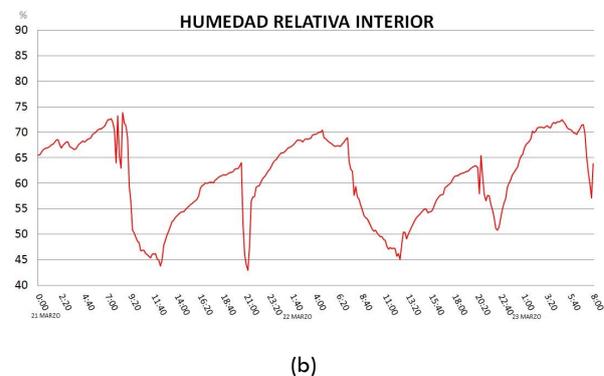
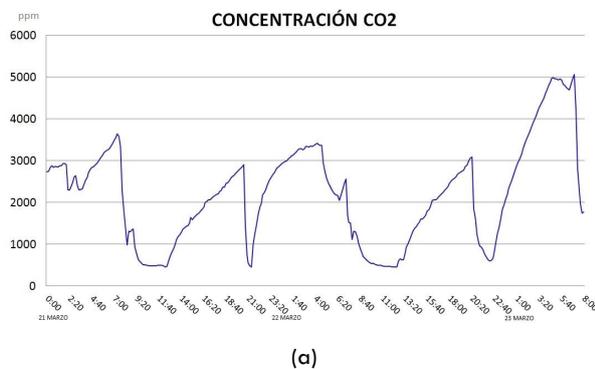


Fig. 3. (a) Relación entre el comportamiento de los valores de concentración de CO₂ y (b) los valores de humedad relativa interior.

La razón de que las concentraciones de CO₂ sean elevadas por la noche, está relacionada con el hecho de que las viviendas no son capaces de realizar ventilaciones efectivas en aquellos momentos en el que las personas duermen y por tanto no pueden llevar a cabo ventilaciones de forma manual.

Por la noche, el cuerpo en reposo emite unos 40gr/h de vapor de agua por persona [8] y los sistemas de ventilación previstos en las viviendas, en general, extracciones en baños y cocinas y micro-ventilaciones en las ventanas, no son suficientes para mantener una correcta calidad del aire.

Por contra, debe tenerse en cuenta que el nivel de hermeticidad de ventanas y cerramientos ha mejorado notablemente reduciendo los caudales de ventilación por infiltraciones no deseadas en favor de la eficiencia energética.

Por tanto, se produce una descompensación entre la buena hermeticidad de los cerramientos y la falta de eficacia de los sistemas de ventilación existentes, que se traduce en un aumento de humedad y riesgo de moho.

Debido a que no se mantiene una correcta calidad del aire, la estancia en cuestión no se puede beneficiar de la regulación de humedad que provoca una ventilación adecuada, y por tanto comienza lo que hemos convenido en denominar como el

camino de ida y vuelta entre una mala calidad del aire, una falta de control de humedad y los efectos adversos del exceso de humedad en los puentes térmicos del edificio.

Ante esta perspectiva de humedades interiores mayores a las establecidas en los parámetros básicos de cálculo del Código Técnico y también ante temperaturas interiores diferentes a los 20°C marcados en el mismo, en el desarrollo del presente estudio se ha planteado la idoneidad de parametrizar el riesgo de condensación en función de diferentes ambientes interiores, de manera que pueda realizarse una valoración veraz de los riesgos en función de las condiciones ambientales interiores reales que habitualmente se recogen en las viviendas monitorizadas por los autores.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la redacción del presente estudio se han analizado proyectos de rehabilitación energética de manera sistemática, simulando y calculando más de 70 puentes térmicos de diferentes casuísticas, lo cual nos ha llevado a concluir que varias situaciones analizadas que a priori parecían alarmantes en cuanto a flujo energético a través de la envolvente debido a que se producían cam-

bios de espesor bruscos, no lo eran tanto a la hora de verificar el riesgo de condensaciones superficiales y formación de moho. Sin embargo el bajo riesgo de condensación obtenido en estas casuísticas es debido a que

las condiciones de contorno consideradas fueron de 20° C de temperatura interior y 50 % humedad relativa, parámetros de ambiente interior que alejan por definición la aparición del riesgo de condensación.

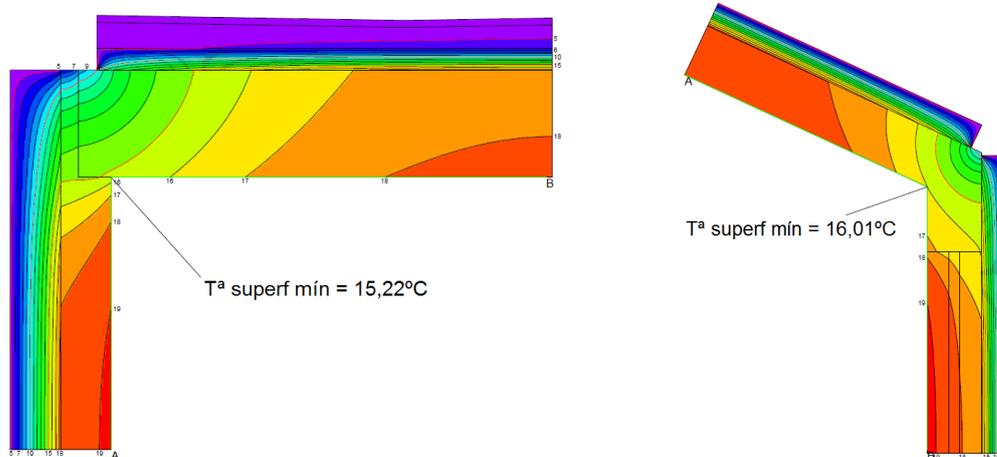


Fig. 4. Ejemplos de temperaturas superficiales en puentes térmicos calculados en condiciones de 20°C de temperatura interior, 50% humedad relativa y temperatura exterior del mes de enero de la localidad.

Clase higrométrica	Figura 5			Figura 6		
	f_{Rsi}	$f_{Rsi\ min}$	$f_{Rsi} > f_{Rsi\ min}$	f_{Rsi}	$f_{Rsi\ min}$	$f_{Rsi} > f_{Rsi\ min}$
3 o inferior (55% h. rel. o inf.)	0,69	0,61	Cumple	0,74	0,61	Cumple
4 (62% humedad relativa)	0,69	0,75	No cumple	0,74	0,75	No cumple
5 (70% humedad relativa)	0,69	0,90	No cumple	0,74	0,90	No cumple

Tabla 3: Comprobación de riesgo de moho para distintas humedades relativas interiores.

En las tablas mostradas a continuación, se han querido tomar unos rangos de análisis acordes con las distintas mediciones que se han llevado a cabo en el interior de viviendas monitorizadas, con el objetivo de caracterizar aquellas situaciones más habituales.

Se presentan por tanto las tablas parametrizadas con humedades relativas interiores correspondientes a las clases higrométricas que marca el Código Técnico (las cuales también resultan representativas de lo monitorizado), cruzadas con temperaturas interiores acordes a las casuísticas más habituales:

En la tabla 4 se estudia para diferentes temperaturas interiores y humedades interiores, las temperatura resultantes a partir de las cuales existe riesgo tanto para la condensación (100% de humedad relativa en la superficie) como para la formación de moho (80% de humedad relativa en la superficie).

Como se puede observar, los rangos varían notablemente en función de las humedades interiores y, en función del aumento de dicha humedad ambiental interior, las temperaturas superficiales a partir de las cuales existe riesgo de condensaciones

y formación de moho, resultan ser temperaturas muy fácilmente alcanzables en los puentes térmicos analizados.

Tª interior	H. relativa	Tª condensación	Tª formación moho
20 °C	70%	14,4 °C	17,9 °C
20 °C	62%	12,5 °C	15,9 °C
20 °C	55%	10,7 °C	14,1 °C
18 °C	70%	12,4 °C	15,9 °C
18 °C	62%	10,6 °C	14,0 °C
18 °C	55%	8,8 °C	12,2 °C

Tabla 4: Temperaturas superficiales de condensación y formación de moho en función de un ejemplo concreto de temperaturas exteriores e interiores y el grado de humedad relativa interior.

Como manera alternativa de visualizar la influencia de la humedad interior en los puentes térmicos, en la tabla 5 se propone analizar la relación de la temperatura interior y la temperatura superficial con las humedades ambientales interiores que generan riesgo de condensación o riesgo de formación de mohos en dichos espacios.

Tª interior	Tª superf. interior	¿A qué % H.rel. condensa?	¿A qué % H.rel. riesgo moho?
20 °C	16 °C	78%	62%
20 °C	14 °C	68%	55%
20 °C	12 °C	60%	48%
18 °C	16 °C	88%	70%
18 °C	14 °C	77%	62%
18 °C	12 °C	68%	54%

Tabla 5: Humedades relativas interiores a partir de las cuales existe riesgo de condensación o formación de moho.

4. CONCLUSIONES

Los puentes térmicos no dejan de ser puntos higrotérmicamente débiles que favorecen temperaturas bajas en las superficies de los cerramientos y por tanto elevan el riesgo de condensación y formación de moho.

Son un problema de origen constructivo, a los que se debiera prestar especial atención por su alto potencial de riesgo para la salud debido a la formación de moho, además de las pérdidas energéticas que generan.

Tal y como se ha podido observar en este estudio, los puentes térmicos son origen potencial para la formación de moho cuando se analizan adecuadamente y se valora su riesgo, no solo bajo condiciones normativas, sino bajo condiciones de ambiente interior características de la zona climática estudiada. Por tanto, una correcta monitorización de la realidad debería tomarse como base para el diagnóstico y solución de la contaminación microbiológica formada por el moho.

El registro y análisis del ambiente interior real mediante datos de temperatura y humedad relativa, también debiera examinar la calidad del aire, analizando al menos datos de concentración de CO₂ de la estancia afectada, con el objetivo de obtener una visual de cuánto se ventila (tanto por los usuarios como por los sistemas) y por tanto cuánto, y de que manera influye en la humedad interior la escasez de ventilación.

La llegada de la normativa que exige Edificios de Consumo Casi Nulo (ECCN) debería ayudar a minimizar esta problemática de falta de salubridad por la presencia de puentes térmicos y mala calidad del aire, más allá de alcanzar una reducción de consumos energéticos. Sin embargo, esto ocurrirá solo si se presta la suficiente atención a la correcta resolución de los puentes térmicos tanto en proyecto como en ejecución.

De lo contrario se corre el riesgo de realizar edificios muy ahorradores gracias a los sistemas activos, pero poco salubres debido a la existencia de puentes térmicos, y a las patologías de formación moho y mala calidad del aire interior que de ellos derivan.

Ante los retos de eficiencia energética y cambio climático que son ya parte del presente, debemos pensar en una nueva

filosofía de construcción donde primen las envolventes sin puentes térmicos, la correcta ejecución y control de las obras y los sistemas de ventilación pensados para la salud y la calidad del aire.

5. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

CTE: Código Técnico de la Edificación

DB-HE: Documento Básico-Ahorro de Energía

OMS: Organización Mundial de la Salud

ISO: International Organization for Standardization

CO₂: Dióxido de Carbono

6. BIBLIOGRAFÍA

[1] Código Técnico de la Edificación. Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía DA DB-HE / 3. Puentes térmicos. Mayo 2014. Ministerio de Fomento.

[2] Kathleen Parrott, Ph.D. MOLD BASICS. Virginia Tech, Virginia Polytechnic Institute and State University. 2009

[3] World Health Organization (WHO). WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould. World Health Organization (WHO), 2009.

http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43325/E92645.pdf (2009)

[4] Mendell, M.J., Mirer, A.G., Cheung, K., Tong, M., Douwes, J.: Respiratory and allergic health effects of dampness, mould and dampness-related agents: a review of the epidemiologic evidence. *Environmental Health Perspectives*, 119 (2011), p.748-756.

[5] UNE-EN ISO 10211:2012. Puentes térmicos en edificación. Flujos de calor y temperaturas superficiales. Cálculos detallados. (ISO 10211:2007)

[6] UNE-EN ISO 13788:2016. Características higrotérmicas de los elementos y componentes de edificación. Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial. Métodos de cálculo. (ISO 13788:2012).

[7] Código Técnico de la Edificación. Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía DA DB-HE / 2. Comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos. Mayo 2014. Ministerio de Fomento.

[8] Schneider, Anton. Fernlehrgang Baubiologie IBN, Innenraumklima. Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit IBN

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.



The CO₂ assessment in a school classroom for an optimal natural ventilation strategy

Evaluación de CO₂ en un aula escolar para una estrategia de ventilación natural óptima

PATRICIA GUIJARRO MIRAGAYA

Aeronautical engineering. Universidad Politécnica de Madrid, Spain.
patricia.guijarro.miragaya@alumnos.upm.es

LUCÍA PATRÓN SAADE

Architect, MBA, Universidad Politécnica de Madrid, Spain.
l.patron@alumnos.upm.es

TANIA ESTAY LEAL

Architect. Universidad Politécnica de Madrid, Spain.
tania.estay.leal@alumnos.upm.es

RICARDO TENDERO CABALLERO

E.T.S. Edificación. Universidad Politécnica de Madrid.
ricardo.tintero@upm.es

The global pandemic due to the COVID-19 disease has led to the study of school classrooms as possible vectors of contagion. The CO₂ has been established with an easily captured indicator to determine the adequate ventilation of these spaces. However, continuous ventilation can cause a lack of comfort in students and therefore be detrimental to their cognitive development. Therefore, it is necessary to study an optimal way to ventilate and the objective of this study is to evaluate the CO₂ of a school classroom to optimize natural ventilation, minimizing the loss of comfort and thus reducing the risk factor for COVID-19. CO₂ and air flow measurements were carried out in three study days in a secondary school in Madrid in which tests were carried out on the closing and opening of doors and windows to determine the opening time necessary to reach an optimal level of CO₂.

Ventilation, CO₂, COVID-19, education.

La pandemia mundial por la enfermedad del COVID-19 ha llevado a estudiar las aulas escolares como posibles vectores de contagio. Se ha establecido el CO₂ con un indicador de fácil captura para determinar la adecuada ventilación de estos espacios. Sin embargo, la ventilación continua puede ocasionar falta de confort en los estudiantes y por lo tanto ir en detrimento de su desarrollo cognitivo. Por lo tanto, es necesario estudiar una forma óptima de ventilar y el objetivo del presente estudio es evaluar el CO₂ de un aula escolar en aras de optimizar la ventilación natural minimizando la pérdida de confort y así disminuir el factor de riesgo ante el COVID-19. Se realizaron mediciones de CO₂ y caudal del aire en tres jornadas de estudio en un colegio de secundaria en Madrid en el cual se realizaron pruebas de cierre y apertura de puertas y ventanas para determinar el tiempo de apertura necesario para llegar a un nivel óptimo de CO₂.

Ventilación, CO₂, COVID-19, educación.

1. INTRODUCCIÓN

El 3 de mayo de 2021, la pandemia mundial por la enfermedad COVID-19 ha contagiado a 154'298.022 personas y ha provocado la muerte de 3'229.325 de estas [1], además de llevar a casi todos los países del mundo a tomar medidas sobre mantener la distancia frente a otras personas, la prohibición de eventos masivos, restricciones en transporte y cuarentenas a gran escala. Las autoridades sanitarias reconocen que la transmisión por aerosoles que emitimos las personas al respirar, hablar y toser, son la principal fuente de contagio [2]–[4], validada por estudios sobre casos de múltiples contagios con grandes distancias entre la persona positiva y otros asistentes [5]–[8]. Los aerosoles son partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire, los aerosoles de origen

biológico son los bioaerosoles y son los principales causantes del contagio, estos son partículas transmisoras de patógenos como el Sars-Cov-2, con tamaños que pueden oscilar entre los 0.001 y hasta 100 micrómetros [9]. El contagio se produce cuando estas partículas entran en contacto con los ojos, la nariz o la boca de las personas. De ahí la necesidad de estudiar formas para prevenir el contagio de esta enfermedad. Las medidas preventivas incluyen uso de tapabocas, lavado frecuente de manos, el distanciamiento social y ventilación de los espacios [10]. Existen varias simulaciones con base a casos reales donde se han contagiado muchas personas que modelan el posible contagio de las personas con y sin medidas preventivas que demuestran la importancia de implementarlas de manera conjunta [11], [12], como es el caso del Estimador

de transmisión aérea COVID de la Universidad de Colorado [13] que muestra como el uso de máscaras, distanciamiento social y la ventilación continua de los espacios reduce drásticamente las posibilidades de contagio en espacios con muchas personas. No obstante, estas simulaciones son limitadas y no tienen en cuenta todas las variables que dependen del emisor (carga viral de la persona infectada, concentración y tamaño de los aerosoles emitidos y tiempo de emisión), del receptor (volumen de aire inhalado, tiempo de exposición, concentración viral en los aerosoles inhalados, posición y distancia del emisor, vulnerabilidad persona) y del escenario de encuentro (nivel de transmisión comunitaria y porcentaje de susceptibles, tiempo, espacio, exteriores e interiores, ventilación adecuada, comportamiento aerodinámico de las partículas emitidas) y otros factores que pueden potenciar el contagio como son el volumen de habla del emisor, la actividad física intensa, un mal ajuste en el uso de las mascarillas, un número alto de personas en el mismo espacio, poco distanciamiento social, aumento en los tiempos de exposición y ausencia de ventilación en interiores [14].

Según lo anterior, la ventilación, entendido como renovar el aire interior por el aire exterior, es una de las formas de garantizar la disolución y evacuación de los aerosoles en los espacios cerrados y por ende ha recibido gran atención por las instituciones de sanidad a nivel mundial [14]. Esta se mide renovaciones de aire por hora, ACH por sus siglas en inglés. La ventilación se puede producir de forma natural abriendo puertas y ventanas con acceso al exterior, por medio de equipos mecánicos (ventilación forzada) o por una mezcla entre las dos. A nivel de ventilación natural, la más eficiente es la ventilación cruzada que consiste en abrir dos elementos ubicados en diferentes planos del espacio a ventilar, de tal forma que la corriente de aire pase de un lado a otro del recinto. Ante la actual situación de salud mundial, se prefiere el uso de la ventilación natural antes que el uso de ventilación mecánica, sobre todo cuando implican recirculación de aire o uso de purificadores de aire de poca exigencia ya que estos pueden propiciar el contagio [15], [16]. Según el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) la recomendación del caudal de aire para los espacios de tal forma de garantizar condiciones óptimas es de 20 l/s por persona (5-6 ACH) para hospitales, clínicas, laboratorio y guarderías; 12,5 l/s por persona (4-5 ACH) para tener una calidad de aire buena en oficinas, residencias, salas de lectura, museos, tribunales, aulas escolares y piscinas; 8 l/s por persona (4-3 ACH) con una calidad de aire media para edificios comerciales, cines, teatros, salones de reunión, hoteles, restaurantes, cafeterías, bares, gimnasios y salas de ordenadores; y se considera un espacio con 5 l/s por persona (< 3ACH) una calidad de aire baja, no permitida para espacios habitados [17].

Una de las formas más sencillas de medir las renovaciones del aire es medir la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en espacios habitados [18]. Estas concentraciones varían entre

300 y 500 partículas por millón (ppm) en el exterior [19], variando en zonas rurales o urbanas. Según RITE las concentraciones de CO₂ recomendadas son para locales son: 350ppm a 500ppm para una óptima ventilación, de 500 ppm a 800 ppm para una buena calidad del aire, de 800 a 1200 ppm para una calidad de aire media [17]. Según el documento La ventilación como medida preventiva frente al coronavirus SARS-CoV-2 del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo de España, a partir de 800ppm la concentración se considera deficiente ante prevención de COVID-19 [20]. Dicho esto, en sí esta concentración de CO₂ no pone en peligro la salud humana se debe interpretar como un indicador de una adecuada ventilación y no como una medición directa de presencia de patógenos que pongan en riesgo la salud como es el caso del COVID-19 [21].

La educación es una de las áreas más afectadas por las medidas preventivas de contagio de COVID-19, con un cierre total de instalaciones en momentos iniciales de la pandemia e incluso, cerca de un año y medio después, en varios países, ocasionando repercusiones negativas en el desarrollo social y bienestar de los niños y adolescentes en proceso de formación [22]. Las aulas escolares al ser espacios que albergan muchas personas por altos periodos de tiempo han sido estudiadas para tener óptimas condiciones de ventilación a partir del análisis del CO₂ como medida relativa de ventilación, según publicó la escuela de salud pública de Harvard [18] y aplicado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas para garantizar la adecuada ventilación en las aulas escolares de España [23], entre otras recomendaciones [24], [25]. Estudios previos sobre las concentraciones de CO₂ y la calidad del aire para la actividad de la educación ya han sido estudiados previamente, independientemente de la nueva contingencia por el COVID-19 [26]–[29], con guías de implementación como la publicada por la Federación europea de calefacción, ventilación y aire acondicionado [30].

Por su parte la Plataforma de Edificación Passivhaus y la Universidad de Burgos publicaron un Proyecto de monitorización de colegios para validar la calidad de la ventilación en 36 colegios a lo largo de toda España, en donde encontraron que las condiciones propicias para el estudio solo se logran en promedio 68% del tiempo, sobre todo a nivel de CO₂ en donde solo hay condiciones óptimas para el estudio el 32% del tiempo con niveles superiores a las 1.000 ppm [31]. De manera asimilar Alonso et al. [32] estudió las condiciones de confort térmico y la calidad del aire adecuadas para estudiar en dos aulas escolares durante el invierno de 2020 en España con sistemas de ventilación mecánica e híbrido con ventilación natural. Las instalaciones son de una escuela primaria construida recientemente. Los resultados mostraron que en cerca del 60% del tiempo, si bien se logra disminuir la concentración de 300 ppm promedio a la semana con la ventilación mecánica y hasta 400ppm cuando hay ventilación natural en todo momento, no hay confort térmico.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el espacio de estudio debe ser un ambiente limpio, seguro y confortable de tal forma que reduzca la exposición de agentes químicos y biológicos que puedan ocasionar o ayudar a propagar enfermedades, y ayudar al desarrollo cognitivo de las estudiantes, evitando así la inequidad educativa [33]. La pérdida de confort ocasionada por la ventilación constante en los meses de invierno va también en detrimento de la calidad del proceso educativo, además de generar pérdidas energéticas importantes según demostró el estudio realizado por Stabile et al. [34]. Por esta razón consideramos importante conocer más acerca de cómo mejorar las condiciones ventilación de las aulas escolares con la infraestructura actual de tal forma que se puedan implementar parámetros sencillos que permitan optimizar la ventilación minimizando en lo posible la pérdida del confort y mantener la ventilación adecuada para disminuir el contagio del COVID-19.

2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

El objetivo del presente estudio es evaluar la concentración de CO₂ en un aula escolar como forma de optimizar la ventilación natural y garantizar un nivel de CO₂ óptimo para las condiciones de aprendizaje.

A nivel de metodología se estudia el edificio ESO del Instituto de Educación Superior Ramiro Maeztu en Madrid, el aula 210 en la segunda planta, con ventilación natural hacia un patio semi-abierto con orientación este, según la Ilustración 1. La edificación cuenta con 4 plantas con una distribución variada entre diferentes pisos; el aula a estudiar se caracteriza por no tener ventilación cruzada hacia el costado oeste de la edificación. Una fuente complementaria de ventilación es la que se encuentra en el punto fijo de la edificación en donde están las escaleras de la escuela que tiene entrada de aire desde la planta baja, y de manera más directa 2 ventanas de dimensiones similares a las encontradas en el aula que abren al patio interior con orientación del aula hacia el norte (ver Ilustración 2).

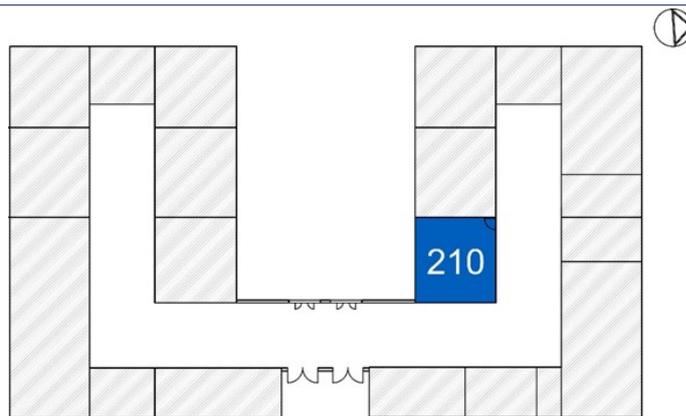


Fig. 2. Localización del aula a estudiar en la segunda planta de la edificación.

El aula tiene 45m² (3.0 x 3.0m ancho por alto), en el cual hay 21 personas presentes constantemente, un profesor y 20 alumnos. Hay dos ventanas de 9m² (3.0 x 3.0m) de las cuales solo hay apertura del 1.215m² (2 hojas de 0.45 x 1.35m), que junto con una puerta área de apertura de 1.67m² (0.76 x 2.2m), se tiene un área útil de ventilar de 7.02m² para un volumen de 136,8 m³ (altura 3.04m). La distribución del aula se presenta en la Ilustración 3, seguidos de imágenes generales del aula en la Ilustración 4 y una ventilación indirecta a través de ventanas en el pasillo de la edificación en la Ilustración 5.

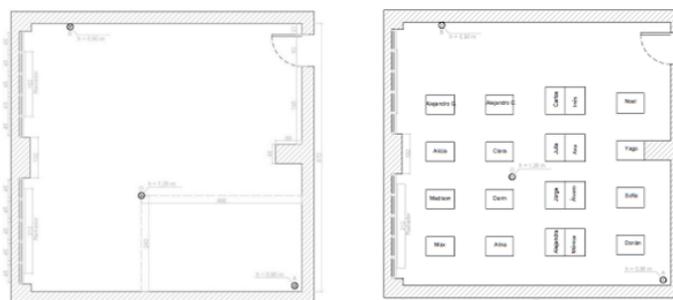


Fig. 3. Planta y distribución del aula E210.



Fig. 1. Localización. Fuente: Google Maps.



Fig. 4. Fotografía interior del aula.

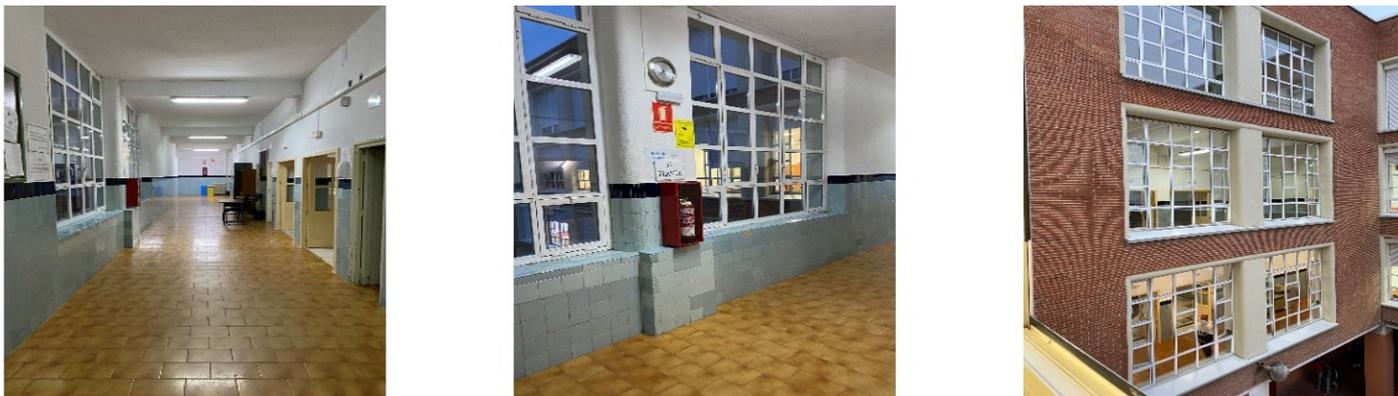


Fig. 5. Fotografías ventanas del pasillo principal, desde el corredor y desde el aula de clases.

Se realizaron mediciones con sensores de CO₂ de referencia comercial Wohler-cdl-210 con la misma calibración. Se tomaron medidas en 3 días, el 12 de marzo de 2021, 9 y 30 de abril de 2021 desde las 8:20 hasta las 15:10 (6 horas y 50 minutos) los primeros dos días y de 8:20 a 2:10 (5 horas y 50 minutos) en el 30 de abril. Los datos se registran cada 10 segundos en 3 o 4 sensores diferentes según el día de estudio. Adicionalmente el día 30 de abril se realizó mediciones complementarias de velocidad del aire con un dispositivo Testo 445 a la altura de cada sensor de forma paralela y perpendicular a las aperturas de la ventana.

La ubicación de los sensores en el aula y su altura presenta en la Ilustración 3 y en la Ilustración 6 se observa su instalación.



Fig. 6. Fotografías de la ubicación de los sensores.

Durante las tres jornadas se registraron las aperturas y cierres de las ventanas y puerta del salón, de tal forma que pudieran tener una correspondencia de los niveles de CO₂ con los cambios en el flujo de la ventilación y otras actividades especiales que puedan presentarse durante las horas de clases. El desarrollo de estas actividades se ha visto afectado por el comportamiento natural de las personas que se encontraban en el aula y fueron motivo de control en el estudio.

Durante la medición del día 9 de marzo de 2021 se realizaron pruebas de cierre total de las ventanas y puerta para determinar hasta llegar a 1000ppm en el sensor más desfavorable (sensor C, esquina del aula) y apertura al 100% de la puerta y ventanas del salón hasta llegar a 750ppm. Las pruebas se realizaron con las ventanas del pasillo cerradas.

El día 30 de abril se realizó un ejercicio similar logrando cuatro pruebas de la siguiente forma:

- ◆ Cierre total de puertas y ventanas hasta llegar a 1000ppm en el sensor B (Sobre trípode), abriendo al 100% la puerta y las ventanas hasta lograr bajar los niveles hasta 750ppm. Ventanas del pasillo abiertas.
- ◆ Cierre total de puertas y ventanas hasta llegar a 1000ppm en el sensor B (Sobre trípode), abriendo al 100% la puerta y al 50% las ventanas (solo las dos hojas más externas con apertura total) hasta lograr bajar los niveles hasta 750ppm. Ventanas del pasillo abiertas.
- ◆ Cierre total de puertas y ventanas hasta llegar a 1000ppm en el sensor B (Sobre trípode), abriendo al 100% la puerta y las ventanas hasta lograr bajar los niveles hasta 750ppm. Ventanas del pasillo abiertas.
- ◆ Cierre total de puertas y ventanas hasta llegar a 1000ppm en el sensor B (Sobre trípode), abriendo al 100% la puerta y al 50% las ventanas (solo las dos hojas más externas con apertura total) hasta lograr bajar los niveles hasta 750ppm. Ventanas del pasillo cerradas.

Se toma como medida de referencia el CO₂ exterior desde una de las ventanas del aula.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. TOMA Y ANÁLISIS DE DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO

3.1.1. MEDICIONES DE CO₂ 12 DE MARZO

Se realizaron medidas de CO₂ en un aula de colegio, en el cual se posicionaron cuatro sensores, tomando en cuenta altura y ubicación estratégica respecto a la cercanía de los alumnos y ventanas. Los sensores registraron mediciones de CO₂ desde las 8:00 am hasta las 14:40 de la tarde, cuyo objetivo es registrar los valores de CO₂ en un día normal de aula, respecto de la apertura y cierre de ventanas.

A partir de la observación e información registrada por parte de los alumnos, se toma cuenta de las acciones durante el día respecto a la apertura y cierre de ventanas y persianas, esto con el objetivo de evaluar los resultados obtenidos por los datos y relacionarlos con el porcentaje de apertura de las ventanas.

Se tomaron en consideración dos variables que podrían suponer una causal de los resultados obtenidos en cada uno de los sensores, en función de su posición y exposición a personas y la altura de cada sensor. Se puede apreciar en la Ilustración 7 la ubicación en planta de los sensores y la exposición a alumnos, para identificar el grado de exposición se ha trazado un círculo de radio de un metro, con el cual se puede reconocer que el sensor A y B tienen una mayor exposición en planta, el sensor D es el siguiente sensor con mayor superficie de contacto con el aula, no obstante este se encuentra cercano a la ventana por lo tanto, debería obtener mejores resultados y finalmente el sensor C, pese a tener una menor superficie de exposición a CO₂, este se encuentra en el otro extremo del recinto por lo tanto a priori puede determinarse que existe menor exposición a ventilación.

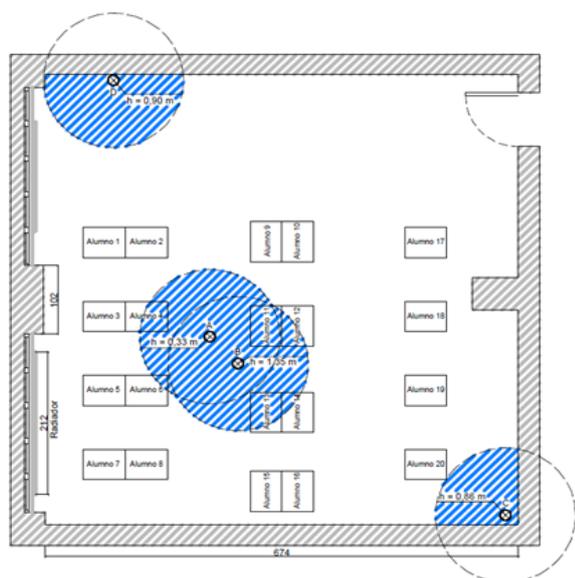


Fig.7. Ubicación de los sensores y grado de exposición a CO₂.

La segunda variable para tomar en consideración respecto de los resultados es la altura del sensor, que se puede apreciar en la Ilustración 8. Cruzando la información de ubicación en planta y la altura del sensor, se reconoce que el sensor B tiene una mayor exposición a CO₂, debido a que tiene alumnos en todo su perímetro, este sensor se encuentra a una altura de 1,35 m, coincidiendo con la altura de la ventana, por lo tanto, la ventilación que obtendría este sensor puede suponer mejores resultados que el sensor A, que se encuentra cercano al sensor B, sin embargo, este está a nivel de suelo

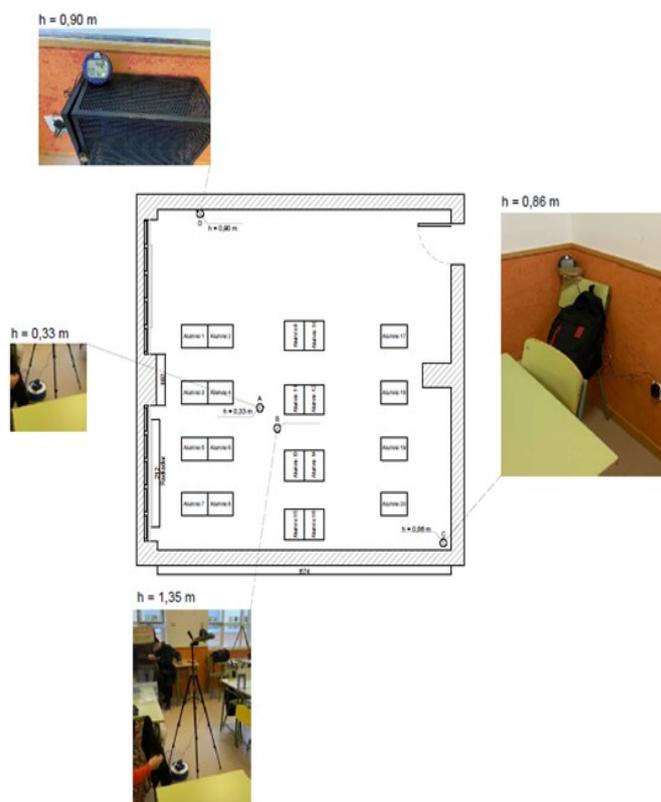
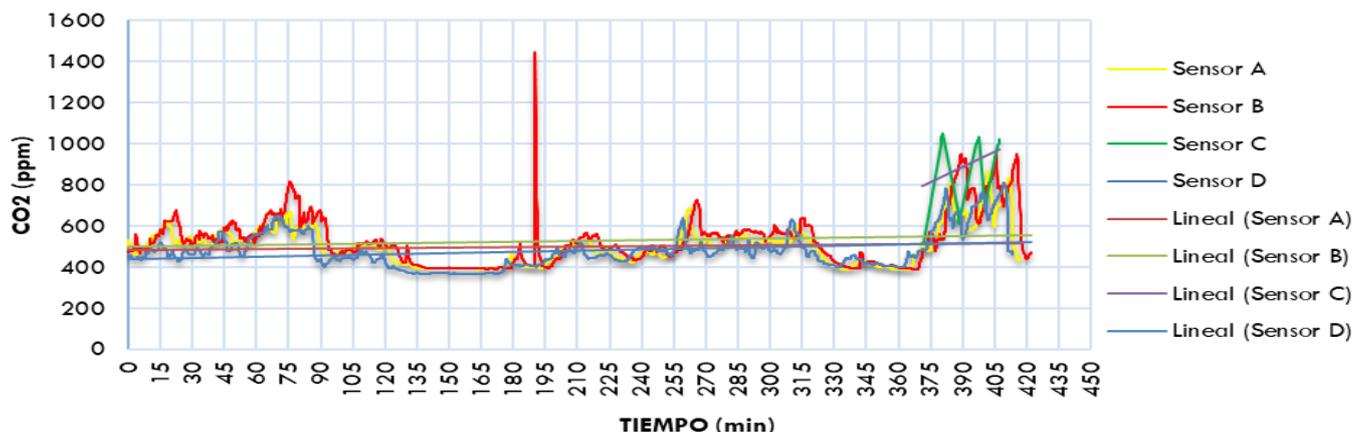


Fig. 8. Altura de los sensores.

Los resultados obtenidos de los cuatro sensores se pueden apreciar en la Gráfica 1. Tomando en consideración las variables anteriores, de altura y posición, se reconoce que el sensor con valores más altos de CO₂ es el sensor B, siendo este resultado coincidente con el sensor con mayor exposición perimetral junto con el sensor A, cuyos resultados de CO₂ son los siguientes con valores más altos. Se reconocen tres hitos importantes a lo largo del día, que se describirán en la Tabla 1.

Hitos	Descripción	Sensor valor máximo	Sensor valor mínimo	Rango de tiempo (min)
Hito 1	Se cierran las persianas	Sensor B	Sensor D	45-105
Hito 2	Recreo	Sensor B	Sensor D	135-165
Hito 3	Abertura y cierre de ventanas	Sensor C	Sensor D	365-420

Tabla 1. Hitos de CO₂.



Gráfica 1. Comparación resultados CO₂ Sensor A, B, y D.

3.1.2. MEDICIONES CO₂ 9 DE ABRIL

A partir de los datos registrados y la ubicación de los sensores el día 12 de marzo, se vuelven a tomar datos, con el objetivo de determinar posibles casos de estudio que a posterior se definirán y analizarán.

En este caso se cuenta con tres sensores, A, B y D, cuya posición se mantiene según mediciones del 12 de marzo y se muestra en la Ilustración 9. La altura de los sensores se mantiene con excepción del sensor B, que en este caso pasa a ser el sensor D y tiene una altura de 1,26 m según la Ilustración 10, resultando en 9 cm más bajo que el sensor B el 12 de marzo, no obstante, la exposición a CO₂, efecto de la cercanía a los alumnos sigue la misma lógica que el caso de estudio anterior. Se puede suponer previo a los resultados que el sensor B tendrá los valores más alto, debido a una mayor cercanía a los alumnos.

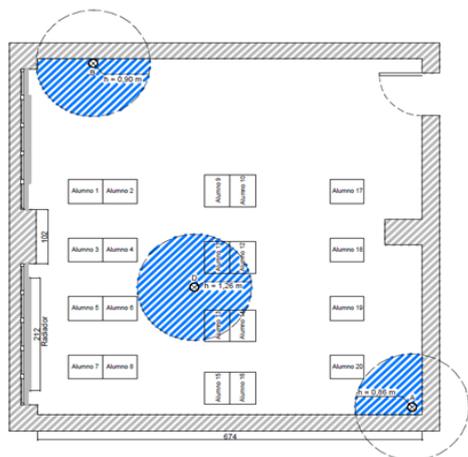


Fig. 9. Ubicación de los sensores y grado de exposición a CO₂.

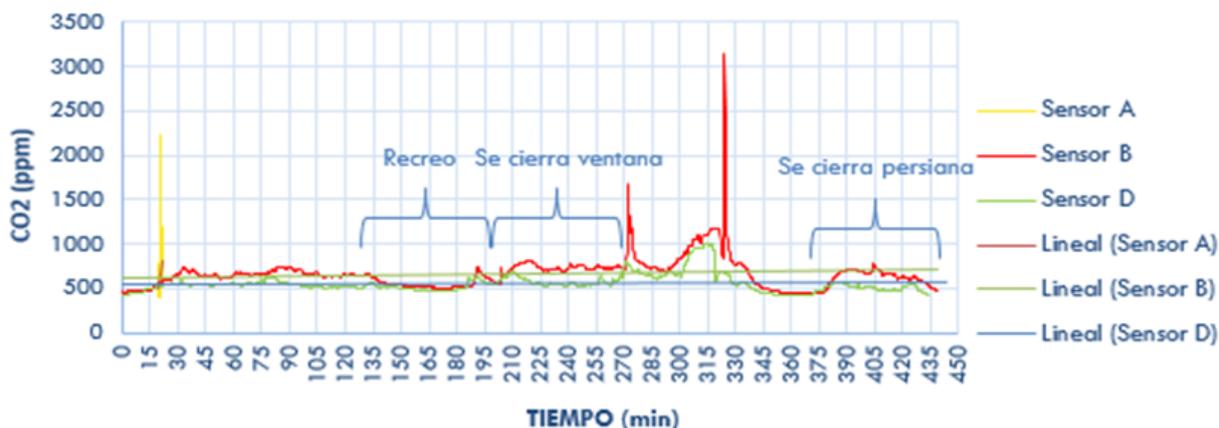
Se colocaron los sensores con todas las ventanas abiertas a las 8:00 de la mañana y estos se recogieron a las 15:15 aproximadamente. Se programaron los sensores para recoger medidas cada 10 segundos, pudiendo así evaluar que sucedía a lo largo de la mañana según variaban las actividades del aula, así como la ventilación de esta de manera aleatoria.

Al inicio de la toma de medidas, se encuentran todas las ventanas abiertas, y la clase está ocupada únicamente por cuatro personas hasta las 8:15 aproximadamente que es cuando empiezan a entrar todos los alumnos.

Al observar la Gráfica 2, se puede apreciar que, aunque se mantienen constantes los niveles de CO₂ durante la mañana, cuando se alcanza la hora del recreo, los valores de CO₂ descienden, alcanzando los mínimos. El sensor con valores más altos sigue siendo el sensor B, cuya mayor exposición a alumnos respecto de su ubicación es la mayor, mostrando los mismos resultados que el estudio de mediciones del 12 de marzo. Se reconoce un segundo hito en el cual se cierran las ventanas, resultando en un aumento de CO₂, con alcanzando los valores máximos en el rango de tiempo entre los 240-330 minutos. Los hitos que se reconocen durante el día se muestran en la Tabla 2.

Hitos	Descripción	Sensor valor máximo	Sensor valor mínimo	Rango de tiempo (min)
Hito 1	Recreo	Sensor B	Sensor D	135-165
Hito 2	Se cierran ventanas	Sensor B	Sensor D	195-255
Hito 3	Se cierran persianas	Sensor B	Sensor D	375-435

Tabla 2. Hitos de CO₂.



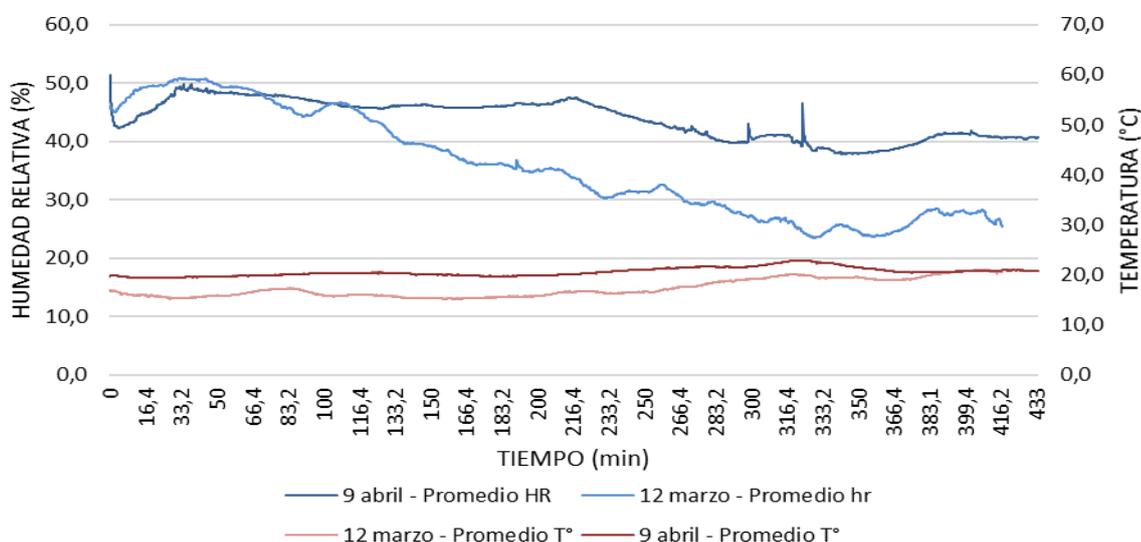
Gráfica 2. Comparación resultados CO₂ Sensor A, B y D.

Una vez hechas todas las mediciones de CO₂, se realiza una comparativa de todos los sensores en ambos días respecto a la temperatura y la humedad relativa, según se observa en la Gráfica 3.

Según se puede apreciar las líneas de tendencia de la temperatura tiene las mismas pendientes en ambos casos, con una pendiente mayor de crecimiento el día 9 de abril. Para el caso de la humedad relativa, la diferencia entre ambos días se hace más pronunciada, con una pendiente más acusada el 12 de marzo.

Si se observan los hitos definidos anteriormente y se compara

con la Gráfica 3, se observa que el comportamiento de las gráficas de la temperatura no arroja una correlación con los resultados de CO₂, manteniéndose con una pendiente poco pronunciada y pequeñas variaciones de rango, no obstante en el caso de la humedad relativa, se observa que en el momento en el que se cierran las ventanas en el caso 9 de abril, aparece un pico de humedad relativa, y en el momento en el que se abren y cierran ventanas en el caso 12 de marzo, se observa la misma tendencia de alza y descenso, con un rango más acotado de variación que el CO₂.



Gráfica 3. Comparación del promedio de temperatura y humedad relativa de los sensores A, B, C y D de los dos días de mediciones.

3.1.3. CASOS DE ESTUDIO

El día 30 de abril de 2021, se colocaron cuatro sensores en el aula con el fin tomar medidas de CO₂, temperatura y humedad durante toda la mañana. Se colocaron los sensores con todas las ventanas abiertas a las 8:00 de la mañana y estos se recogieron a las 14:30 aproximadamente. Se programaron los sensores para recoger medidas cada 10 segundos, pudiendo así evaluar que sucedía en 3 casos de estudio.

Todos los casos consisten en estudiar el tiempo que tarda en subir el nivel de CO₂ del aula a 1000 partículas por millón con todo el aula cerrada, es decir, sin ventilar, para posteriormente observar, el tiempo que se requiere para volver a tener un valor de CO₂ de 750 partículas por millón en el aula ventilando esta, ambas medidas por el sensor B, ubicado, aproximadamente, en la zona central de la clase, a 1'26 m de altura del suelo, con dos alumnos muy pegados, de cara, a él y respirando prácticamente sobre él.

En el primer caso se proporciona al aula toda la ventilación posible, es decir, la apertura de la puerta; las ventanas del pasillo que posibilitan una ventilación cruzada con el aula; y la apertura de las dos hojas de las dos ventanas de las que dispone la sala. Este caso fue el primero que se realizó en la

mañana, empezando a evaluar este a las 9:29 de la mañana del día 30 de abril de 2021, cuando se cierran todas las ventanas y puertas del aula, estando dentro de esta, 24 personas.

En el segundo caso se proporciona al aula la mitad de la ventilación posible, es decir, se abre la puerta, las ventanas del pasillo que posibilitan una ventilación cruzada con el aula, y una hoja de cada una de las dos ventanas de las que dispone la sala. Este se empezó a evaluar a las 9:37 de la mañana del día 30 de abril de 2021, cuando se cierran todas las ventanas y puertas del aula, estando dentro de esta, 24 personas.

En el tercer y último caso de estudio se proporciona al aula parte de la ventilación posible, es decir, se abre la puerta, y as dos hojas de las dos ventanas de las que dispone la sala, dejando cerradas todas las ventanas del pasillo que podrían ayudar a una ventilación cruzada. Este caso fue el último que se realizó en la mañana, empezando a evaluar este a las 9:53 de la mañana del día 30 de abril de 2021, cuando se cierran todas las ventanas y puertas del aula, estando dentro de esta, 24 personas. Estos casos quedan resumidos en la Tabla 3.

Casos	Ventanas clase	Puerta clase	Ventana pasillo
Caso 1	Dos hojas de cada ventana abiertas	Abierta	Abiertas
Caso 2	Hoja exterior de cada ventana abierta	Abierta	Abiertas
Caso 3	Dos hojas de cada ventana abiertas	Abierta	Cerradas

Tabla 3. Descripción de los diferentes casos de estudio.

En todos los casos de estudio cada sensor se encuentra situado en un punto del aula, Ilustración 11, y a una altura diferente, Ilustración 12, de forma que su separación de la ventana, la ventilación que le llegue, y la cantidad de personas que tiene a su alrededor, sea diferente.

Esto hace, que, aunque la velocidad media del aire en la zona cercana a la ventana del aula de ese día fuese de entre 0'8 y 1'4 m/s, a los sensores, este aire llegaba a velocidades mucho más bajas, tal y como se muestra en la Tabla 4.

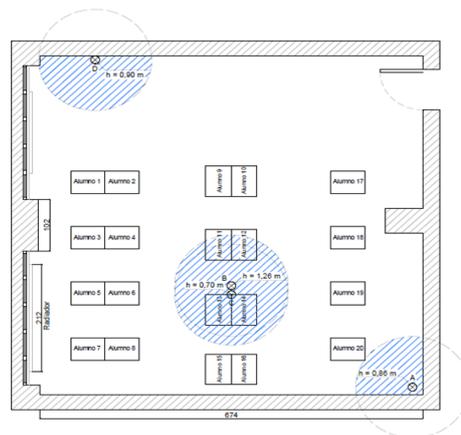


Fig. 11. Ubicación de los sensores y grado de exposición a CO₂.

Sensores	Posición	Altitud	Velocidad del aire
Sensor A	Esquina más alejada de puerta y ventanas	0,86mm	0,020 m/s
Sensor B	Al lado de la ventana de en frente de la puerta	1,26m	0,035 m/s
Sensor C	Debajo del sensor D	0,70m	0,010 m/s
Sensor D	Frente a la ventana de detrás, en la zona central del aula	0,90m	0,034 m/s

Tabla 4. Referencias de ubicación de los sensores en el aula.

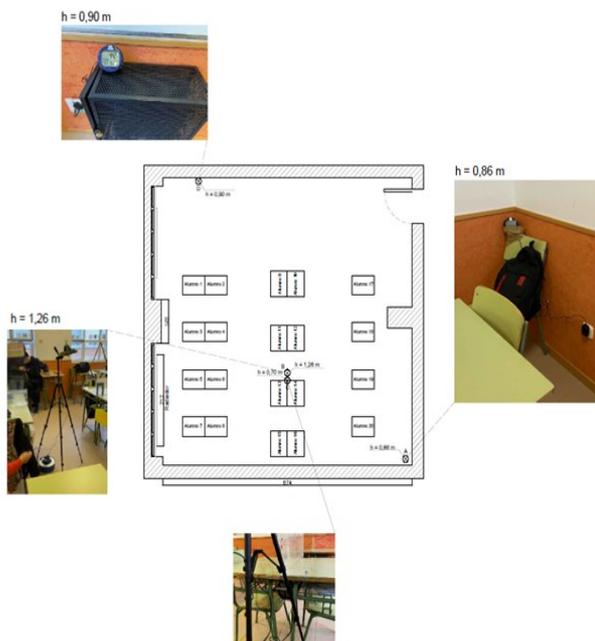


Fig. 12. Altura de los sensores.

A continuación, se muestra una comparativa de los niveles de CO₂ obtenidos para cada uno de los tres casos de estudio en los cuatro sensores instalados en el aula, para evaluar como influye cada modo de ventilación sobre cada sensor.



Gráfica 4. Comparación resultados CO₂ Sensor A en los diferentes casos de estudio.

La Gráfica 4 muestra cómo, en el sensor A, el caso de estudio 1, como era de esperar, es el que más rápido se reduce el nivel de CO₂ presente en el ambiente. La ventilación que proporciona la apertura de las dos ventanas del aula, sumado a la ventilación cruzada que se produce con las ventanas del pasillo, produce en este sensor, una mayor incidencia de aire renovado que hace que la presencia de partículas de CO₂ cerca de este, baje de una forma más brusca de lo que

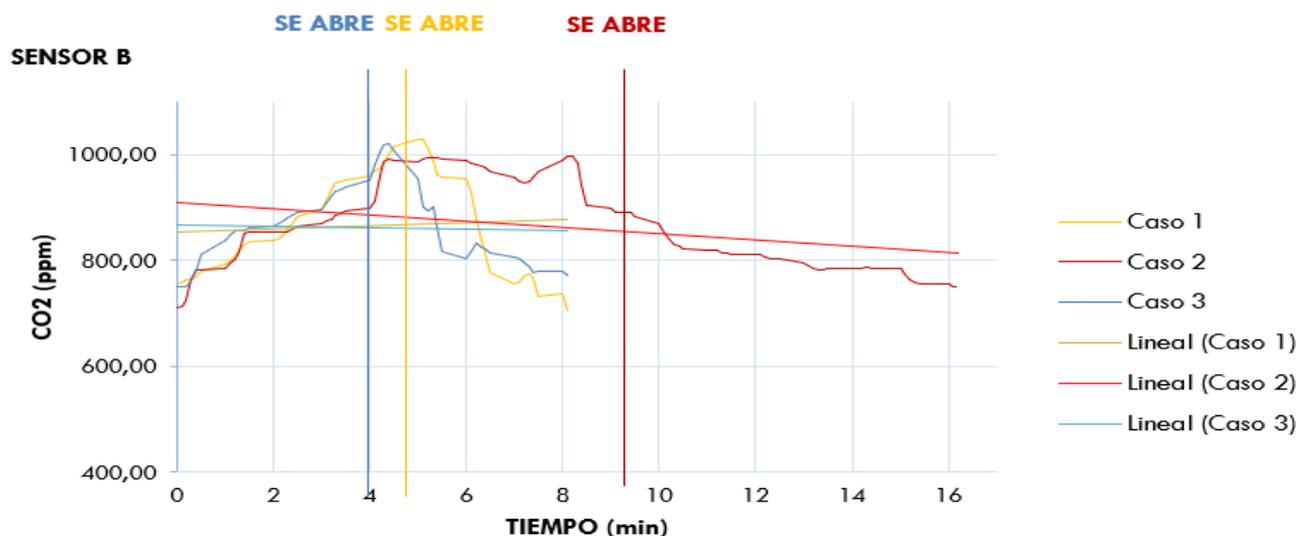
ocurre en el caso de estudio 2, y 3.

Se observa también que en el caso de estudio 3, aunque la reducción de los niveles de CO₂ del ambiente requiere de algunos segundos más de los que requiere el caso de estudio 1, precisa de un menor tiempo del que precisa el caso 2. Es decir, la Gráfica 4 revela también que la apertura de las dos hojas de las dos ventanas del aula proporciona una ventilación más eficiente de la que proporciona la apertura de las ventanas del pasillo que ayudan a esa ventilación cruzada.

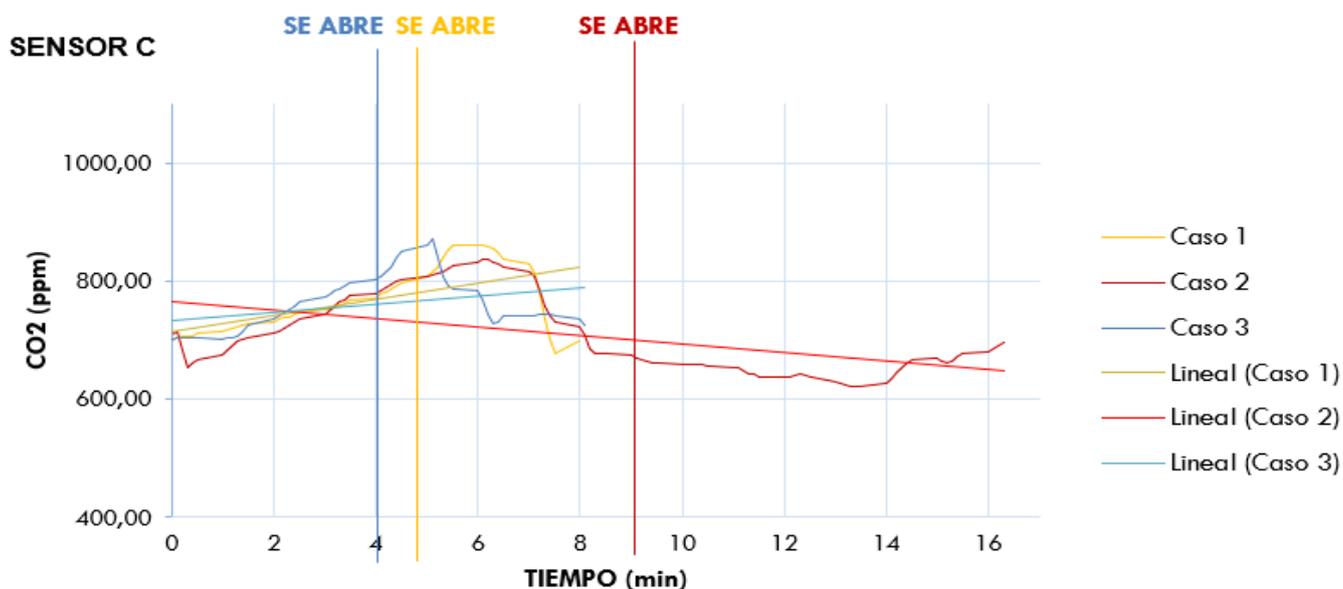
Se aprecia que con el sensor B ocurre algo parecido a lo sucedido con el A. La ventilación que proporciona la apertura de las dos ventanas del aula, sumado a la ventilación cruzada que se produce con las ventanas del pasillo, del caso 1, hace que solo se requiera de 3 minutos para reducir de 1000 ppm a 750 ppm, el nivel de CO₂ presente en el ambiente.

Se observa también, que al igual que pasaba con el sensor A, el sensor B muestra que la apertura de una sola hoja de cada una de las dos ventanas del aula, del caso 2 de estudio, hace que los tiempos de reducción del CO₂ presente en el ambiente sean superiores a los de los otros dos casos.

Esto se aprecia en que para pasar de 1000 ppm a 750 ppm en el caso de estudio 3, se requiere tan solo de 4 minutos, frente a los 8 que se necesitan en el caso de estudio 2.



Gráfica 5. Comparación resultados CO₂ Sensor B en los diferentes casos de estudio.



Gráfica 6. Comparación resultados CO₂ Sensor C en los diferentes casos de estudio.

La Gráfica 6 vuelve a corroborar que la ventilación que se da en el caso 1 de estudio es la que mayor reducción del nivel de CO₂ presente en el aula permite en el menor tiempo, seguida del caso 3, y dejando en el último puesto al caso 2, donde esa bajada del número de partículas de CO₂ presentes por millón es más lenta. Este queda reflejado en la reducción tan pronunciada que se da a 7 minutos del comienzo de evaluación del caso 1.

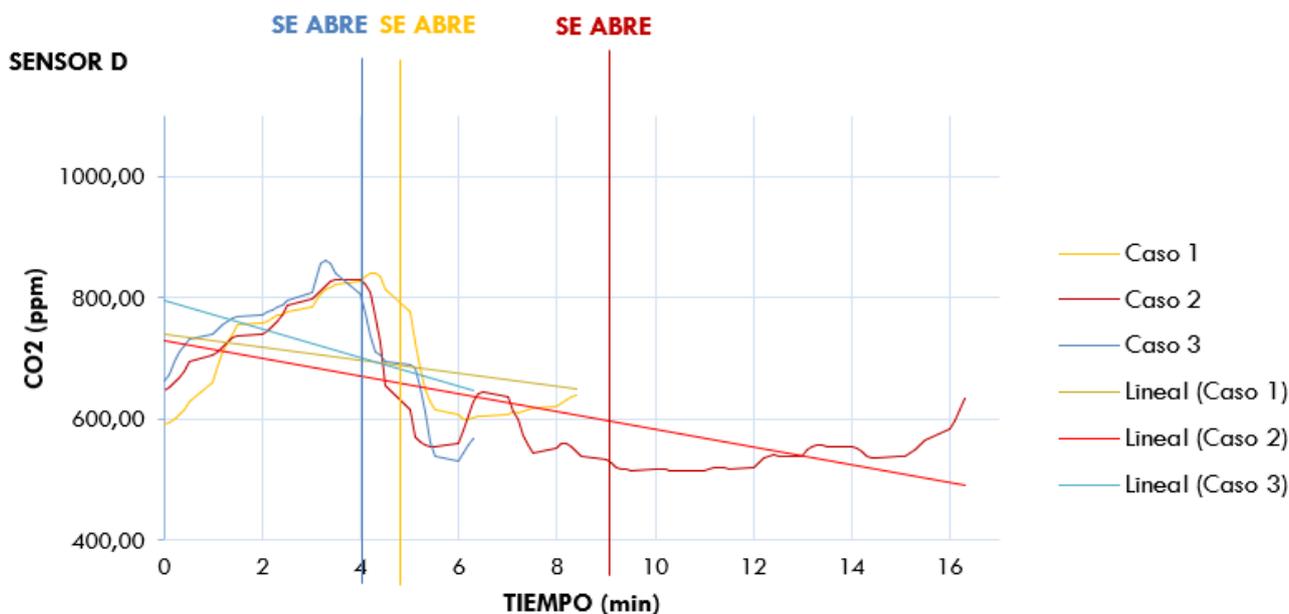
La Gráfica 7 muestra que, en el caso del sensor D, es el caso de estudio 3 el que mayor reducción de CO₂ experimente en el menor tiempo. Apreciando lo ocurrido entre el minuto 3 y el 6 de estudio, se aprecia que la pendiente de la curva azul, caso de estudio 3, es superior a la de la amarilla, caso de estudio 1.

Esta variación de los resultados respecto al resto de las gráfi-

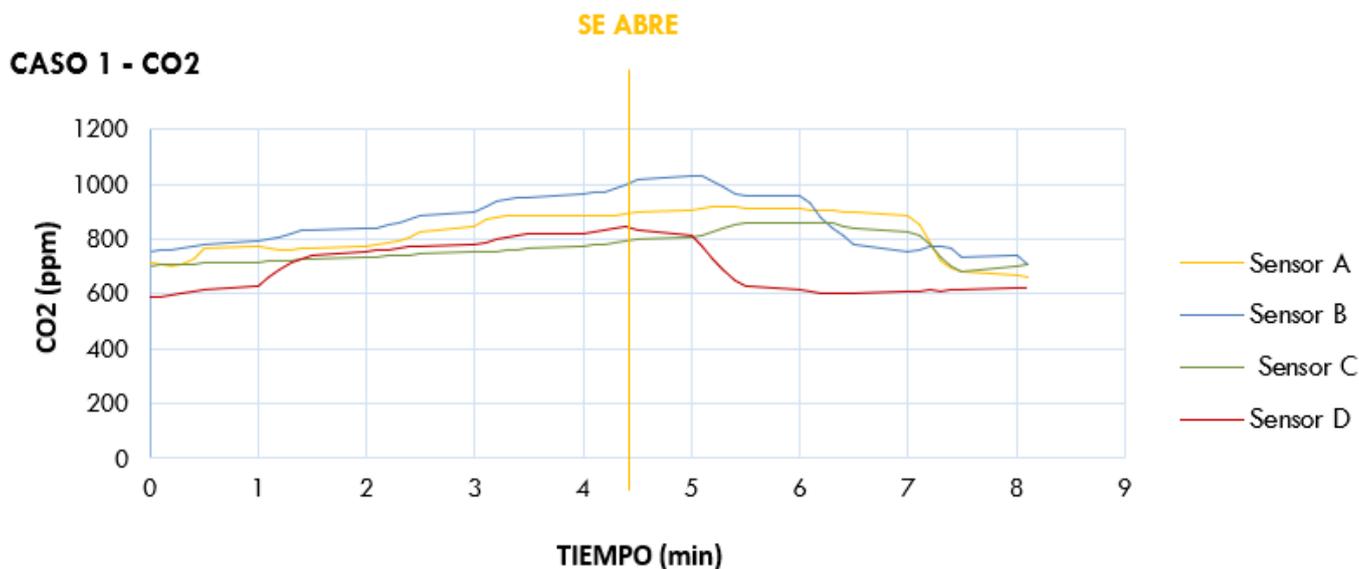
cas evaluadas, de los otros sensores, se debe al posicionamiento de estos y a la incidencia de aire sobre estos, es decir, a la velocidad con la que llega.

Como se indica en la Tabla 4, el sensor D es el más cercano a la ventana, el tiene el menor número de personas a su alrededor, y por tanto el que recibe el aire a una de las mayores velocidades registradas. Esto hace, que sea al sensor D, junto con el B a los que a mayor velocidad les llega el aire renovado.

Seguidamente, se muestra una comparativa de los datos de CO₂ obtenidos por los cuatro sensores instalados en el aula durante los tres casos de estudio diferente, para analizar como influye la ubicación de cada sensor en el aula en cada caso de estudio.



Gráfica 7. Comparación resultados CO₂ Sensor D en los diferentes casos de estudio..



Gráfica 8. Comparación resultados CO₂ caso de estudio 1 en los diferentes sensores.

La Gráfica 7 muestra que, en el caso del sensor D, es el caso de estudio 3 el que mayor reducción de CO₂ experimente en el menor tiempo. Apreciando lo ocurrido entre el minuto 3 y el 6 de estudio, se aprecia que la pendiente de la curva azul, caso de estudio 3, es superior a la de la amarilla, caso de estudio 1.

Esta variación de los resultados respecto al resto de las gráficas evaluadas, de los otros sensores, se debe al posicionamiento de estos y a la incidencia de aire sobre estos, es decir, a la velocidad con la que llega.

Como se indica en la Tabla 4, el sensor D es el más cercano a la ventana, el tiene el menor número de personas a su alrede-

dor, y por tanto el que recibe el aire a una de las mayores velocidades registradas. Esto hace, que sea al sensor D, junto con el B a los que a mayor velocidad les llega el aire renovado.

Seguidamente, se muestra una comparativa de los datos de CO₂ obtenidos por los cuatro sensores instalados en el aula durante los tres casos de estudio diferente, para analizar como influye la ubicación de cada sensor en el aula en cada caso de estudio.

La Gráfica 8: Comparación resultados CO₂ caso de estudio 1 en los diferentes sensores. muestra que durante el tiempo que el aula carece de ventilación, el nivel de CO₂ marcado por todos y cada uno de los sensores posicionados en el aula aumenta progresivamente, pero siempre marcando valores inferiores al sensor B, lo que indica que el sensor B es el más desfavorable cuando no se produce ventilación en el aula, y el más favorable cuando sí, es decir, el que más rápido aumenta su nivel de CO₂ cuando no se produce ventilación, y el que más rápido disminuye este valor cuando sí, o lo que es lo mismo, el que mayor corriente de aire recibe, lo que era de esperar al analizar las velocidades con las que le aire incide sobre cada uno de los sensores.

A los valores marcados por este sensor, le sigue los del sensor A y el D, donde la bajada del nivel de CO₂ es mucho más pronunciada que la subida de este. En el caso del sensor C, los valores de CO₂ marcados por este son bastante lineales, puesto que en la posición en al que se encuentra, tanto la ventilación como la respiración de las personas, no indican de forma muy directa.

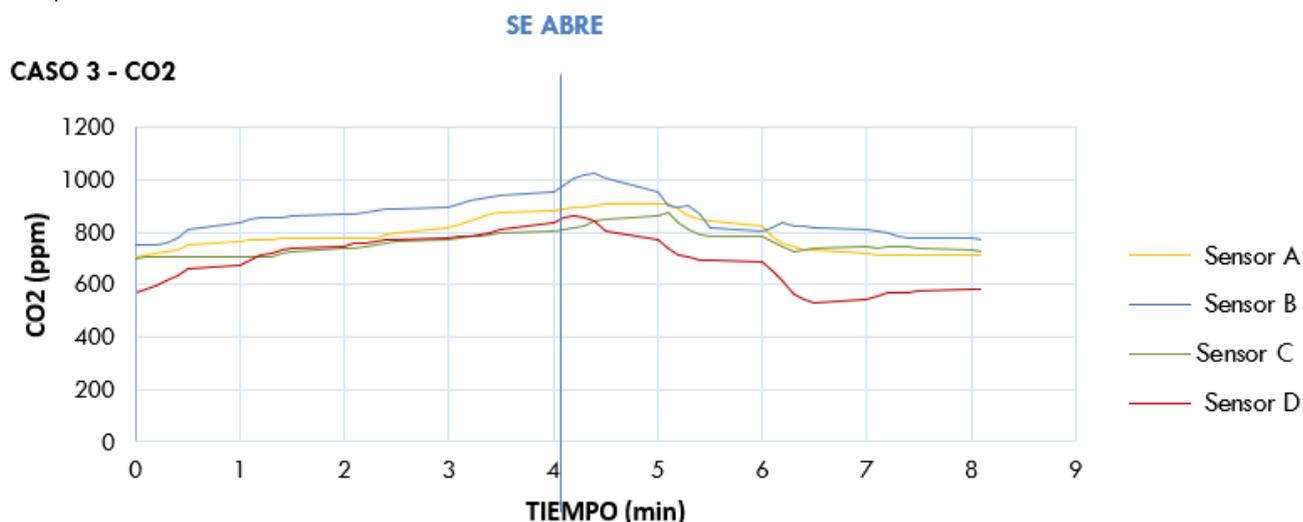
En la Gráfica 9 se observa que durante el tiempo que el aula carece de ventilación, el nivel de CO₂ marcado por todos y cada uno de los sensores posicionados en el aula aumenta progresivamente, al inicio, es el sensor B el que marca los valores más altos de este, y a partir del momento en el que se produce la ventilación, es el sensor A el que registra estos mayores valores. Esto es debido a que, aunque el sensor B es el más desfavorable en cuanto a personas a su alrededor, al ventilar con una sola hoja de cada ventana, el sensor B sí que recibe parte de ventilación mientras que, al sensor A, apenas llega algo de este aire renovado.

El sensor C y D siempre son los que menores cantidades de partículas por millón de CO₂ presentes en el ambiente marcan. Aunque inicialmente, los valores marcados por ambos son bastante parecidos, al empezar a ventilar, el nivel de CO₂ marcado por el sensor C se queda por encima del sensor D, ya que sobre el D es sobre el que mayor cantidad de aire renovado incide, y por tanto el que menores valores de CO₂ va a marcar.

CASO 2 - CO₂



Gráfica 9. Comparación resultados CO₂ caso de estudio 2 en los diferentes sensores.



Gráfica 10. Comparación resultados CO₂ caso de estudio 3 en los diferentes sensores.

Al observar el comportamiento de los cuatro sensores, en la Gráfica 10, durante el tiempo en el cual la ventilación se ve limitada, los niveles de CO₂ aumenta de manera progresiva, siendo el sensor B el que se mantiene por encima de los otros sensores en todo momento. Una vez abiertas las ventanas y puerta se observan que el comportamiento de los sensores es más heterogéneo, siendo el sensor D, el que alcanza los menores valores de ppm CO₂. Estos resultados del sensor D se deben a que debido a su ubicación es el que cuenta con mayor cantidad de aire renovado. El sensor A registra valores similares a los del sensor C, con una tendencia y media similar alcanzando valores máximos cercanos cerrando el caso 3 en prácticamente la misma cantidad de CO₂.

Una vez analizados los datos de niveles de CO₂ obtenidos por cada uno de los sensores en los diferentes casos de estudio, se realiza una comparación del promedio de temperaturas y humedades relativas recogidas por cada uno de los sensores en los diferentes casos de estudio, obteniendo los resultados mostrados en la Gráfica 11.

La Gráfica 11. muestra que, a medida que pasa el tiempo con todos los puntos posibles de ventilación cerrados, el porcentaje de humedad relativa presente en el ambiente aumenta. Esto es debido a que, al carecer de vía de incorporación de aire renovado, las respiraciones de las personas del interior del aula así como la humedad que esta crea, hace que se eleve el nivel de CO₂ presente en esta y por consecuencia la humedad relativa.

Tras abrir las ventanas y permitir una ventilación de la clase, el porcentaje de humedad relativa baja tanto para el caso de estudio 1 como para el 2 y el 3. En el caso de estudio 1, la gran superficie de ventilación de la que se dispone hace que esta reducción de humedad relativa sea la de mayor pendiente, es decir, la que mayor porcentaje disminuye en el menor tiempo. A este caso le sigue el caso 3, donde esta disminución también es destacable, pero en menor medida. En el caso 2, la apertura de únicamente la mitad de la superficie de las ventanas de las que dispone el aula hace que el porcentaje de humedad relativa presente disminuya más lentamente.

Se aprecia que, con la temperatura en los diferentes casos de estudio ocurre lo mismo que con la humedad relativa.

Además, se observa también a medida que pasa el tiempo, con el aula ocupada por 25 personas, se producen variaciones en los promedios de la temperatura en los diferentes casos de estudio, aunque esta siempre se mantiene entre los 19,8 – 21 °C.

El promedio de temperaturas aumenta, experimentando variaciones de subidas mientras se mantienen cerradas las ventanas y la puerta del aula, y bajadas al abrir estas para ventilar, sabiendo que, en la mayoría de los casos la curva superior es superior, la marcada por el sensor B, el cual, en cuanto a presencia de personas a su alrededor, es el más desfavorable. Esto es debido a que el cuerpo humano desprende calor a mayor velocidad de la que entra aire frío por las ventanas o puertas del aula.



Gráfica 11. Comparación del promedio de temperatura y humedad relativa de los sensores A, B, C y D en los diferentes casos de estudio.

4. CONCLUSIONES

A partir de los casos de estudio los primeros dos días, 12 de marzo y 9 de abril, en el cual la apertura y cierre de ventanas se realizó de manera aleatoria, se reconocen tres hitos, los cuales muestran resultados similares entre sí. Se reconoce que, durante el período de recreo, en el cual no hay alumnos en la sala, el nivel de CO₂ alcanza los mínimos en ambos casos. Un segundo hito reconoce el cierre de persianas el cual afecta en un alza de CO₂ en ambos casos y finalmente la apertura y cierre de ventanas genera fluctuaciones destacables en un corto período de tiempo. Concluyendo así en estos dos casos que la apertura de ventanas de la clase implica una mayor superficie de ventilación y por lo tanto menores valores de CO₂.

Tras los estudios realizados a partir de los hitos anteriores donde se pretende evaluar la concentración de CO₂ en un aula escolar como forma de optimizar la ventilación natural y garantizar un nivel de CO₂ óptimo para las condiciones de aprendizaje, se concluye que:

- ◆ La variable que más afecta en la reducción de los niveles de CO₂ en el aula es proporcional a la superficie de ventilación directa, es decir a mayor superficie de entrada de aire renovado, mayores reducciones de niveles de CO₂ en el tiempo.
- ◆ La ventilación cruzada proporcionada por las ventanas del pasillo no supone una variación de resultados considerable, sin embargo, no se cuenta con suficientes datos y mediciones respecto a esta investigación, por lo tanto no es posible realizar una conclusión determinante.
- ◆ La posición dentro del aula afecta respecto a los niveles de CO₂, observando que en las zonas más alejadas de la superficie de ventilación existe un mayor nivel de CO₂ debido a una menor velocidad de llegada de aire renovado.
- ◆ La concentración de personas en una menor superficie del aula implica mayores niveles de CO₂, a causa de mayor exhalación de CO₂.

Estos resultados se encuentran alineados con los resultados obtenidos de las investigaciones analizadas previamente, en donde de mantenerse las ventanas cerradas no se cumple con los estándares óptimos para el nivel de educación, no obstante, como una futura línea de investigación se podrían realizar mediciones con diferentes temperaturas y condiciones climáticas.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto de Educación Superior Ramito Maeztu por facilitarnos la toma de mediciones y a la Escuela Técnica

Superior en Edificación por facilitarnos los implementos de medición utilizados en nuestras pruebas.

5. REFERENCIAS

- [1] Worldometer, «COVID Live Update: 154,298,022 Cases and 3,229,325 Deaths from the Coronavirus - Worldometer», may 04, 2021. <https://www.worldometers.info/coronavirus/> (accedido may 04, 2021).
- [2] European Centre for Disease Prevention and Control, «Rapid Risk Assessment: Increased transmission of COVID-19 in the EU/EEA and the UK», European Centre for Disease Prevention and Control, oct. 23, 2020. <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/covid-19-risk-assessment-increased-transmission-thirteenth-update> (accedido may 04, 2021).
- [3] CDC, «Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)», Centers for Disease Control and Prevention, feb. 11, 2020. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/science/science-briefs/scientific-brief-sars-cov-2.html> (accedido may 04, 2021).
- [4] World Health Organization, «Coronavirus disease (COVID-19): How is it transmitted?», dic. 13, 2020. <https://www.who.int/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted> (accedido may 04, 2021).
- [5] Y. Li et al., «Evidence for probable aerosol transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated restaurant», medRxiv, 2020, doi: 10.1101/2020.04.16.20067728.
- [6] S. L. Miller et al., «Transmission of SARS-CoV-2 by inhalation of respiratory aerosol in the Skagit Valley Chorale superspreading event», *Indoor Air*, vol. 31, n.o 2, pp. 314-323, mar. 2021, doi: 10.1111/ina.12751.
- [7] Y. Shen et al., «Community Outbreak Investigation of SARS-CoV-2 Transmission Among Bus Riders in Eastern China», *JAMA Internal Medicine*, vol. 180, n.o 12, pp. 1665-1671, dic. 2020, doi: 10.1001/jamainternmed.2020.5225.
- [8] K. A. Prather, L. C. Marr, R. T. Schooley, M. A. McDiarmid, M. E. Wilson, y D. K. Milton, «Airborne transmission of SARS-CoV-2», *Science*, vol. 370, n.o 6514, pp. 303-304, 2020, doi: 10.1126/science.abf0521.
- [9] D. K. Milton, «A Rosetta Stone for Understanding Infectious Drops and Aerosols.», *J Pediatric Infect Dis Soc*, vol. 9, n.o 4, pp. 413-415, sep. 2020, doi: 10.1093/jpids/piaa079.
- [10] World Health Organization, «Coronavirus disease (COVID-19) advice for the public», abr. 09, 2021. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public> (accedido may 04, 2021).
- [11] M. Z. Salas Javier, «A room, a bar and a classroom: how the coronavirus is spread through the air», *EL PAÍS*, oct. 28, 2020. <https://english.elpais.com/society/2020-10-28/a-room-a-bar-and-a-class-how-the-coronavirus-is-spread-through-the-air.html> (accedido may 04, 2021).
- [12] J. S. Zafra Mariano, «An analysis of three Covid-19 outbreaks: how they happened and how they can be avoided», *EL PAÍS*, jun. 17, 2020. https://english.elpais.com/spanish_news/2020-06-17/an-analysis-of-three-covid-19-outbreaks-how-they-happened-and-how-they-can-be-avoided.html (accedido may 04, 2021).
- [13] Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences at the University of Colorado Boulder, «COVID-19 Airborne Transmission Tool Available», *CIRES*, jun. 25, 2020. <https://cires.colorado.edu/news/covid-19-airborne-transmission-tool-available> (accedido may 04, 2021).

- [14] Gobierno de España, «Evaluación del riesgo de transmisión de sars cov-2 mediante aerosoles», Ministerio de Sanidad. Dirección General de Salud Pública: Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral, nov. 2020. [En línea]. Disponible en: https://www.msrebs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/COVID19_Aerosoles.pdf.
- [15] D. A. Christopherson, W. C. Yao, M. Lu, R. Vijayakumar, y A. R. Sedaghat, «High-Efficiency Particulate Air Filters in the Era of COVID-19: Function and Efficacy», *Otolaryngology - Head and Neck Surgery (United States)*, vol. 163, n.o 6, pp. 1153-1155, 2020, doi: 10.1177/0194599820941838.
- [16] S. Ham, «Prevention of exposure to and spread of COVID-19 using air purifiers: challenges and concerns», *Epidemiology and Health*, vol. 42, 2020, doi: 10.4178/epih.e2020027.
- [17] Gobierno de España y Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, RITE - Reglamento instalaciones térmicas en los edificios. 2007.
- [18] Harvard T.H. Chan School of Public Health, «5 Step Guide to Checking Ventilation Rates in Classrooms», *Schools For Health*. <https://schools.forhealth.org/ventilation-guide/> (accedido may 04, 2021).
- [19] ASHRAE, «The Standards for Ventilation and Indoor Air Quality | Standards 62.1 & 62.2», ASHRAE, 2018. <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standards-62-1-62-2> (accedido may 04, 2021).
- [20] Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, «La ventilación como medida preventiva frente al coronavirus SARS-CoV-2 - Portal INSST - INSST», Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, Ministerio de trabajo y Economía Social de España, ene. 2021. Accedido: may 04, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.insst.es>.
- [21] P. F. Pereira y N. M. M. Ramos, «The impact of mechanical ventilation operation strategies on indoor CO₂ concentration and air exchange rates in residential buildings», *Indoor and Built Environment*, p. 1420326X20960767, oct. 2020, doi: 10.1177/1420326X20960767.
- [22] H. B. Stage, J. Shingleton, S. Ghosh, F. Scarabel, L. Pellis, y T. Finnie, «Shut and re-open: the role of schools in the spread of COVID-19 in Europe», *medRxiv*, p. 2020.06.24.20139634, ene. 2020, doi: 10.1101/2020.06.24.20139634.
- [23] Consejo Superior de Investigaciones Científicas, «Guía para ventilación de las aulas CSIC». nov. 03, 2020, [En línea]. Disponible en: <https://www.csic.es/es/actualidad-del-csic/una-guia-del-csic-muestra-como-se-deben-ventilar-las-aulas-para-reducir-el>.
- [24] C. Bonell et al., «An evidence-based theory of change for reducing SARS-CoV-2 transmission in reopened schools», *Health & Place*, vol. 64, p. 102398, jul. 2020, doi: 10.1016/j.healthplace.2020.102398.
- [25] J. Panovska-Griffiths et al., «Determining the optimal strategy for reopening schools, the impact of test and trace interventions, and the risk of occurrence of a second COVID-19 epidemic wave in the UK: a modelling study», *The Lancet Child & Adolescent Health*, vol. 4, n.o 11, pp. 817-827, nov. 2020, doi: 10.1016/S2352-4642(20)30250-9.
- [26] M. Griffiths y M. Eftekhari, «Control of CO₂ in a naturally ventilated classroom», *Energy and Buildings*, vol. 40, n.o 4, pp. 556-560, ene. 2008, doi: 10.1016/j.enbuild.2007.04.013.
- [27] T. Salthammer et al., «Children's well-being at schools: Impact of climatic conditions and air pollution», *Environment International*, vol. 94, pp. 196-210, sep. 2016, doi: 10.1016/j.envint.2016.05.009.
- [28] S. Petersen, K. L. Jensen, A. L. S. Pedersen, y H. S. Rasmussen, «The effect of increased classroom ventilation rate indicated by reduced CO₂ concentration on the performance of schoolwork by children.», *Indoor Air*, vol. 26, n.o 3, pp. 366-379, jun. 2016, doi: 10.1111/ina.12210.
- [29] L. Chatzidiakou, D. Mumovic, y A. Summerfield, «Is CO₂ a good proxy for indoor air quality in classrooms? Part 1: The interrelationships between thermal conditions, CO₂ levels, ventilation rates and selected indoor pollutants», *Building Services Engineering Research and Technology*, vol. 36, n.o 2, pp. 129-161, ene. 2015, doi: 10.1177/0143624414566244.
- [30] F. R. d'Ambrosio Alfano, L. Bellia, y F. van Dijken, «Indoor Environment And Energy Efficiency In Schools», REHVA, 2010. <https://www.rehva.eu/eshop/detail/indoor-environment-and-energy-efficiency-in-schools> (accedido may 05, 2021).
- [31] Plataforma Edificatoria Passive House, «Publicación de Estudio de monitorización de colegios PEP», oct. 15, 2020. <http://www.plataforma-pep.org/noticias/1412-publicacion-de-estudio-de-monitorizacion-de-colegios-pep> (accedido may 04, 2021).
- [32] A. Alonso, J. Llanos, R. Escandón, J. J. Sendra, y P. Villoria-Sáez, «Effects of the COVID-19 Pandemic on Indoor Air Quality and Thermal Comfort of Primary Schools in Winter in a Mediterranean Climate.», *Sustainability (2071-1050)*, vol. 13, n.o 5, pp. 2699-2699-2699, mar. 2021, doi: 10.3390/su13052699.
- [33] R. O. for E. World Health Organization, «School environment: Policies and current status», Organización Mundial de la Salud, s. Copenhagen, 2015. [En línea]. Disponible en: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/276624/School-environment-Policies-current-status-en.pdf.
- [34] L. Stabile, A. Massimo, L. Canale, A. Russi, A. Andrade, y M. Dell'Isola, «The Effect of Ventilation Strategies on Indoor Air Quality and Energy Consumptions in Classrooms», *Buildings*, vol. 9, n.o 5, 2019, doi: 10.3390/buildings9050110.

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.

Real Estate Due Diligence

La *Due Diligence* inmobiliaria

GREGORIO GARCÍA LÓPEZ DE LA OSA

Msc. Técnicas y Sistemas de Edificación y Arquitecto Técnico
E.T.S. Edificación. Universidad Politécnica de Madrid.
g.garcia.lopezosa@upm.es

RICARDO TENDERO CABALLERO

Arquitecto y Arquitecto Técnico
E.T.S. Edificación. Universidad Politécnica de Madrid.
ricardo.tendero@upm.es

The discussion of the protocol for drafting a Real Estate Due Diligence (REDD) and its definition has not received the attention in the scientific literature that it deserves, given its importance for thousands of transactions, which have a strong relative presence in the economy and, each time moreover, a strong influence on transnational capital movements.

A widely experienced model is provided in the daily practice of professionals in the real estate sector that serves to standardize its performance and to improve the decision-making for which it is written.

Due Diligence; Real estate investment; Investment funds; Sell&lease back.

La discusión del protocolo de redacción de una Due Diligence Inmobiliaria (DDI) y su definición no ha tenido la atención en la bibliografía científica que merece, dada su importancia para miles de transacciones, que tienen una fuerte presencia relativa en la economía y, cada vez más, una fuerte influencia en los movimientos de capitales transnacionales.

Se aporta un modelo ampliamente experimentado en la práctica cotidiana de profesionales del sector inmobiliario que sirve a la normalización de su realización y a la mejora de la toma de decisiones para las que se redacta.

Due Diligence; ; Inversión inmobiliaria; Fondos de inversión; Retroleasing.

1. INTRODUCCIÓN

Aspectos como la definición de una Due Diligence Inmobiliaria, su finalidad y como debe realizarse para su utilidad sea completa, dado que esta herramienta permite decidir al inversor inmobiliarios i una determinada transacción (compra-venta, sell&lease, back, opciones de compra, etc) es interesante para sus objetivos, son de gran relevancia.

Para ello debe tener perfectamente claro el estado jurídico, administrativo y constructivo del inmueble en estudio, así como los importes derivados de los diferentes análisis realizados.

2. LA INVERSIÓN INMOBILIARIA

En los últimos años la inversión de capital ha sufrido las sucesivas inestabilidades económicas que han afectado y afectan a Europa, América y al mundo. Siendo necesaria en varias ocasiones, la intervención de organismos oficiales con medidas cuya última intención ha sido el mantenimiento de la estabilidad de los mercados.

Al respecto, los expertos [1] alertan de que las medidas excepcionales adoptadas por el BCE, no deben convertirse en algo permanente que distorsione los mercados financieros. En

cuanto al futuro, se prevé que la rentabilidad en general baje de forma apreciable [2]

Sin embargo, se espera que los alquileres subirán un 2-3% de media, con subidas notables en varias ciudades europeas. Concretamente en algunas españolas como Madrid o Barcelona, alzas del entorno de un 10% para la primera y de un 5% para la segunda [2].

Esto se encuentra directamente relacionado con el incremento de las acciones destinadas a la rehabilitación energética de los inmuebles del interior de las ciudades (1), la alta demanda ocupacional y el crecimiento del alquiler en todos los sectores.

En este escenario, el inversor busca espacios seguros donde prosperar, mientras se estabilizan los mercados más volátiles y esos son los inmobiliarios. Normalmente en forma de fondos de inversión inmobiliaria.

Se estima que el volumen de inversión en activos inmobiliarios aumentará un 6% en este año en Europa [2]. Los responsables serán un engrosamiento del tráfico interior y la inversión asiática, que se espera que superará a la norteamericana.

3. LA INVERSIÓN INMOBILIARIA

Los fondos de inversión inmobiliaria son entidades patrimoniales colectivas que invierten en inmuebles, obteniendo la rentabilidad del arrendamiento de los mismos. Están dirigidos a inversores de largo plazo y con perfil conservador. Son la alternativa a la inversión directa en inmuebles con la diferencia de que el importe desembolsado puede ser mucho menor. Aunque son menos líquidos que los fondos de inversión en activos financieros debido a que no es posible reembolsar las participaciones en cualquier momento [3].

La explotación puede realizarse en varias modalidades; es posible comprarlos, subarrendarlos en acuerdos con opción a compra, sell & lease back [4] y cualquier otro tipo de titularidad sobre derechos reales y concesiones administrativas, cada una con los condicionantes que imponen las leyes en cuanto a plazos, valores de primas, periodos mínimos de explotación, porcentajes de reinversión, etc. En el caso de la adquisición, puede llevarse a cabo en cualquier momento de la vida del inmueble; sobre plano, en proceso de construcción o ya finalizados.

4. LA VALORACIÓN TÉCNICA DE LA INVERSIÓN

El paso previo a la toma de decisión de adquisición de un inmueble, es la valoración técnica del mismo. En fases anteriores a la existencia del mismo la valoración pasa por el mero examen de las calidades y condiciones ofrecidas, la comprobación del cumplimiento de los requisitos legales que aseguran la calidad de lo finalmente construido y otros aspectos, parcialmente más subjetivos, como la garantía que pueda significar la reputación de uno u otro comercializador.

Sin embargo, cuando el inmueble es de segunda mano se hace inevitable la valoración técnica del inmueble, conocida como Technical Due Diligence (Diligencia técnica obligada). Se trata de un proceso de análisis que tiene por objeto conocer el estado general y concreto de un inmueble. Es decir la situación jurídico-administrativa, la superficie y distribución (planos reales), la adecuación al uso destinado o por destinar, el estado de cumplimiento de normativa, el estado de mantenimiento y, si así sucede, de deterioro de cada uno de sus materiales, elementos y sistemas. Esta información quedará finalmente traducida a costes, de tal forma que el inversor será conocedor del nivel de desembolso necesario así como los plazos en los que se requiere, ponderando con exactitud la rentabilidad de la inversión.

Este análisis usualmente es encargado por el comprador potencial para establecer el nivel de riesgo de la inversión, pero existen otras posibilidades. Cada vez es más usual que sea el vendedor el que facilita el informe, consiguiendo una ventaja competitiva frente a otros vendedores y agilizando las negociaciones. También lo encargan propietarios, sin intención de vender o comprar, que quieren ser conscientes del estado del

inmueble y de las inversiones necesarias en el futuro a corto, medio y largo plazo. Este último caso es el de presidentes de comunidades de propietarios, sobretodo de gran tamaño, que desean planificar adecuadamente los costes actuales y futuros con los que se van a ver comprometidos, en materia de mantenimiento y actualización.

5. LA EJECUCIÓN DE LA DUE DILIGENCE

Debe destacarse, como elemento previo a la hora de hablar de cómo se debe realizar una Due Diligence, que es capital la experiencia, formación y conocimiento del equipo que la realice. También la disponibilidad de los equipos necesarios para realizar mediciones de superficie, de nivel, de temperaturas, comprobaciones electromagnéticas, de humedad, de caudal, etc.

5.1. ANÁLISIS DE LA DOCUMENTACIÓN EXISTENTE

El primer paso en una Due Diligence es recopilar y analizar la documentación existente del edificio. Entre los documentos más sustanciales se encuentran los siguientes:

- ◆ Proyecto de ejecución del inmueble. Con objeto de conocer lo proyectado, así como los cálculos y dimensionados de componentes e instalaciones.
- ◆ Documentación "as build". Permite conocer el estado definitivo, a la terminación de las obras, con las modificaciones y órdenes correspondientes de la dirección de obra.
- ◆ Histórico de intervenciones. Completa la secuencia de sucesos constructivos del inmueble, conociendo así el estado hipotético actual.
- ◆ Libro del edificio. Este documento, siempre que esté disponible y actualizado, aporta todos los documentos anteriores además del Plan de mantenimiento.
- ◆ Informes de las compañías aseguradoras. Permite conocer las reparaciones necesarias, solicitadas y evaluadas por el técnico de la compañía aseguradora correspondiente.
- ◆ Informes de Inspección Técnica de edificios. Aportan información muy concreta sobre el estado del inmueble.
- ◆ Informes de las empresas de mantenimiento de las instalaciones. Serán necesarios, al menos, los últimos dos años.
- ◆ Gastos de explotación de suministros e instalaciones. Permite evaluar alteraciones de funcionamiento de las mismas. También serán necesarios, al menos, los datos de los últimos dos años.
- ◆ Documentación urbanística. Incluye la correspondencia, la petición de licencias, la solicitud de permisos, los informes de inspecciones y requerimientos realizados por el ayuntamiento correspondiente.
- ◆ Servidumbres que sufra o disfrute el inmueble, inscritas en

el Registro de la Propiedad.

- ◆ Estado del inmueble en cuanto a disposición de la propiedad. Pueden existir limitaciones, como en el caso de que se encuentre arrendado, cedido, etc. En ese caso debe aportarse el contrato correspondiente.
- ◆ Finalmente, toda aquella que a lo largo del proceso de trabajo, pueda demostrarse como relevante.

5.2. INSPECCIÓN PREVIA DEL INMUEBLE

Por definición, la realización de estas actividades se llevará a cabo en el propio inmueble. La inspección tendrá por objeto, obtener toda la información necesaria para la definición del edificio, comprobación de la realidad edificatoria, inventario de los equipos e instalaciones existentes y contraste de la información documentalmente obtenida.

5.3. PLAN DE ACTUACIÓN

Al finalizar los trabajos de inspección previa del inmueble y toma de datos, se elaborará la información de manera que permita establecer un plan de actuación, planificando y jerarquizando el resto de los trabajos.

5.4. INFORME PREVIO

Posterior a la consecución de los pasos anteriores, se procederá a la redacción del Informe previo. Este informe se nutre de los datos obtenidos en el análisis de la documentación examinada, los datos de campo obtenidos en la visita previa y el plan de actuación definido.

Por otro lado es un hito sustancial ya que, en caso de que se haya detectado algún problema, patología o incumplimiento normativo, que pueda comprometer la operación financiera, será el momento de plantearlo y establecer las estrategias posteriores a desarrollar, incluida la de desistir de la operación. Siempre en conjunto con la propiedad y sus representantes.

En el caso deseable de que nada relevante sea detectado, este hito será el que marque, en seguimiento del plan de actuación ya definido, el calendario de actividades a desarrollar.

5.5. INSPECCIONES CONCRETAS DEL INMUEBLE

Con arreglo al plan de actuación, las inspecciones concretas del inmueble se realizarán según la siguiente metodología.

a.- Estructura:

- ◆ Dimensiones.
- ◆ Estado de los elementos.
 - ◇ Lesiones, procesos patológicos.
 - ◇ Impactos (zonas vehículos), etc.
- ◆ Nivel de mantenimiento.

- ◆ Revisión de juntas de dilatación.
- ◆ Reparaciones existentes.

b.- Fachada:

- ◆ Materiales.
- ◆ Estado de los elementos, especialmente vuelos y voladizos.
 - ◇ Lesiones, procesos patológicos.
 - ◇ Impactos (zonas de vehículos).
 - ◇ Pintadas, fijación de carteles, etc.
- ◆ Revisión de juntas.
- ◆ Revisión de escorrentías.

c.- Cubierta:

- ◆ Materiales.
- ◆ Estado de los elementos.
 - ◇ Lesiones, procesos patológicos.
 - ◇ Instalaciones soportadas y ancladas.
- ◆ Revisión de juntas.
- ◆ Revisión de escorrentías.
 - ◇ Pendientes.
 - ◇ Sumideros/canalones/gárgolas.
 - ◇ Bajantes.
 - ◇ Goterones.

d.- Particiones:

- ◆ Estado de los encuentros con elementos estructurales.
- ◆ Juntas de dilatación.
- ◆ Planeidad y desplomes.
- ◆ Intervenciones realizadas.
- ◆ Fijación de cercos de carpintería.
- ◆ Impactos sobre elementos expuestos.

e.- Pavimentos:

- ◆ Planeidad: comprobación de variaciones.
- ◆ Estado general.

f.- Alicatados, aplacados, recubrimientos y pinturas:

- ◆ Estado general, acabado, uniformidad, embolsados y aspecto.

g.- Carpinterías:

- ◆ Desplomes y deformaciones de cerco: Comprobación de variaciones.
- ◆ Fijación de cerco.
- ◆ Holgura de hojas a cerco.
- ◆ Estado de las fijaciones y herrajes.

- ◆ Estado de acabado: lacados, barnizados o pintados.
- ◆ Estado de los vidrios.

h.- Falsos techos:

- ◆ Fijaciones: Comprobación de soportes.
- ◆ Planeidad y nivelación: Comprobación variaciones.
- ◆ Planeidad: Comprobación variaciones.
- ◆ Rellenos de uniones.
- ◆ Separación planchas paramentos.
- ◆ Estado superficial.

i.- Fachadas, cerramientos y cubiertas [5]:

- ◆ Enlace de encuentros: Comprobación de enjarjes.
- ◆ Impermeabilizaciones.
- ◆ Comprobación variaciones en planeidad y desplomes.
- ◆ Estado de las juntas de dilatación.
- ◆ Comprobación de espesores y si es posible aislamiento térmico.
- ◆ Puentes térmicos.

j.- Instalación eléctrica:

- ◆ Verificación de la línea general de alimentación.
- ◆ Verificación de los cuartos de contadores.
- ◆ Verificación de protecciones, puesta a tierra y conexiones de conductores.
- ◆ Características constructivas y adecuación a Reglamento.
- ◆ Verificación de instalaciones complementarias.
- ◆ Verificación de celdas. Características, seccionados y enclavamientos.
- ◆ Para cada uno de los cuadros secundarios:
 - ◇ Ubicación y comprobación dimensional de conductores y protecciones de los circuitos, conforme a lo indicado en proyecto y en la correspondiente Normativa de aplicación.
 - ◇ Comprobación del montaje, cableado e identificación de cada uno de los circuitos.
 - ◇ Comprobación de la marca, intensidad nominal, número de polos, sensibilidad y tensión de funcionamiento de los dispositivos de protección.
- ◆ Comprobación dimensional de picas, placas y arquetas de conexión respecto a documentación de proyecto
- ◆ Tanto en alumbrado ordinario como de emergencia:
 - ◇ Montaje y disposición de equipos.
 - ◇ Verificación del grado de protección, tipo, potencia y marca de los equipos dispuestos.

k.- Instalaciones de suministro de combustible:

- ◆ Se verificarán los siguientes puntos:
 - ◇ Control dimensional de las canalizaciones.

- ◇ Calidad y estado de los materiales empleados.
- ◇ Tendido de tubería, canalizaciones, soportes, rozas, pasamuros, aislamientos, registros, etc.
- ◇ Comprobación de las características físicas y estado de las llaves, valvulería y sellado de elementos.
- ◇ Ventilaciones.
- ◇ Compartimentación.
- ◇ Señalización.

l.- Instalación de fontanería:

- ◆ Se verificarán los siguientes puntos:
 - ◇ Control dimensional de las canalizaciones.
 - ◇ Calidad y estado de los materiales empleados.
 - ◇ Tendido de tubería, canalizaciones, soportes, rozas, pasamuros, aislamientos, registros, etc.
 - ◇ Comprobación de las características físicas y estado de la grifería y aparatos sanitarios, verificando aspectos tales como llaves, valvulería y sellado de elementos.
- ◆ Grupo de presión (si procede):
 - ◇ Verificación de las características de los equipos de bombeo, depósitos de presión y de ruptura.
 - ◇ Comprobación del esquema de montaje, verificando elementos de corte y regulación.
 - ◇ Verificación de instalaciones complementarias (iluminación, desagüe, cerradura normalizada...etc.).
- ◆ Producción de agua caliente sanitaria:
 - ◇ Comprobación de potencia y características técnicas de la caldera instalada.
 - ◇ Comprobación del montaje de la caldera verificando aspectos tales como soportes, conexiones con tuberías y valvulería.
 - ◇ Control dimensional de las canalizaciones y trazado.
 - ◇ Calidad y estado de los materiales empleados.
 - ◇ Tendido de tubería, canalizaciones, soportes, rozas, pasamuros, aislamientos, registros etc.

m.- Instalación de saneamiento:

- ◆ Saneamiento enterrado:
 - ◇ Si se considera necesario se realizará una comprobación de la instalación mediante robot telecomandado.
 - ◇ Control de las canalizaciones y trazado.
 - ◇ Calidad y estado de los materiales empleados.
 - Estado de arquetas, separador de grasas y pozos.
- ◆ Saneamiento colgado:
 - ◇ Control de las canalizaciones y trazado.
 - ◇ Calidad y estado de los materiales empleados.

- ◆ Estado de limpieza y mantenimiento de calderetas y sumideros.

n.- Instalaciones de ventilación y climatización:

- ◆ Canalizaciones:
 - ◇ Control dimensional de las canalizaciones y trazado.
 - ◇ Calidad y estado de los materiales empleados.
 - ◇ Tendido de tuberías y conductos, canalizaciones, soportes, rozas, pasamuros, aislamientos, registros etc.
- ◆ Unidad de producción de calor (si procede):
 - ◇ Comprobación de potencia y características técnicas.
 - ◇ Comprobación del montaje de la unidad, verificando aspectos tales como soportes, conexiones con tuberías, valvulería y conexiones de salida.
 - ◇ Verificación de quemadores, tipo de combustible, rendimiento, tensión de alimentación y elementos de seguridad incorporados al equipo.
- ◆ Emisores: Comprobación del montaje verificando aspectos tales como anclaje, conexiones con tuberías y valvulería.
- ◆ Unidad de tratamiento de aire (si procede):
 - ◇ Comprobación de potencia y características técnicas de la maquinaria instalada.
 - ◇ Comprobación del montaje del equipo verificando aspectos tales como soportes, conexiones con tuberías, valvulería y distancias de seguridad.
 - ◇ Comprobación del montaje de los equipos, verificando aspectos tales como baterías, ventiladores, filtros, compresores, humidificadores y sistemas de control.
 - ◇ Verificación de la alimentación eléctrica, conductores, aislamiento, mecanismos de mando y conexionado a redes de distribución.

o.- Instalación de protección contra incendios:

- ◆ Canalizaciones:
 - ◇ Se verificarán para cada una de las instalaciones de extinción hidráulica (red de Bies, hidrantes, rociadores, columna seca... etc.), los siguientes puntos:
 - ◇ Control dimensional de las canalizaciones y trazado.
 - ◇ Calidad y estado de los materiales empleados.
 - ◇ Tendido de tubería, canalizaciones, soportes, protección, pasamuros, etc.
- ◆ Grupo de presión (si procede):
 - ◇ Características constructivas del local de ubicación.
 - ◇ Verificación de las características de los equipos de bombeo, depósitos de presión, aljibe, bomba jockey, by-pass de prueba...etc.
 - ◇ Comprobación del esquema de montaje, verifican-

do elementos de corte y regulación, manómetros, caudalímetros...etc.

- ◇ Verificación de instalaciones complementarias (iluminación, desagüe, cerradura normalizada...etc.).
 - ◇ Central de alarmas:
 - ◇ Comprobación de las características técnicas del equipo instalado.
 - ◇ Verificación de la alimentación de red y de batería.
 - ◇ Zonificación y conexionado realizado.
- ◆ Elementos y equipos:
 - ◇ Comprobación de las características técnicas de los detectores y pulsadores de alarma.
 - ◇ Igualmente se verificarán las características técnicas de los extintores, equipos de extinción automática, armarios de Bies y rociadores, conforme a lo indicado en proyecto.

p.- Instalación de control de accesos:

- ◆ Control dimensional de las canalizaciones y trazado.
- ◆ Calidad y estado de los materiales empleados.

q.- Instalaciones de datos y telefonía:

- ◆ Control dimensional de las canalizaciones y trazado.
- ◆ Calidad y estado de los materiales empleados.

r.- Ascensores:

- ◆ Cabina. Interior y puertas, existencia de aristas o puntos con riesgo de atrapamiento. Bisagras y cerraduras. Ventilación.
- ◆ Foso. Humedades y espacio de maniobra.
- ◆ Hueco, espacio físico e instalaciones interiores. Posible existencia de instalaciones ajenas.
- ◆ Sistema de socorro. Dispositivos de emergencia, alarma, sistemas de comunicación.
- ◆ Cuarto de máquinas. Interior y accesos. Ventilación y humedades. Almacenamiento de materiales ajenos. Estado de los cables de suspensión. Fugas de fluidos.
- ◆ Canalizaciones hidráulicas y eléctricas hasta el cuarto de máquinas. Protección.
- ◆ Rotulación.

s.- Procesos patológicos:

La evaluación de procesos patológicos existentes las clasifica en:

- ◆ Débiles: Consistentes en ligeros deterioros circunstanciales, no progresivos, que se deben corregir por estética.
- ◆ Menos graves: Que no amenazan ruina inminente, pero son progresivos y se deben corregir por seguridad y economía.
- ◆ Graves: Afectan a elementos estructurales, son progresivos

y provocan la ruina inminente.

El protocolo a seguir se basa en los siguientes pasos:

- ◆ La detección de síntomas, que es transversal, estando presente en la filosofía de comprobación de los puntos anteriores. No obstante se pondrá especial cuidado en la detección de:
 - ◇ Presencia de humedades.
 - ◇ Grietas y fisuraciones.
 - ◇ Deformaciones.
- ◆ Determinación de las causas de los síntomas.
- ◆ Diagnóstico.
- ◆ Propuesta de actuación.
- ◆ Valoración de las actuaciones propuestas.

5.6. EVALUACIÓN DE CUMPLIMIENTO DE NORMATIVA URBANÍSTICA

Comprobación de la adecuación del inmueble y de su uso, a la normativa urbanística vigente, en cuanto a ordenanzas y evacuación. Es relevante efectuar una clara definición de los usos posibles en el edificio bajo estudio. Asimismo, es sustancial la comprobación de posibles protecciones, con carácter patrimonial, de parte o de todo, de algún elemento o del conjunto del inmueble [6].

Posibles efectos futuros de normativa urbanística en fase de implantación.

Existencia de posibles expedientes de expropiación.

Un aspecto secundario pero sumamente interesante de esta fase es la posibilidad de que la edificación del inmueble no se encuentre agotada, que en ese caso habrá de definirse.

5.7. PRESUPUESTO DE LAS INTERVENCIONES NECESARIAS

Efectuadas las inspecciones concretas del edificio y la evaluación del cumplimiento de los condicionantes de la disciplina urbanística, es posible que sea necesario proponer la realización de intervenciones de corrección, restauración o reparación e incluso ampliación.

Con el objeto de que la propiedad pueda conocer el importe de las citadas intervenciones, se adjuntará al informe final una valoración de las mismas.

5.8. INFORME FINAL

Posteriormente a la consecución de los pasos anteriores, se procederá a la redacción del Informe Final. Este informe contendrá toda aquella documentación que se considere necesaria para la completa justificación de los contenidos.

Se estructurará con arreglo a los siguientes puntos principales:

- ◆ Memoria descriptiva: Estado general del inmueble según los datos e imágenes obtenidos en las diferentes inspecciones y la documentación dispuesta.
- ◆ Boceto histórico del edificio: Estableciendo los hitos más relevantes de la vida del inmueble, así como las intervenciones y modificaciones realizadas en cada momento.
- ◆ Evaluación del estado del edificio: Se basará en los dos aspectos

definidos independientemente:

- ◇ Aspectos técnicos constructivos del inmueble.
- ◇ Aspectos de cumplimiento de disciplina urbanística.
- ◆ Planificación orientativa de las intervenciones propuestas.
- ◆ Presupuesto de las intervenciones propuestas.
- ◆ Conclusiones finales.

Este informe debe ser una herramienta que permita decidir al cliente si le conviene o no adquirir el inmueble o el derecho que se encuentre en decisión. Para ello debe tener perfectamente claros los importes en juego y los tiempos de liquidación de los mismos, de cara a un estudio financiero.

6. DISCUSIÓN

Se considera que una discusión ordenada de aspectos como la relación coste-beneficio en función del contenido y calidad de los datos de los informes realizados y la importancia relativa de cada uno de sus apartados, o la cuantificación de la influencia de los distintos apartados incluidos en ellas, es sustancial e implica el aporte e intercambio de los avances realizados por diversos equipos profesionales implicados en esta actividad, en la búsqueda de la mejora progresiva de la fiabilidad.

7. CONCLUSIONES

Establecer un protocolo compartido de ejecución de la Due Diligence, es un esfuerzo que mejoraría su eficacia para la toma de decisiones, ofreciendo un guión de las actividades y pruebas a desarrollar, un índice de calidad e incluso, un soporte a la valoración de sus costes.

Permite fraccionar su redacción con la participación ordenada, bajo la supervisión del redactor del documento, de diversos profesionales expertos en cada una de las áreas concurrentes.

Ofrece un soporte a la información que recoge, pudiéndose establecer un indicador de su calidad y la rentabilidad de los costes derivados de su utilización.

Dotar de un protocolo compartido permite la comparación entre las estimaciones procedentes de distintas fuentes y generar información comparada entre ellas que mejora la toma de decisiones basadas en este informe.

NOTAS.

(1) Cabe destacar que en España la obligatoriedad de aislar los inmuebles térmicamente se establece con la NBE-CT-78 y la de aislar acústicamente con la NBE-CA-81.

8. CONCLUSIONES

[1] Martínez, J.L. (2017, marzo). El papel del mercado. Cinco días, blogs. <http://blogs.cincodias.com/vision-mercados/2017/03/el-papel-del-mercado.html>

[2] Hutchings, D. (2017, enero). ¿What next for european property investment? Cushman & Wakefield <http://www.cushmanwakefield.es/es/research-and-insight/2017/capital-views-what-next-for-european-property-investment/>

[3] Mateu, J.L. (2017). Fondo de inversión inmobiliaria. Expansión. <http://www.expansion.com/diccionario-economico/fondo-de-inversion-inmobiliaria.html>

[4] Conde, J. (2011, mayo). Sale ⇌ lease back: Vender para permanecer. Expansión. <http://www.expansion.com/2011/05/23/juridico/opinion/1306179293.html>

[5] Alonso, C. (2015). Rehabilitación energética de fachadas: Propuesta metodológica

ca para la evaluación de soluciones innovadoras, basándose en el diagnóstico de viviendas sociales construidas entre 1940 y 1980. Tesis doctoral.

[6] AENOR. UNE-EN-16096:2016 Conservación del patrimonio cultural. Inspección del estado e informe del patrimonio cultural construido.

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.



Use of filters and special materials in classrooms, based on the assessment of the presence of CO₂ as an indicator of Covid reduction and control in closed spaces

Uso de filtros y materiales especiales en aulas, basado en la evaluación de presencia de CO₂ como indicador de reducción y control de Covid en espacios cerrados

MARÍA CATALINA BOHORQUEZArchitect. Universidad Politécnica de Madrid, Spain.
catalina.bohorquez@alumnos.upm.es**JOSE LUIS CHAPA**Architect. Universidad Politécnica de Madrid, Spain.
joseluis.chapa@alumnos.upm.es**DARÍO LÓPEZ**Architect. Universidad Politécnica de Madrid, Spain.
dario.lopez@alumnos.upm.es**MARÍA ALEJANDRA MANRIQUE**Architect. Universidad Politécnica de Madrid, Spain.
ma.manrique@alumnos.upm.es**CRISTIAN MIRANDA**Architect. Universidad Politécnica de Madrid, Spain.
cristian.miranda@alumnos.upm.es**RICARDO TENDERO CABALLERO**E.T.S. Edificación. Universidad Politécnica de Madrid.
ricardo.tendero@upm.es

The research aims to analyze how the monitoring of CO₂ levels can be used as an environmental pollution control strategy and mitigate the spread of diseases such as COVID-19 in closed spaces. In this article, a classroom located in the School of Building of the Polytechnic University of Madrid will be taken as the object of the analysis to collect data on the fluctuations of CO₂ levels in different ventilation scenarios where the occupation of the classroom, speed of air entering through windows or doors, and type of activity being carried out. According to the results obtained, different mitigation alternatives are proposed to maintain CO₂ in the ranges recommended by recognized institutions and consequently improve air quality, such as the incorporation of nanotechnology materials and HEPA filters in the ventilation of rooms.

Monitoring of CO₂, COVID-19, ventilation, air quality, nanotechnology, HEPA filters

La investigación tiene como objetivo analizar cómo la monitorización de los niveles de CO₂ puede utilizarse como una estrategia de control de contaminación ambiental y atenuar la propagación de enfermedades tales como el COVID-19 en espacios cerrados. En el presente artículo se tomará, como objeto del análisis, un aula ubicada en la Escuela de Edificación de la Universidad Politécnica de Madrid para tomar datos de las fluctuaciones de los niveles de CO₂ en diferentes escenarios de ventilación donde se tomará en cuenta la ocupación del aula, velocidad del aire que ingresa por las ventanas o puertas y tipo de actividad que se está realizando. De acuerdo a los resultados obtenidos, se plantean diferentes alternativas de mitigación para mantener el CO₂ en los rangos recomendados por instituciones reconocidas y por consecuencia mejorar la calidad del aire, tales como la incorporación de materiales de nanotecnología y filtros HEPA en la ventilación de ambientes.

Monitorización de CO₂, COVID-19, ventilación, calidad de aire, nanotecnología, filtros HEPA.

1. INTRODUCCIÓN

Al revisar la bibliografía referente a la temática principal, se ha podido encontrar información sobre diferentes factores climáticos

que demuestran la necesidad de una correcta ventilación en los ambientes de uso público y privado. Entre ellos es importante resaltar condicionantes como la humedad ambiental, los niveles de CO₂ y otros factores contaminantes que afectan la calidad del aire en espacios cerrados [01].

1.1. HUMEDAD AMBIENTAL

La humedad ambiental es uno de los parámetros menos considerados como determinantes en el confort térmico, en comparación con la temperatura.

Las condiciones interiores de diseño establecidas por el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios – RITE mantienen que los valores ideales en los meses de verano deben estar entre los 23 hasta los 25 grados centígrados de temperatura y entre un 45% y 60% de humedad relativa. En los meses de invierno se considera que deben estar entre los 21 hasta los 23 grados centígrados de temperatura y entre 40% y 50% de humedad relativa.

En el libro *Bioaerosols handbook* [04] se afirma que, en ambientes interiores, el factor más influyente en los resultados de estudios aerobiológicos es la humedad relativa. La multiplicación o replicación de microbios está relacionada a condiciones acuosas y cuando ciertos microorganismos se depositan en una superficie húmeda, comienzan a crecer y a alimentarse de la superficie a la cual están adheridas. Por el contrario, mientras más baja está la humedad, los microorganismos pierden células de agua de manera más rápida y se deterioran. De acuerdo con el documento *Fungal fragments as indoor air biocontaminants* [18], los factores responsables del deterioro biológico de los microorganismos en estado aerosol son la deshidratación, rehidratación, radiación, ventilación, concentración de oxígeno y temperatura.

Se conoce que la humedad relativa bajo el 50% es usualmente letal para la mayoría de bacterias vegetativas.

1.2. FACTORES CONTAMINANTES

Los elementos imprescindibles dentro de los aspectos salubres de los habitantes en un entorno interior son los siguientes [01]:

Contaminantes biológicos: Virus, bacterias (presentes en aerosoles), polen, hongos, esporas de hongos, moho, escamas de piel, partes de insectos y excrementos de animales [04].

Contaminantes químicos: Benceno, dióxido de carbono, polvo, fibras minerales, gases, vapores y compuestos orgánicos volátiles (COV)

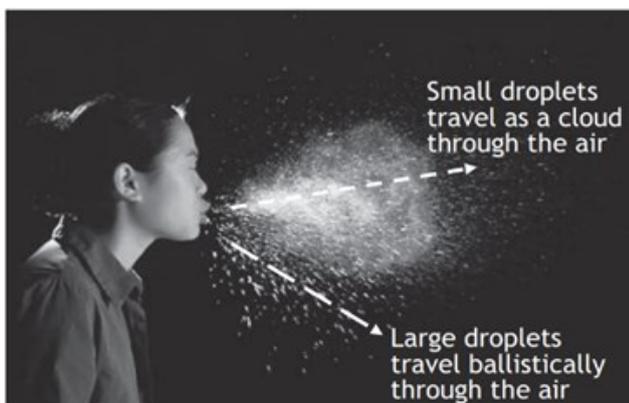


Fig. 1. Aerosoles presentes en el aire tras estornudo.

1.3. MONITORIZACIÓN DEL CO₂ COMO ESTRATEGIA PARA REDUCIR LA PROPAGACIÓN DEL CORONAVIRUS

Existe evidencia que los elevados niveles de CO₂ en edificaciones están relacionados directamente con la propagación de infecciones. Cada persona dentro de una edificación exhala aproximadamente 8 litros de aire por minuto, aire que ha estado en contacto directo con tejido de los pulmones. Junto con el CO₂, la exhalación contiene aerosoles que debido a su tamaño pueden flotar en el aire por un período largo de tiempo. [15] Estas gotículas pueden contener también cualquier tipo de virus presente en los pulmones. [17]

La velocidad en que los aerosoles bajan del aire es de aproximadamente un metro por hora y la actividad infecciosa por virus biológicos tienen una vida media de 3 horas en condiciones de laboratorio. Si una persona sana inhala estas gotículas contaminadas y el número de partículas del virus que contienen excede el mínimo de dosis infecciosa es muy fácil que se transmita una enfermedad. A pesar de ser difícil medir la carga viral directamente, los sensores son la forma ideal de controlar los niveles de CO₂ y, por lo tanto, evitar la acumulación de aire reutilizado en los espacios.

Con evidencia apuntando a que la transmisión por vía aérea es el factor principal de la propagación de los virus, la inferencia es que los niveles de CO₂ en las habitaciones y otros espacios cerrados pueden usarse como un indicador del riesgo de transmisión de COVID-19.

Un estudio de 2019 sobre un brote de tuberculosis en la Universidad de Taipei, Taiwán, proporciona evidencia detallada. Muchas de las habitaciones estaban mal ventiladas y alcanzaron niveles de CO₂ superiores a 3000 ppm y cuando los ingenieros bajaron los niveles a menos de 600 ppm, el brote se detuvo.

Traer este aire fresco del exterior diluye cualquier contaminante en un edificio, ya sea un virus o algo más, y reduce la exposición de cualquiera que esté adentro.

1.4. RANGOS RECOMENDADOS DE CO₂

El profesor John Wenger, director del Centro de Investigación de Química Atmosférica de la UCC, sugiere un objetivo de 1000 ppm si se utiliza el CO₂ como indicador de COVID-19 en las aulas. Cuando se supera este rango la cantidad de virus en el aire se acumula y tenemos mayor exposición al riesgo de una infección. Si una persona está en el interior de una habitación mal ventilada, corre un riesgo bastante alto, incluso si está alejado de las demás personas, por el movimiento propio del aire.

Los indicadores de concentración de CO₂ recomendados por cada país y cada institución educativa pueden ser relativamente subjetivos, sin embargo existen asociaciones que establecen ciertas pautas para los protocolos de ventilación. La norma ASHRAE 62-2001 "Proporciona pautas de calidad de aire que será aceptable para los ocupantes humanos, destinada a minimizar el potencial efecto adverso para la salud", recomendando niveles de CO₂ no mayores a 1100 ppm en espacios cerrados, comparado con el aire exterior aproximado de 400 ppm. Las recomendaciones pretenden indicar niveles adecuados de aire limpio de 15 A 20 CFM, por persona dentro de un aula. Por su parte, la REHVA, aconseja mantener un rango entre 800 ppm a 1000 ppm, como límite máximo admisible.

En consecuencia, una concentración menor a 1000 ppm es higiénica-

mente inofensiva. Una concentración entre 1000 y 2000 ppm es peligrosa y cualquier cosa por encima de ella es inaceptable. [15]

Si estamos en una habitación con varias personas, la medición de la concentración de CO₂ proporciona una medida referencial del porcentaje del aire que inhalamos ya ha sido exhalado por otras personas. El balance de masa muestra que una concentración de CO₂ de 1200 ppm significa que casi el 2% del aire de la habitación ya ha tenido contacto con los pulmones de otras personas al menos una vez. En este nivel, cada 50 respiraciones que una persona inhala contiene aire que ya ha sido exhalado. El riesgo de infección de coronavirus específico resultante es más complejo de cuantificar, ya que depende de varios factores que aún se están investigando intensamente en la actualidad, como por ejemplo, el tipo de actividad que se realiza dentro de cada ambiente.

A pesar de estas advertencias, está claro que la medición de CO₂ ofrece una solución rentable para clasificar el riesgo actual de aerosoles potencialmente infecciosos.

1.5. ESTRATEGIAS PARA REDUCIR EL RIESGO DE INFECCIÓN

Los espacios cerrados requieren unas consideraciones especiales para la mitigación de transmisión de virus e infecciones de tipo aerotransportado, entre las cuales se encuentra la evaluación de concentración de CO₂ para determinar la tasa de ventilación, ajustes en los sistemas de recirculación de aire [17] y el uso de materiales alternos que permitan mitigar riesgos para los ocupantes de los espacios [16].

En el caso específico del coronavirus, se han realizado diferentes estudios para la revisión de estrategias de ventilación e intercambio de aire, restricciones en ocupación y uso de sensores para monitorizar los índices de concentración de partículas en el ambiente. La REHVA, ha pedido la instalación en las escuelas de monitores de CO₂ con indicadores de semáforo por lo menos en las aulas donde la ventilación depende de la apertura de ventanas.[17]

Como medida preliminar en espacios donde no exista ventilación mecánica, se recomienda adaptar ventanas abatibles o corredizas con el fin de implementar protocolos de apertura en intervalos de 15 a 20 minutos por un periodo de 3 a 5 minutos para garantizar la ventilación de las aulas durante las clases y de forma permanente durante los descansos. En los casos donde exista ventilación mecánica, es recomendable implementar de igual forma estas prácticas.

1.6. IMPLEMENTACIÓN DEL SENSOR DE CO₂

Para seguir estas estrategias, los dispositivos de monitoreo de CO₂ deben estar conectados, por ejemplo, para activar alarmas cuando la concentración de CO₂ supera los umbrales del semáforo [16], incluso para enviar alarmas a las redes de gestión de edificios o teléfonos inteligentes a través de redes inalámbricas. Al enviar los valores medidos a un receptor o puerta de enlace para su posterior procesamiento, se pueden activar alarmas e iniciar la acción apropiada. Por ejemplo, es posible poner en marcha un sistema de ventilación de la habitación para reducir la concentración de CO₂.

Además, pueden combinarse fácilmente con otros dispositivos, como sensores de ocupación de habitaciones [17] y control de acceso, que son parte integral de las medidas contra la COVID-19.

2. METODOLOGÍA

Existen riesgos de contraer virus cuando los espacios no tienen la ventilación adecuada, por lo tanto es recomendable instalar sensores de CO₂ en las zonas donde se tenga ocupación temporal por más de una hora como lo son las aulas de clase.

Estos sensores cuentan con semáforos que indican los niveles de riesgo de acuerdo a la concentración en contextos normales, sin embargo, teniendo en cuenta las condiciones actuales, estos rangos se deben ajustar a 800 ppm como nivel alerta (naranja) y 1000 ppm como nivel máximo permitido (rojo).

Como caso de estudio, se realizaron experimentos teniendo en cuenta mediciones ambientales de humedad relativa, temperatura del aire y niveles de concentración de CO₂, mediante el uso de los siguientes equipos:

El Wöhler CDL 210 Logger se configuró para medidas en intervalos cada XX minutos. Los equipos se ubicaron a una altura aproximada de XX, perimetralmente cada XX como muestra el esquema.

2.1. CONDICIONES DEL ESPACIO A EVALUAR

El espacio a evaluar trata del aula Gráfica -"P1-G1" ubicada en la PLANTA 1. Debido a la cantidad de alumnos que demandan las asignaturas que se imparten en dicha aula (Alrededor de 55 alumnos), dispone de unas dimensiones bastante generosas (265 m²).

Esta aula cuenta con 10 ventanas abatibles, con dimensiones de hueco de 1,30 m. x 0,70 m. con dirección al **norte**.



Fig. 2. Área de estudio: Aula P1-G1 ETSEM UPM. Ubicación de sensores.

2.2. VELOCIDAD DEL VIENTO

Según las fuentes consultadas podemos apreciar que los vientos dominantes provienen de la dirección **Oeste Sur Oeste** durante la gran mayoría del año, debido a esto el aula a analizar no cuenta con la mejor disposición para el aprovechamiento de estos vientos.

2.3. PROTOCOLO DE MEDICIÓN

Condiciones del espacio a evaluar:

Área	265m ²
% Vanos en la envolvente	3,50%
Características de los vanos de la envolvente	18-25 años
Radio de ocupación	5.3 m ² /persona

Tabla 1. Condiciones del espacio estudiado

2.4. METODOLOGÍA DEL PROTOCOLO DE MEDICIÓN APLICADO

El espacio a evaluar trata de un espacio educativo localizado en la Escuela Técnica Superior de Edificación de la Universidad Politécnica de Madrid denominado aula **Gráfica P1-G1** ubicada en la Planta 1.

Las dimensiones de esta área son de 265 m², cuenta con 10 ventanas hacia el exterior, tipología abatibles, orientadas hacia el norte; cuyas dimensiones se detallan en la tabla **Tabla 2**.

Nombre de abertura y dimensión	Áreas individuales (m ²)	Número de unidades	Sumatoria e unidades en m ²	Sumatoria de unidades (puerta + única ventana en m ²)
Puerta (P) (1x2.10)	2.1	1	2.1	-
Ventana A (0.73x1.30)	0.94	1	0.94	3.04
Ventana B (0.73x1.30)	0.94	2	1.89	3.99
Ventana C (0.73x1.30)	0.94	3	2.84	4.94
Ventana D (0.73x1.30)	0.94	4	3.79	5.89
Ventana E (0.73x1.30)	0.94	5	4.74	6.84

Tabla 2. Dimensiones y áreas de aberturas individuales y en sumatoria

Se elige como escenario de medición una mañana de clases (08:30-12:30 hrs), de modo que la ocupación de la sala (alrededor de 55 personas) y el tiempo que permanecen al interior sean representativos para el efecto de esta toma de datos.

La medición realizada con cuatro sensores Wöhler CDL 210 Logger (A, B, C, D), los cuales se programaron para registrar datos cada 7 segundos, distribuidos en 4 sitios del salón de

clases donde se ha considerado el número de personas en determinado punto y cercanía a las aberturas de ventilación. Así también, se tiene presente en este protocolo, los elementos tanto variables como constantes en el proceso. Las constantes serán las condiciones del espacio como volumen y número de personas dentro del mismo, un promedio de 54; de otra mano, las variables están liderados principalmente por las fluctuaciones en la concentración de CO₂ ambiental, datos regentes para el incremento paulatino u obstrucción abrupta de las áreas de ventilación, sumatoria entre puerta única (P) y ventanas (A, B, C, D, E).

Con ello, los sensores marcan la cuantía de CO₂ junto a las horas y el tiempo donde la zona ha superado las 1000 ppm de gas, como el declive de dicha cuantía conforme las superficies de aireación se incrementan a lo largo del ensayo.

Para las aberturas de ventilación (puertas y ventanas) se han transformado sus dimensiones lineales a metros cuadrados, con finalidad de traducir en datos numéricos las áreas que no solo sirven para interpretarlas en el presente trabajo, sino también como números referente para investigaciones futuras. Ver **Tabla 2**.

En la **gráfica 1**, se visualiza el esquema básico del protocolo para la medición junto a los elementos a considerar. Desde arriba hasta abajo, están las variantes principales desde el nombre de la abertura, los metros cuadrados que posee, tanto el elemento individual o sumatoria del conjunto; datos establecidos por el grupo investigativo, luego se encuentra el nivel de CO₂ inicial más bajo, el cual varía entre picos y valles conforme se abren o cierran ventanas, y finalmente el tiempo en horas, el cual marca cronológicamente las concentraciones del dióxido de carbono.

Es importante remarcar que estos dos últimos factores (concentración de Co₂ y tiempo) son registrados por los sensores en los cuatro puntos del salón, para los cuales no existe riesgo de alteraciones por manipulación alguna.

Mientras en la línea horizontal superior se halla cada abertura mural por su nombre asignado, puerta (P) y ventanas (A, B, C, D y E), acompañadas por el número en metros cuadrados que representa su área individual, la puerta como caso único, y los grupos de sumatoria del área de puerta más una, tres o cinco ventanas que se abren tras alcanzar el máximo de concentración de CO₂ ambiental (1000 ppm aproximadamente) tras el punto de cierre total de aberturas marcado con X1, X2 y X3.

En este ejercicio desde el inicio se ha mantenido únicamente la puerta abierta (2.10 m²), pues al ser la única entrada al salón y evitar variaciones derivadas del ingreso o salida infrecuente de estudiantes durante la práctica.

Tras esta aclaración se manifiesta a breves rasgos como el protocolo establecido permite aumentar la superficie de ventilación periódicamente tras cada punto de cierre y alcance máximo de concentración de dióxido de carbono en el aula.

En este ejercicio, se han contabilizado diez ventanas batientes, no obstante, solo se han abierto cinco a lo largo de la medición ubicadas principalmente después del área donde los estudiantes usualmente ocupan como se muestra en la gráfica 1, pues se evidencia las molestias que los vientos y las temperaturas menos favorables durante el año ocasionan a quienes ocupan estos puestos al borde del salón.

La ruta de medidas empieza con un área de ventilación de (P) 2.10 m², y las cinco ventanas completamente cerradas en el punto X1, se llega aproximadamente a las 1000 ppm, número indicador para abrir junto a la puerta la ventana A (P+A) cuyas áreas suman 3.04 m².

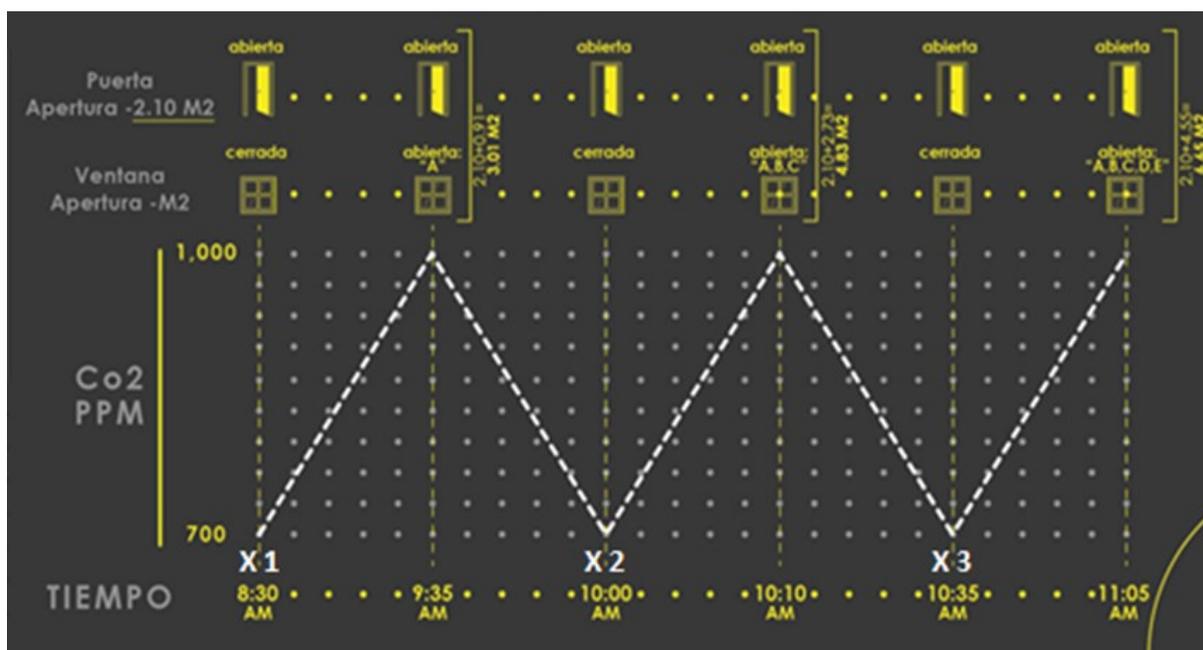
Tomando en cuenta otro punto de cierre total de ventanas para saturar el CO₂ interior hasta llegar nuevamente al máximo establecido, se añade al área de la puerta abierta un grupo de tres ventanas (P+A+B+C).

Finalmente se cierra todas las ventanas, se visualiza la concentración hasta 1000 ppm de dióxido de carbono en al menos tres sensores en la zona y se suma a la superficie de la puerta abierta permanentemente las cinco ventanas (P+A+B+C+D+E); con este procedimiento el cual toma 4

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tomando en cuenta las circunstancias espaciales, protocolo empleado y técnicas de medición, a través de los sensores principalmente, se han obtenido gráficas cuyos valores registrados se han clasificado dependiendo de las condiciones de la ubicación, tales como factibilidad de ventilación (mayor o menor) y concentración de usuarios conforme se evidencia en las gráficas.

Por medio de una tabla se realiza la síntesis de lo expuesto en las gráficas para cada sensor. La primera columna posee el nombre del conjunto de vanos abiertos para la ventilación, la segunda el porcentaje que estos representan, 100% en relación a las 10 ventanas y una puerta totales del espacio que en área son 11.5 metros cuadrados de los cuales se abren durante el ensayo hasta el 59.13% (6.8%), cantidad que representa a 5 ventanas y la puerta; finalmente la última columna muestra el tiempo en minutos que el CO₂ tarda en descender de valores entre 1000 y 1300 ppm a la más baja registrada en cada caso dependiendo de su ubicación en el aula. Tras el sondeo realizado, se ha podido identificar las variantes entre los tiempos de descenso por minuto de las par-

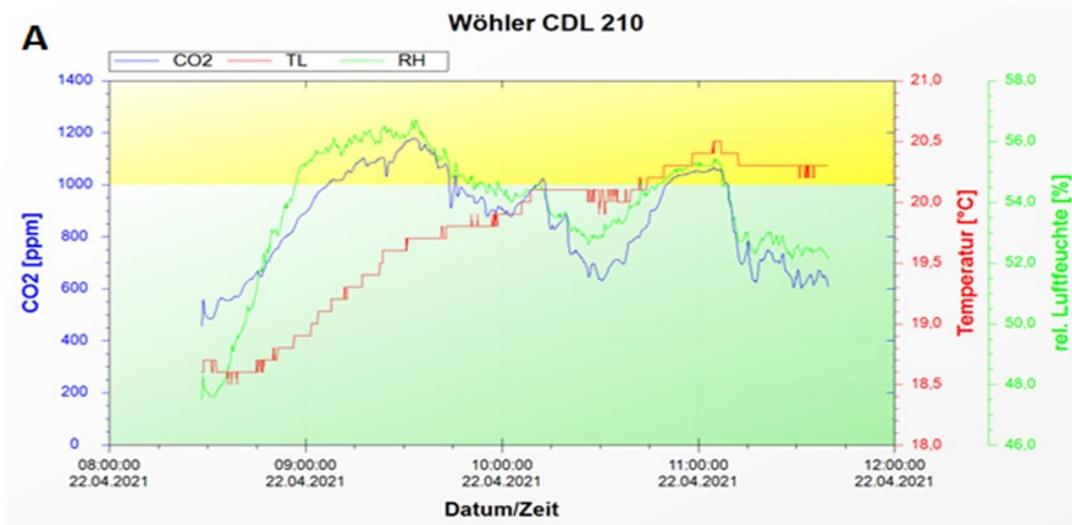


Gráfica 1. Protocolo de medición

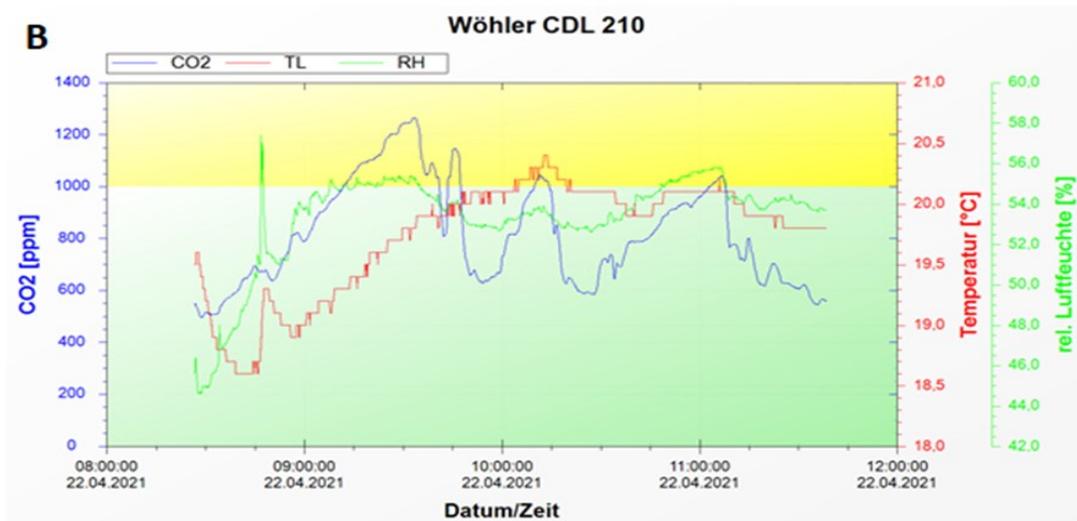
áreas de crecimiento intermitente es factible conocer el tiempo que tarda en renovarse el aire interior con diferentes metros cuadrados de superficies para aireación. Ver **gráfica 1**. Se menciona que las valoraciones de los factores adjuntos tanto como concentración de CO₂ en el ambiente exterior de 413 ppm y las condiciones de temperatura y humedad interior son variantes que no destacan en la práctica, aunque son mencionadas como variables secundarias vinculadas indirectamente con los valores de CO₂ registrados en los sensores.

tículas por millón identificadas en los cuatro sensores, los cuales se ubicaron en diferentes lugares, razón por la cual los promedios establecidos muestran fluctuaciones correspondientes a la factibilidad de ventilación dependiente estrictamente de los metros cuadrados que existan para airear un espacio con un margen de 750 m³.

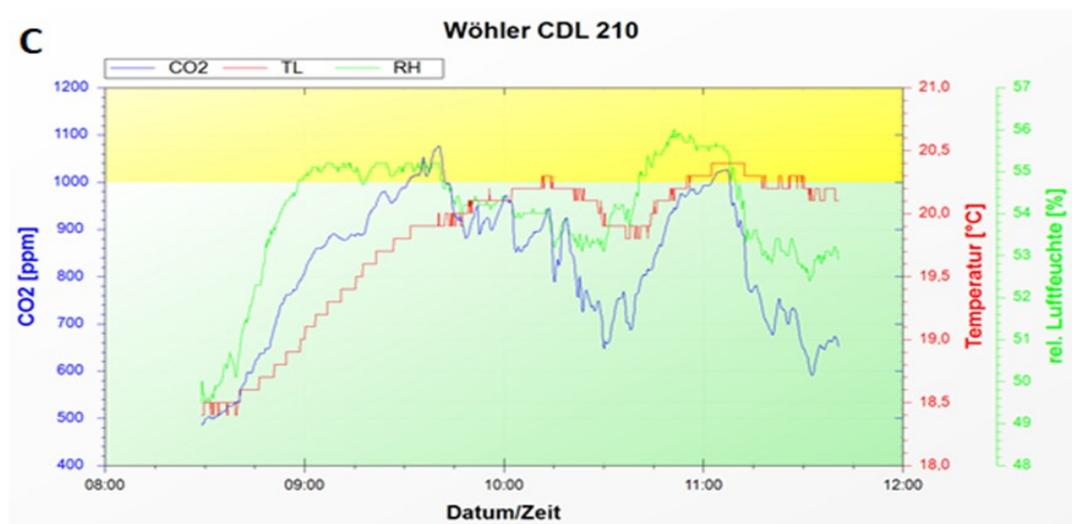
Los niveles de temperatura no varían más de 3 °C promedio en los 4 sensores desde la primera hasta la última apertura del grupo de ventanas, del mismo modo, la humedad ambiental cuyas fluctuaciones no sobrepasan los 3 puntos, por lo tanto son datos desestimados durante el ejercicio.



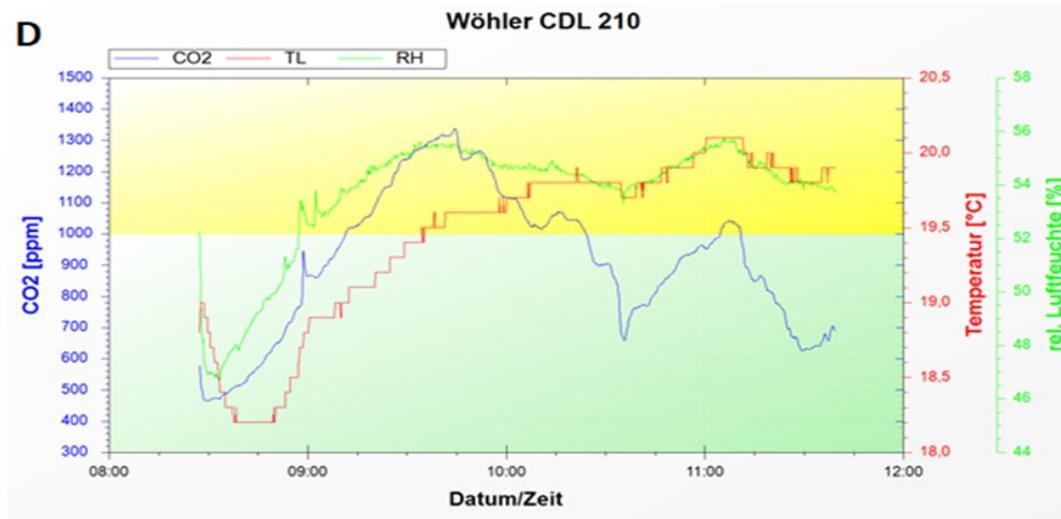
Gráfica 2. Gráfica datos tomados con sensor “A”



Gráfica 3. Gráfica datos tomados con sensor “B”



Gráfica 4. Gráfica datos tomados con sensor “C”



Gráfica 5. Gráfica datos tomados con sensor "D"

Mesa profesor						
	Conjunto de aberturas	Porcentaje equivalente	Área de ventilación	Descenso de CO ₂ (min)	Máximo inicial	Mínimo final
Sensor A	P	18.26	2.1	-	-	456
	P + A	26.43	3.04	21	1177	877
	P + A + B + C	42.78	4.92	14	1020	650
	P + A + B + C + D + E	59.13	6.8	8	1058	608
Mesa profesor						
	Conjunto de aberturas	Porcentaje equivalente	Área de ventilación	Descenso de CO ₂ (min)	Máximo inicial	Mínimo final
Sensor B	P	18.26	2.1	-	-	495
	P + A	26.43	3.04	21	1264	626
	P + A + B + C	42.78	4.92	16	1042	585
	P + A + B + C + D + E	59.13	6.8	7	1040	713
Mesa profesor						
	Conjunto de aberturas	Porcentaje equivalente	Área de ventilación	Descenso de CO ₂ (min)	Máximo inicial	Mínimo final
Sensor C	P	18.26	2.1	-	-	484
	P + A	26.43	3.04	8	1076	882
	P + A + B + C	42.78	4.92	38	951	647
	P + A + B + C + D + E	59.13	6.8	13	1026	676
Mesa profesor						
	Conjunto de aberturas	Porcentaje equivalente	Área de ventilación	Descenso de CO ₂ (min)	Máximo inicial	Mínimo final
Sensor D	P	18.26	2.1	-	-	465
	P + A	26.43	3.04	26	1337	1015
	P + A + B + C	42.78	4.92	20	1070	658
	P + A + B + C + D + E	59.13	6.8	22	1042	625

Tabla 3. Variables medidas por cada uno de los sensores

	Descenso de ppm/minuto		
	P+A	P+A+B+C	P+B+C+D +E
Sensor A	41.3	26.4	56.3
Sensor B	30.4	28.6	46.7
Sensor C	24.3	8	26.9
Sensor D	12.4	20.6	19
Promedio	20.3	20.9	37.2

Tabla 4. Descenso partículas por minuto

De los resultados tabulados anteriormente, a excepción la medición en el sensor C, se puede verificar que para lograr un descenso de niveles de CO₂ sobrepasado las 1000 ppm hasta un nivel inferior de 700 ppm, se requieren no más de 26 minutos, incluso con área mínima de ventilación natural que posee el espacio una ventana y una puerta (3.04 m²).

En los sensores donde la ventilación es más favorable (ubicación de los aparatos A y B) la disminución de CO₂ ambiental es proporcional al aumento de metros cuadrados de aireación, en otros términos, a más mayor aperturas, mayor velocidad de disminución; mientras tanto en los sitios menos ventilados (ubicación de sensores C y D, el declive de dióxido carbónico no presenta la misma velocidad con las mismas condiciones de ventilación antes descritas.

3.1. ESTRATEGIAS PROPUESTAS

Los espacios cerrados requieren consideraciones especiales para mitigar la transmisión de virus e infecciones de tipo aerotransportado. La evaluación de concentración de CO₂ sirve para determinar la tasa de ventilación y determinar ajustes en los sistemas de recirculación de aire y el uso de materiales alternos que permitan mitigar riesgos para los ocupantes de los espacios. En el caso específico del SARS-COV-19, declarado el 30 de enero de 2020 por la OMS como emergencia de salud pública de preocupación internacional tipo pandemia, se han realizado diferentes estudios para la revisión de estrategias de ventilación e intercambio de aire, restricciones en ocupación y uso de sensores para monitorizar los índices de concentración de partículas en el ambiente.

Al poner en práctica la investigación, la UBA (Umweltbundesamt - Agencia Alemana de Medio Ambiente) ha elaborado pautas generales para la evaluación de la salud del dióxido de carbono en el aire interior, que incluye consejos sobre el SARS-CoV-2, consejos que también son relevantes para COVID-19. En consecuencia, una concentración menor a 1000 ppm es higiénicamente inofensiva. La directriz clasifica una concentración entre 1000 y 2000 ppm como cuestionable y cualquier cosa por encima de ella como inaceptable. Asimismo, el grupo de trabajo de ventilación de la UBA recomienda el uso de semáforos de CO₂ para este

fin. La DGV(Unfallkasse) aboga por un valor objetivo de 700 ppm en las aulas en tiempos de epidemia.

Las estrategias que se implementaron en este estudio se centran principalmente en el comportamiento y la concentración de CO₂, analizando una aula educativa donde se realizan variaciones a la apertura del 50% de los vanos de dicho espacio (A, B, C, D, E).

La ejecución de estos protocolos de apertura se realiza con la intención de mantener los valores de CO₂ y la edad media del aire en niveles óptimos (> 1000 PPM). Como consecuencia, se exponen a continuación una serie de estrategias, que según las fuentes consultadas podrán ser de gran ayuda para mantener las condiciones óptimas de ventilación y minimizar la contaminación ambiental dentro del aula.

3.1.1. ESTRATEGIAS DE VENTILACIÓN

Al consultar la *Guía para la ventilación en aulas – "Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua, IDEA-CSIC MESURA", (2020)*, se mencionan los siguientes puntos a considerar para reducir las probabilidades de contagio por Covid-19 por vía área en ambientes **Interiores**.

Estas estrategias ayudarán a mantener condiciones adecuadas de ventilación en las aulas de recintos educativos, donde la **reducción del riesgo del contagio** se consigue disminuyendo la **emisión y exposición**

Apertura de ventanas: Se recomienda adaptar ventanas abatibles o corredizas con el fin de implementar protocolos de apertura en intervalos de 15 a 20 minutos por un periodo de 3 a 5 minutos para garantizar la ventilación de las aulas durante las clases y de forma permanente durante los descansos. En los casos donde exista ventilación mecánica, es recomendable implementar de igual forma estas prácticas.

Un espacio correctamente ventilado, se podría definir como la renovación o sustitución del aire interior, potencialmente contaminado, con el aire exterior libre de virus.

La renovación de aire se puede denominar por sus siglas en inglés **ACH (Air Changes per Hour)**. La ventilación necesaria para reducir el riesgo de contagio, depende de una serie de factores, tales como el volumen de la sala, el número y edad de los ocupantes y la actividad realizada. Según las recomendaciones de la *Guía de Harvard*, se recomiendan **5-6 renovaciones de aire por hora**, para aulas de 100 m², con 25 estudiantes de 5-8 años.

Además, el documento de Cruz y Querol 2020, presenta otro método para medir la ventilación, dicho método se basa en valores de caudales de entrada del exterior, por número de personas y tiempo determinado. Un valor adecuado para

reducir el riesgo de contagio es de 14 litros por persona / segundo [05].

3.1.2. MEDIDAS COMPLEMENTARIAS

- ◆ Limpiadores de aire
- ◆ Instalación de ventiladores extractores
- ◆ Uso de rejillas
- ◆ Chimenea de en fachadas
- ◆ Uso de medidores CO₂: REHVA, la Federación de Asociaciones Europeas de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado ha pedido la instalación en las aulas de las escuelas de monitores de CO₂ con indicadores de semáforo por lo menos en las escuelas donde la ventilación depende de la apertura de ventanas.

3.1.3. ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN DE HVAC

La ventilación y otras medidas relacionadas con HVAC y plomería pueden considerarse de mayor prioridad que la aplicación de controles administrativos y equipo de protección personal (incluidas las máscaras).

Los métodos de ventilación varían del espacio que se desea acondicionar, las variables climáticas y el uso. Por ello, se mencionan las alternativas identificadas para dicho propósito, sea esta mecánica o natural, las que reducen el gasto energético entre 30% y 40%, a través de ductos o aberturas. Junto a este factor, se vinculan los métodos de filtrado, los cuales varían en potencia y capacidad al considerar el espacio y uso; por ello existen los destacables filtros HEPA en las cabinas de aeronaves y los sistemas que incorporan nanotecnología para el propósito de asepsia del espacio interno doméstico o laboral [13].

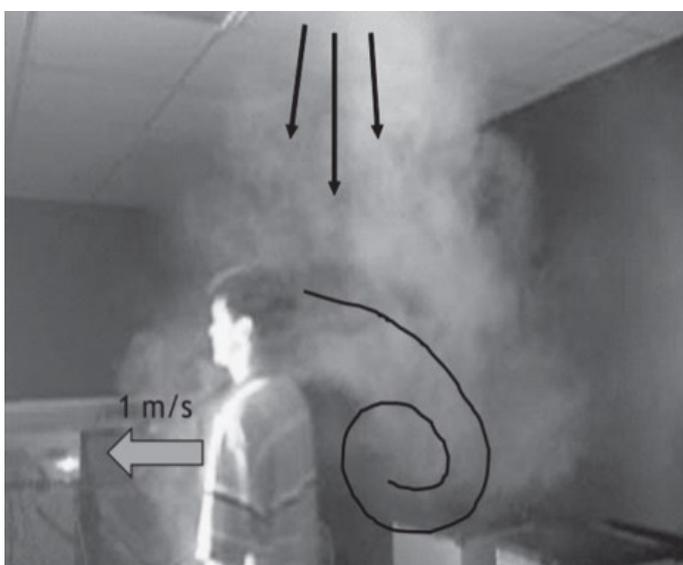


Fig. 3. Sistema de ventilación doméstico.

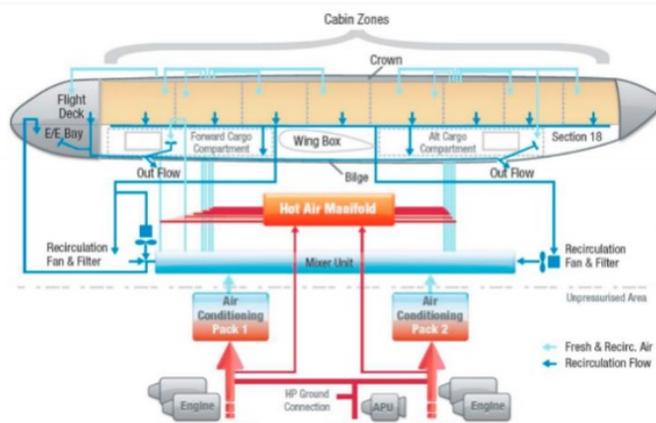


Fig. 4. Sistema de filtrado HEPA

3.1.4. ESTRATEGIAS DE FILTRACIÓN

Los sistemas de filtrado eliminan las partículas que se encuentran suspendidas en el aire, lo que proporciona un efecto similar en comparación con la ventilación del aire exterior. Para ser efectivos, los purificadores de aire deben tener una eficiencia de filtro **HEPA**, es decir, tener un filtro **HEPA** como última barrera de filtrado. Desafortunadamente, los filtros de aire para habitaciones con precios más atractivos no son lo suficientemente eficaces. Los dispositivos que utilizan principios de filtración electrostática en lugar de filtros HEPA, a menudo funcionan con eficiencias similares. Algunos sistemas de purificación de aire cuentan con filtros de micropartículas, dentro de los más populares se encuentran los de certificación **HEPA** – “High Efficiency Particulate Air”.

Este tipo de sistemas se caracteriza por su gran capacidad de filtrado, atrapando hasta un 99% de las partículas nocivas presentes en el ambiente. Sin embargo, no son la única alternativa eficiente de purificación, ya que lo esencial es que el producto cumpla con la norma europea de filtración **UNE-EN-1822-1:2020** [00].

3.1.4.1. FILTROS HEPA H13 – H14

Se puede decir que un filtro **H14**, tiene una eficacia de retener **99.99%** de sustancias volátiles de más de 0,3 micras, mientras que un filtro **H13**, tiene una eficiencia del **99.97%** en la retención de partículas superiores a ese tamaño. En espacios con especial riesgo como colegios, interiores de bares, restaurantes y gimnasios, la rápida renovación del aire es crucial y la implementación de purificadores de aire con filtro **HEPA H14**, podría ser un aspecto a tomar en cuenta.

En cuanto a la utilización del sistema de purificación o filtrado de recirculación de aire, deberán ser considerados factores tales como el volumen del espacio (dimensiones), así como la capacidad de personas dentro del mismo (aforo), para poder determinar la cantidad de filtros que deberán de ser implementados. Podemos mencionar que según los artículos analizados, se consideran medidas más rigurosas para los sistemas

de filtración HEPA, donde se incorporan lámparas UV, con el fin de maximizar los efectos de desinfección de aire a un muy bajo consumo energético. Como la radiación UV es nociva no sólo para las sustancias orgánicas sino también para los materiales técnicos, se presume que el filtro se degradará con mayor rapidez. Por lo que deberán ser considerados dentro de los procedimientos operativos de mantenimiento el reemplazo regular de los filtros HEPA.

3.1.4.2. DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS HEPA

Los filtros HEPA deben renovarse y ser sustituidos por otros nuevos con relativa frecuencia.

Es necesario que los proveedores de los purificadores sean de auténtica confianza en relación a la calidad de los filtros HEPA y que podamos saber que efectivamente estamos comprando un filtro HEPA H14 o H13 y en qué normativa se ha basado el fabricante para asegurar que ese filtro la cumple.

El filtro a sustituir debe considerarse como un residuo tóxico. En él se acumulan todo tipo de ácaros, bacterias y el coronavirus SARS-CoV-2 puede estar presente tras los filtrados. De ahí que se deban extremar las precauciones cuando se realice el cambio del filtro utilizando siempre mascarilla, gafas cerradas, guantes y a ser posible ropa cerrada hasta el cuello. Lo más recomendable será encargar esta labor a una empresa especializada en recogida de este tipo de residuos.

3.1.5. ESTRATEGIAS DE MONITOREO

Si el control de ventilación no es adecuado en un recinto, se recomienda instalar sensores de CO₂ en la zona ocupada que advierten contra la falta de ventilación, especialmente en espacios que se utilizan a menudo durante una hora o más por grupos de personas, como aulas, salas de reuniones y restaurantes. Durante una epidemia, se recomienda cambiar temporalmente la configuración predeterminada del indicador de semáforo para que la luz amarilla / naranja (o advertencia) se establezca en 800 ppm y la luz roja (o alarma) en 1000 ppm para activar una acción rápida.

Los dispositivos de monitoreo de CO₂ deben ser confiables y fáciles de colocar donde se necesiten. Idealmente, deben estar conectados, por ejemplo, para activar alarmas cuando la concentración de CO₂ supera los umbrales del semáforo, incluso para enviar alarmas a las redes de gestión de edificios o teléfonos inteligentes a través de redes inalámbricas. Los sensores inalámbricos sin batería representan la solución ideal.

Este tipo de soluciones de rápida instalación, sin necesidad de cableado, permiten el monitoreo continuo de la concentración de dióxido de carbono en el aire del ambiente.

3.1.6. MATERIALES DESARROLLADOS CON NANOTECNOLOGÍA

El uso de materiales desarrollados a través de la nanotecnología ha permitido tener múltiples usos en la lucha contra el COVID dentro de los edificios. La incorporación de nanopartículas de cobre [02] o plata en filtros de aire, textiles y superficies, puede ayudar a restringir la propagación del virus. [03] Existen filtros de aire que han incorporado el uso de fibras ultra ligeras de fibra de vidrio, denominados ULPA, los cuales tienen una eficiencia de filtrado de 0.1 µm; estos también han sido modificados con TiO₂ NP fotocatalítico y adicionando materiales de Nanopartículas Ag, Ag-híbridas, espuma de níquel o Zn-MOF.

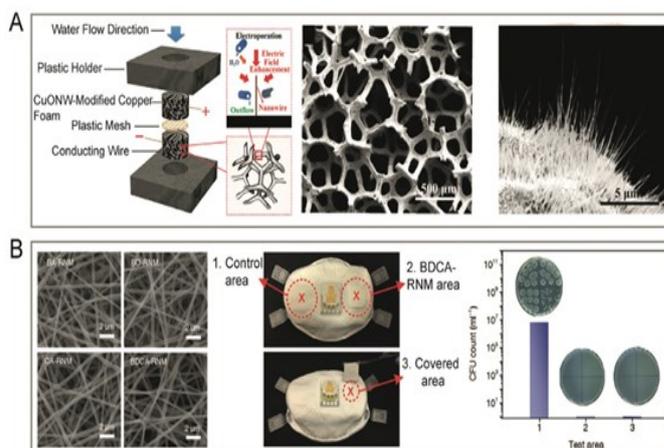


Fig. 5. Textiles utilizados para el desarrollo de materiales con nanopartículas

Estos materiales pueden activarse adicionalmente mediante el uso de biosensores y activación con radiación, LED, ultravioleta o solar. Otro uso es la utilización de oxidación fotoelectroquímica en purificadores de aire que utiliza luz UV-A para activar catalización de nanopartículas en los filtros de aire de contaminantes de aire, técnica que puede incorporarse en los sistemas de ventilación.

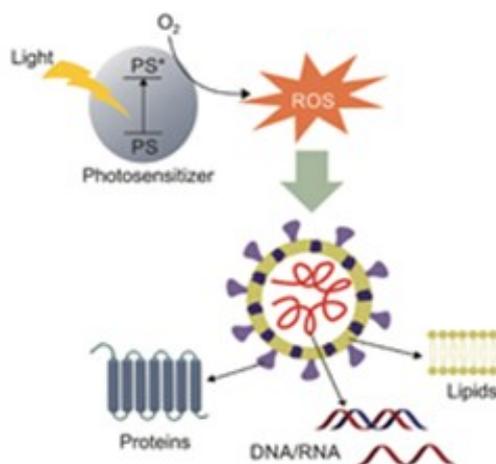


Fig. 6. Funcionamiento de los biosensores

Los nuevos filtros de aires incluyen componentes como carbón activado en forma de polvo granulado o fibras se ha probado con éxito para la absorción de partículas de bacterias y virus junto con el biocida Ag y CuO NP para una mayor eficiencia.[03]

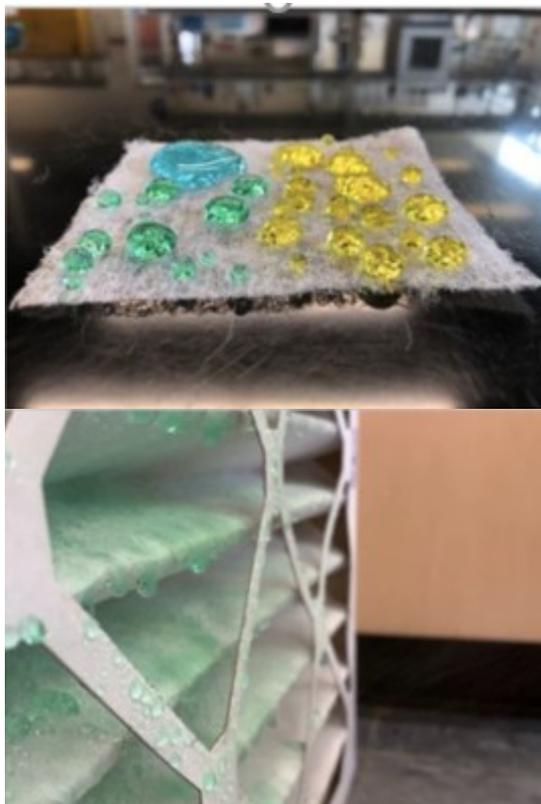


Fig. 7. Filtros de aire con diversos sistemas de nanotecnología

3.1.7. PROPUESTA DE MATERIAL CON PROPIEDADES REGULADORAS DE HUMEDAD Y AGENTES BIOLÓGICOS CONTAMINANTES

Tras los análisis bibliográficos en cuanto a temáticas afines, consideradas como respaldo para el planteamiento de una propuesta vinculada denominada: **Paneles modulares a base de materiales para regular agentes patógenos y humedad aérea en presencia o ausencia de ventilación de espacios habitables.**

Los materiales considerados tanto por sus propiedades antisépticas como por su facilidad para adquirir formas determinadas, entre ellos se encuentran el cobre (formulado como óxido con presencia de vidrios al 4% con significativos resultados contra bacterias y hongos), a modo de partículas, y las bases aglutinantes porosas de cal o yeso. Inclusive, la adición de fibras vegetales incrementa la resistencia a la tracción producidas por las tensiones de dilatación a más de cooperar con la transpiración y reducción significativa de la densidad modular[14].

La propuesta incorpora la compatibilidad entre las partículas metálicas como óxidos y el conglomerante alcalino como la

cal o el cemento, sin reacciones adversas inclusive con las fibras de origen vegetal, estas últimas podrían ser también objeto de estudio ya que hay estudios que demuestran su capacidad de controlar la humedad y temperatura [08].

Conocidas son las propiedades que presenta el cobre como antiséptico además de sus características como fungicida, es que se han realizado estudios que muestran su gran compatibilidad al combinar a través de nanopartículas, con fibras vegetales especialmente con compuestos derivados de la madera, o inclusive usándolo como cobre micronizado sobre madera aserrada, aglomerada o paneles laminados.

Se ha investigado que la dopamina puede formar una capa superadhesiva de polidopamina (PDA) en la superficie de casi todo tipo de materiales orgánicos o inorgánicos mediante polimerización por auto-oxidación [06]. Por lo tanto, la polidopamina puede usarse como un medio con muy buena adherencia entre el sustrato (que en este caso podría ser un panel de material orgánico) y las nanopartículas de cobre.

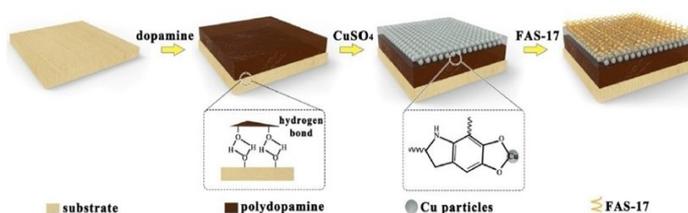


Fig. 8. Proceso de una cubierta de nanopartículas de cobre con propiedades antibacterianas e hidrorrepelentes

Lo anterior podría permitir fabricar elementos de base orgánica a los cuales mediante este sistema se le pueda incorporar esta lámina con las propiedades de controlar agentes nocivos para la salud, sin embargo, falta desarrollar cómo resolver qué esta lámina sea permeable y no afecte las propiedades higroscópicas del material de base para lograr un sistema que responda adecuadamente a lo que buscamos: control de humedad y control de agentes patógenos.

4. CONCLUSIONES

Medir la concentración de CO₂ dentro de un volumen habitado es un indicador aceptable para plantear una estrategia que permita la renovación de aire al interior y alcanzar el nivel recomendado de dióxido de carbono en espacios de uso educativo.

La incorporación de una variación positiva (mayor caudal) en la ventilación del espacio genera de forma inmediata una disminución en la concentración gaseosa y se puede relacionar con la disminución en la concentración de otros agentes patógenos como esporas, bacterias y virus.

La concentración de CO₂ dentro de un espacio cerrado de grandes dimensiones (>250 m²) no es constante en todos sus

puntos, por ende se deben tener en cuenta esto para distribuir los puestos de trabajo en su interior.

Se ha considerado 1000 ppm de CO₂ como rango máximo permitido dentro del cual se establecen estrategias de ventilación natural o mecánica con filtros de diferentes materiales para mantener en espacio dentro de dicho límite.

Para controlar el buen funcionamiento de las estrategias se pueden colocar sensores de CO₂ con alarmas para activar los protocolos necesarios con el fin de disminuir las ppm hasta un nivel aceptable alrededor de 700 ppm.

Como primera estrategia de ventilación se proponen protocolos de apertura en intervalos de 15 a 20 minutos por un periodo de 3 a 5 minutos. La alternativa más utilizada actualmente, además de la ventilación natural, es incluir en los sistemas de HVAC filtros HEPA, los cuales cumplen con filtrar hasta un 99% de partículas nocivas para la salud.

Producto de la búsqueda de materiales alternativos a los filtros HEPA, se ha encontrado una propuesta basada en el uso de paneles modulares sobre una base de aglutinantes porosos de cal o yeso formulado como óxido con presencia de vidrios al 4%, a modo de partículas. Adicionalmente, se han encontrado propuestas que incorporan nanopartículas de cobre o plata en filtros de aire debido a la agresividad letal que estos compuestos tienen sobre la membrana celular de los microorganismos, textiles y superficies. Además existen filtros de aire que han incorporado el uso de fibras ultra ligeras de fibra de vidrio, denominados ULPA, los cuales tienen una eficiencia de filtrado de 0.1 µm. Estas nanopartículas pueden activarse mediante el uso de biosensores y activación con radiación, LED, ultravioleta o solar.

5. REFERENCIAS

[01] Anderson, E. L., Turnham, P., Griffin, J. R., & Clarke, C. C. Consideración de la transmisión de aerosoles para COVID-19 y salud pública.

[02] Bogdanović, U., Lazić, V., Vodnik, V., Budimir, M., Marković, Z., & Dimitrijević, S. (2014). Copper nanoparticles with high antimicrobial activity. *Materials Letters*, 128, 75-78.

[03] Campos, E. V., Pereira, A. E., De Oliveira, J. L., Carvalho, L. B., Guilger-Casagrande, M., De Lima, R., & Fraceto, L. F. (2020). How can nanotechnology help to combat COVID-19? Opportunities and urgent need. *Journal of Nanobiotechnology*, 18(1), 1-23.

[04] Cox, C. S., & Wathes, C. M. (1995). *Bioaerosols handbook*. Boca Raton: Lewis Publishers.

[05] CRUZ, M., QUEROL, X., FELISI, M., GARRIDO, T. 2020. *Guía para ventilación en aulas*, Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del agua, IDAEA-CSIC, Mesura.

[06] Duan, X., Liu, S., Huang, E., Shen, X., Wang, Z., Li, S., Jin, C. (2020) Superhydrophobic and antibacterial wood enabled by polydopamine-assisted decoration of copper nanoparticles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 602, 125145.

[07] Esteban-Tejeda, L., Malpartida, F., Esteban-Cubillo, A., Pecharromán, C., & Moya, J. S. (2009). Antibacterial and antifungal activity of a soda-lime glass containing copper nanoparticles. *Nanotechnology*, 20(50), 505701.

[08] Li, Z., Wei, F., & Liu, W. (2011, May). Manufacture of building blocks of humidity-controlling composite materials used in greenhouse. In *2011 International Conference on Materials for Renewable Energy & Environment* (Vol. 2, pp. 1125-1128). IEEE.

[09] Lidwell, O. (1990). *The microbiology of air*. London: Edward Arnold. Vishal Chaudhary, Abhishek Royal, Murthy Chavali, S. K. Yadav. (2021) Advancements in research and development to combat COVID-19 using nanotechnology 202110.1007/s41204-021-00102-7 Nanotechnology for Environmental Engineering.

[10] Hatcher, J. (2020) Carbon Dioxide monitoring to lower the coronavirus threat. *Smart Buildings Magazine*.

[11] Ordovás, J. M., Esteban, M., García-Retamero, R., González López Valcárcel, B., Gordaliza, A., Inzitari, M., ... & Luis Aduriz, A. (2020). Informe sobre COVID-19 en espacios interiores, en particular restaurantes.

[12] PAJUELO, L., 2021. *Los mejores purificadores para limpiar el aire del hogar de alérgenos y otros virus*. El País.com. https://elpais.com/elpais/2020/12/21/escaparate/1608563347_515506.html

[13] Pecho, P., Škvareková, I., Ažaltovič, V., & Hruz, M. (2020). Design of air circuit disinfection against COVID-19 in the conditions of airliners. *Transportation Research Procedia*, 51, 313-322.

[14] Pelliccia, G., Baldinelli, G., Bianconi, F., Filippucci, M., Fioravanti, M., Goli, G., ... & Togni, M. (2020). Characterisation of wood hygromorphic panels for relative humidity passive control. *Journal of Building Engineering*, 32, 101829.

[15] Tang, J. W., Li, Y., Eames, I., Chan, P. K. S., & Ridgway, G. L. (2006). Factors involved in the aerosol transmission of infection and control of ventilation in healthcare premises. *Journal of Hospital Infection*, 64(2), 100-114.

[16] Carbon Dioxide monitoring to lower the coronavirus threat. (2020) Smart Building Magazine

[17] REHVA COVID-19 guidance document How to operate HVAC and other building service systems to prevent the spread of the coronavirus (SARS-CoV-2) disease (COVID-19) in workplaces. Abril 2021.

[18] GÓRNY, Rafał L., et al. Fungal fragments as indoor air biocontaminants. *Applied and environmental microbiology*, 2002, vol. 68, no 7, p. 3522.

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

Building & Management is an open access scientific e-journal promoted by the School of Building Engineering (ETSEM) of the Universidad Politécnica de Madrid (UPM) and published every four months, three times a year, March, July and November. It aims at the dissemination of high quality original works related to the management of processes associated to buildings, in any phase of their development, where various agents in the sectors of Architecture, Engineering and Construction participate.

1. JOURNAL AIMS AND SCOPE

Topics of interest include all the theoretical, methodological and/or practical advances, in building management --one or several processes-- within any life phase of the building. These could be developed at the academic or professional level.

This magazine is addressed to all the interveners of the building sector. For its better diffusion title, abstract, highlights and keywords of the articles will be published in English and Spanish, and the body is allowed in both languages. English is preferred.

The content will consist primarily of original research manuscripts. However B&M is also open to the publication, always within the scope of the magazine, of: review articles, technical reports, best practices, conference papers, fast-track communications, letters to the editor, states of the art and book reviews. Academic-scientific content must prevail in all occasions.

2. BLINDED PEER-REVIEW PROCESS

The Editorial Board of the magazine, after verification that the article complies with the rules on style and content indicated in the guidelines for authors, sent the text, as double-blind model, to two anonymous external expert reviewers within the specific field, for its evaluation, or to a third if necessary.

Authors will be informed about the initial acceptance or rejection within a month. The evaluation will focus in the interest of the article, its contribution to knowledge of the subject treated, the contributed novelty, the established relationships, critical judgment, developed content, structure, use of bibliographic and references that are handled properly, wording, etc. Indicating recommendations for its possible improvement.

Based on the recommendations of the reviewers, the Editorial Board will inform authors the reasoned result of reports by email, at the address they have used to send the article. The revision process lasts approximately three or four months, without any cost for authors. The Editorial Board will communicate the result to the principal author of the review (published unchanged, with minor corrections publication, publication with important fixes, not suitable for publication).

Building & Management es una publicación de gestión en Edificación de la Escuela Técnica Superior de Edificación (ETSEM) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Se trata de una revista digital científica abierta con periodicidad cuatrimestral (marzo, julio, noviembre), que tiene como primer objetivo la divulgación de trabajos originales sobre gestión de los procesos vinculados a la edificación, desarrollados por los sectores de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción en cualquiera de las fases del ciclo de vida del edificio.

1. TEMÁTICA Y ALCANCE DE LA REVISTA

Los temas de interés incluyen todos los avances teóricos, metodológicos y/o empíricos, a nivel académico o profesional, en la gestión de uno o varios procesos dentro de cualquiera de las fases de vida del edificio.

Esta revista va dirigida a todos los agentes del sector de la edificación. Para su mayor difusión el título, resumen, titulares y las palabras clave de los artículos se publican en inglés y en español y el cuerpo del artículo se admite en ambos idiomas dando preferencia al inglés.

El contenido estará formado fundamentalmente por artículos científico-técnicos originales, no obstante, de igual forma y siempre dentro del ámbito de alcance de la revista, B&M también está abierta a la publicación de: artículos de revisión, informes técnicos, buenas prácticas, comunicaciones en congresos, comunicaciones cortas, cartas al editor, estados del arte y reseñas de libros. En todos los casos deberá primar el contenido científico académico, ajustándose al formato de este tipo de publicaciones.

2. REVISIÓN POR PARES DOBLE CIEGO

Los trabajos presentados serán sometidos a una revisión inicial por parte del comité editorial. Los autores de los manuscritos enviados serán informados de la aceptación inicial para su revisión o del rechazo de su artículo en el plazo de un mes de la recepción del mismo.

Si sus contenidos son adecuados serán enviados para una revisión por pares realizada por expertos independientes y de reconocido prestigio, y por un tercero en caso necesario, ajustándose a los protocolos de publicaciones científicas seriadas. Los evaluadores serán seleccionados por el Comité de Redacción en función de su trayectoria investigadora.

Las revisiones por pares se realizarán por un test de doble ciego gestionado online. La valoración incidirá sobre el interés del artículo, su contribución al conocimiento del tema tratado, las novedades aportadas, las correctas relaciones establecidas, el juicio crítico desarrollado, la estructura del contenido, los referentes bibliográficos manejados, su correcta redacción, etc., indicando recomendaciones, si las hubiera, para su posible mejora.

If the manuscript has been accepted with modifications, authors should resubmit a new version of the article, following demands and suggestions of the external evaluators. If desired, the authors can also provide a letter, by email, to the Editorial Board in which they indicate the content of modifications of the article.

If desired, the authors can also provide a letter, by email, to the Editorial Board in which they indicate the content of modifications of the article.

Articles with significant corrections may be sent back to blind peer review to verify the validity of changes made by the author.

Considering the degree of compliance with changes requested, the Board shall decide whether or not the publication of the article. This decision shall be communicated to the author by the Editorial Board and in case of publication the manuscript will be dated as accepted.

3. SUBMITTING A MANUSCRIPT

3.1. FORMAT

Building & Management is an open access publication. Articles will be published online in PDF format, and will be available for free to readers immediately after publication online, without any restriction, at the following electronic address: http://polired.upm.es/index.php/building_management/

The Universidad Politécnica de Madrid reserves the right to distribute the complete numbers as an electronic book for its sale, either in PDF format, ePub or in any other electronic possible format, now or in the future, and / or paper format in print on demand. These alternative formats will have identical content and will be subject to the same copyright as the individual articles in the digital edition, and will be considered equivalent for all purposes.

3.2. SUBMITTING PROCESS

All manuscripts will preferably be written in English or Spanish. Submitted manuscripts will undergo a reviewing process, starting with a linguistic review. Manuscripts with a poor quality in this regard will be returned without evaluation. The submission of a manuscript implies that all co-authors have approved and accepted the content of the submitted text, tables, graphic material and any other complementary material supplied. The corresponding author will be responsible for all the co-authors to correct information about the manuscript. All submissions must be accompanied by a signed letter stating the originality and unpublished nature of the content of the manuscript, and their assurance that it has not been simultaneously sent to another publication for its evaluation. The letter can be downloaded at <https://drive.upm.es/index.php/s/FeqbSU7DSswCIOI>

El consejo editorial decidirá si el manuscrito es aceptado o rechazado basándose en los informes y recomendaciones de los evaluadores externos. El proceso de evaluación tiene normalmente una duración aproximada de entre tres y cuatro meses y no tiene ningún coste para los autores. Todos los informes de evaluación se enviarán a los autores, manteniendo el anonimato (publicación sin cambios; publicación con correcciones menores; publicación con correcciones importantes; no aconsejable para su publicación). En el caso de la aceptación del artículo, los autores deberán considerar los comentarios realizados por los evaluadores y volver a enviar el trabajo con los cambios oportunos. El proceso de revisión se repite, manteniendo el anonimato. En caso que la segunda revisión de los evaluadores sea de nuevo favorable, será probable que el artículo se acepte para su publicación definitiva. Cuando ésta se produzca, al trabajo se le asignará una fecha de aceptación.

3. ENVÍO DE MANUSCRITOS

3.1. FORMATO

Building & Management es una publicación en línea de libre acceso. Los artículos serán publicados en línea en formato PDF, y estarán disponibles de forma gratuita para los lectores inmediatamente después de su publicación en línea, sin ninguna restricción en la siguiente dirección electrónica: http://polired.upm.es/index.php/building_management/

La Universidad Politécnica de Madrid se reserva el derecho de distribuir para su venta los números completos como libro electrónico, ya sea en formato PDF, ePub o en cualquier otro formato electrónico posible en el presente o en el futuro, y/o en formato papel en impresión bajo demanda. Estos formatos alternativos tendrán un contenido idéntico y estarán sujetos a los mismos derechos de autor que los artículos individuales en la edición digital, y serán considerados equivalentes a todos los efectos.

3.2. ENVÍO DE MANUSCRITOS PARA SU EVALUACIÓN Y APROBACIÓN

Los manuscritos estarán redactados preferentemente en Inglés o Español. Los manuscritos enviados serán revisados en primer lugar desde el punto de vista lingüístico. Los manuscritos con un nivel de calidad deficiente en este aspecto serán devueltos sin ser evaluados. El envío de un manuscrito implica que todos los coautores han aprobado y aceptado el contenido del texto remitido, las tablas, el material gráfico y cualquier otro material complementario suministrado. El autor designado como persona de contacto será responsable de que todos los coautores dispongan de información correcta sobre el manuscrito enviado. Todos los envíos deberán ir acompañados de una carta firmada indicando el carácter original e inédito del contenido del manuscrito, y que el mismo no ha sido enviado simultáneamente a otra publicación para su valoración. La carta se puede descargar en <https://drive.upm.es/index.php/s/FeqbSU7DSswCIOI>

3.3. MANUSCRIPT

To help authors to prepare the manuscripts a standard template can be downloaded at http://polired.upm.es/public/journals/22/Author_template_B M.docx

3.4. MANUSCRIPT DELIVER AND ACCEPTANCE

All proposed contents will be related to the objectives of the journal and will have to adhere to the rules contained in the following sections. Manuscripts will be sent to the following email address: bm.edificacion@upm.es. Papers will be written in Spanish or English. Manuscripts should be between 6000 and 8000 words in length, including abstract, key words, highlights, references, etc. Each table or figure will be considered equivalent to 200 words. And before we can accept a manuscript, B&M requires Open Researcher and Contributor ID (ORCID) information for every author on the paper.

3.5. MANUSCRIPT ADMISSION

All manuscripts received will be evaluated through a double-blind system. Suggestions will be sent to the authors to make the necessary modifications. Only original manuscripts that have not previously been published in other journals will be accepted.

3.6. TITLE

The title should be concise, informative, meaningful to the whole readership of the journal and will be written in English and Spanish. The name and surname of the author(s) and the company, university or research center, as well as the e-mail address, will be indicated below.

3.7. ABSTRACT

The articles will include a summary in English and Spanish (between 200 and 300 words) that clearly state the objectives, the approach and conclusions of the research.

3.8. KEYWORDS AND HIGHLIGHTS

Between 4 and 6 keywords in Spanish and English will be included, as well as 3 to 5 headlines (phrases that define the most important issues of the article, with no more than 85 characters each, spaces included).

3.9. PRODUCTION AND SUBMISSION

Writing clear, concise sentences. Proposals will be sent to the e-mail address bm.edificacion@upm.es in electronic format. The text will be sent in a file in .doc format, including the images in the desired place. Articles will be accepted in English and Spanish. When the text is written in English, Sending either the title or the abstract in Spanish will not be necessary.

3.3. PREPARACIÓN DEL MANUSCRITO

Para ayudar a los autores en la preparación de sus manuscritos existe una plantilla que se puede http://polired.upm.es/public/journals/22/Author_template_B M.docx

3.4. ENVÍO Y ACEPTACIÓN

Los trabajos para publicar estarán relacionados con los objetivos de la revista y tendrán que ceñirse a las normas contenidas en los siguientes apartados, debiendo enviar los trabajos a la dirección de correo electrónico bm.edificacion@upm.es. Los trabajos se redactarán en español o en inglés, con una extensión entre 6000 y 8000 palabras, incluyendo resumen, palabras clave, titulares, referencias, etc., así como tablas y figuras con una equivalencia de 200 palabras por cada una. Todos los autores deben aportar su identificador digital ORCID.

3.5. ADMISIÓN DE ORIGINALES

Todos los originales recibidos serán evaluados mediante el sistema de doble ciego cuyas sugerencias se enviarán a los autores para que realicen las modificaciones pertinentes. Sólo se aceptarán trabajos originales que no hayan sido publicados anteriormente en otras revistas.

3.6. TÍTULO

El título de los trabajos será conciso e informativo y expresará su contenido, en inglés y en español. Seguidamente se indicará nombre y apellido del autor o autores, organismo o centro de trabajo y dirección de correo electrónico.

3.7. RESUMEN

Los artículos deberán ir acompañados de un resumen en inglés y en español (entre 200 y 300 palabras) que con toda claridad señale los objetivos, el planteamiento y conclusiones del trabajo.

3.8. PALABRAS CLAVE Y TITULARES

Se incluirán entre 4 y 6 palabras clave en inglés y en español, así como 3 a 5 titulares (frases que definen lo más importante del trabajo, con no más de 85 caracteres incluyendo espacios cada una).

3.9. REDACCIÓN DEL TEXTO Y PRESENTACIÓN

La redacción será clara y concisa. Los trabajos se enviarán a la dirección de correo electrónico bm.edificacion@upm.es en formato electrónico. El texto se enviará en un archivo en formato Word, incluidas las imágenes en el lugar deseado. Los trabajos se admitirán en inglés y en español. Cuando el texto esté redactado en inglés, no será necesario mandar ni el título ni el resumen en español.

3.10. REFERENCES

References must be limited to those indispensable that are directly related to the article's content. Citations in the text and references will meet the IEEE standard format. There should be no less than 25 references and at least 30% of them from the last 4 years.

The DOI (Digital Object Identifier) should be incorporated into every reference for which it is available.

♦ Books

[1] A. Rezi and M. Allam, "Techniques in array processing by means of transformations," in *Control and Dynamic Systems*, Vol. 69, *Multidimensional Systems*, C. T. Leondes, Ed. San Diego: Academic Press, <http://dx.doi.org/>, 1995, pp. 133-180.

♦ Journal articles

[2] G. Liu, K. Y. Lee, and H. F. Jordan, "TDM and TWDM de Bruijn networks and sufflenets for optical communications," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 46, pp. 695-701, <http://dx.doi.org/>, June 1997.

♦ Technical report

[3] K. E. Elliot and C. M. Greene, "A local adaptive protocol", Argonne National Laboratory, Argonne, France, Tech. Rep. 916-1010-BB, <http://dx.doi.org/>, 1997

♦ Master End Project or PhD thesis

[4] J.-C. Wu. "Rate-distortion analysis and digital transmission of nonstationary images". Ph.D. dissertation, Rutgers, the State University of New Jersey, Piscataway, NJ, USA, <http://dx.doi.org/>, 1998.

♦ Internet

[5] J. Jones. (1991, May 10). *Networks* (2nd ed.) [Online]. Available: <http://www.atm.com>. Last date reviewed.

3.11. TABLES, FIGURES AND GRAPHICS

The number of tables and figures should be limited by sending only those that are really useful, clear and representative. They will be numbered correlatively according to the quotation in the text and each one will have its caption. They will be placed in the right place of the text.

Tables and figures should be designed in Word or Excel, so that they are visible when conforming to the format of 8.8 cm (width of 2 columns) presenting a good contrast so that they do not lose quality with the reduction. If necessary, once the article has been accepted, the journal may ask the corresponding author separately for tables and figures with better resolution. Sources must be included, when necessary, for tables, figures.

The resolution of pictures should not be less than 300 dpi (dots per inch). If the size of the final file is too large (more than 10 MB), then the manuscript should contain the figures with minimized resolution, and the original figures must be

3.10. REFERENCIAS

Las referencias deberán reducirse a las indispensables que tengan relación directa con el trabajo enviado. Las citas en el texto y las referencias consignadas seguirán el formato IEEE. Se propone un número de citas no inferior a 25, con el 30% de las mismas publicadas en los últimos cuatro años.

Siempre que la publicación citada disponga de DOI, será necesaria su incorporación en la referencia bibliográfica.

♦ Libros

[1] A. Rezi and M. Allam, "Techniques in array processing by means of transformations," in *Control and Dynamic Systems*, Vol. 69, *Multidimensional Systems*, C. T. Leondes, Ed. San Diego: Academic Press, <http://dx.doi.org/>, 1995, pp. 133-180.

♦ Artículos de revistas científicas

[2] G. Liu, K. Y. Lee, and H. F. Jordan, "TDM and TWDM de Bruijn networks and sufflenets for optical communications," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 46, pp. 695-701, <http://dx.doi.org/>, June 1997.

♦ Informes técnicos

[3] K. E. Elliot and C. M. Greene, "A local adaptive protocol", Argonne National Laboratory, Argonne, France, Tech. Rep. 916-1010-BB, <http://dx.doi.org/>, 1997

♦ Trabajo fin de máster o tesis doctoral

[4] J.-C. Wu. "Rate-distortion analysis and digital transmission of nonstationary images". Ph.D. dissertation, Rutgers, the State University of New Jersey, Piscataway, NJ, USA, <http://dx.doi.org/>, 1998.

♦ Internet

[5] J. Jones. (1991, May 10). *Networks* (2nd ed.) [Online]. Available: <http://www.atm.com>. Last date reviewed.

3.11. TABLAS, FIGURAS Y GRÁFICOS

El número de tablas y figuras deberá limitarse en lo posible enviando solo las que sean realmente útiles, claras y representativas. Estarán numeradas correlativamente según la cita en el texto y cada una tendrá su pie explicativo. Se colocarán en el lugar adecuado del texto.

Las tablas y figuras deben ser diseñadas en Word o Excel, de forma que sean visibles al ajustarse al formato de 8,8 cm (ancho de 2 columnas) presentando un buen contraste de forma que no pierdan calidad con la reducción. En caso de ser necesario, una vez aceptado el artículo, la revista podrá volver a solicitar tablas y figuras por separado y con mejor resolución. En las tablas, figuras e imágenes que no sean del autor se deberán citar las fuentes.

La resolución de las imágenes no será inferior a 300 puntos por pulgada. Si el tamaño del archivo final es demasiado grande (superando los 10 MB), si el artículo es aceptado, se enviará el manuscrito conteniendo en su posición las figuras

provided in separate files, if the article is accepted.

3.12. FORMULAS AND EQUATIONS

Formulas should be inserted and not embedded as an image in the Word document at all. They will be numbered in parentheses in correlative order, following the text citation order, done using the same notation.

3.13. LAYOUT

Authors will receive a layout PDF proof that should be reviewed within a maximum period of three days. Modifications of the original text will not be accepted during the proofreading.

3.14. CHECKLIST BEFORE SUBMITTING

As part of the submission process, authors are required to indicate that their submission complies with all of the following elements, and to accept that submissions that do not comply with these guidelines may be returned to the author.

1. The submission has not been previously published nor been reviewed simultaneously by another journal (Or an explanation has been provided in "Comments to the editor").
2. The file sent is in Word format.
3. The template available on the journal's website has been used and the rules set out have been followed.
4. The authorship declaration is being signed by the author and all the coauthors and attached with the manuscript file in the submitting e-mail to the Editor to bm.edificacion@upm.es
5. The text meets the bibliographic and style requirements indicated in the template available on the journal's website.
6. Description of the last check that must be made before sending the article, in order to avoid the most common errors:
 - ◆ There is a list of the names of all the authors using superscript numeric identifiers to link an author with an address and institution where necessary.
 - ◆ It can be find the institution followed by the full postal addresses (including e-mail) of every author.
 - ◆ Title, abstract, highlights and Keywords are included in English and Spanish.
 - ◆ The main text has 6000 to 8000 words, including abstract, keywords, etc., and also figures and graphics with an equivalence of 200 words for each.
 - ◆ The abstract has 200 to 300 words.
 - ◆ It has 4 to 6 Keywords and It has been selected 3-5 highlights with the main information of the manuscript, each

con una resolución inferior y se aportarán las figuras con máxima resolución en archivos independientes.

3.12. FÓRMULAS Y/O EXPRESIONES MATEMÁTICAS

Deberán insertarse en el propio documento Word y en ningún caso incrustado como imagen. Se numerarán entre paréntesis por orden correlativo, siguiendo el orden de la citación en el texto, que utilizará las misma nomenclatura.

3.13. PRUEBAS

Se enviará a los autores la prueba de maquetación en PDF que deberá ser revisada en un plazo máximo de tres días. En la corrección de pruebas no se admitirán modificaciones del texto original.

3.14. LISTA DE COMPROBACIÓN DE PREPARACIÓN DE ENVÍOS

Como parte del proceso de envío, se les requiere a los autores que indiquen que su envío cumpla con todos los siguientes elementos, y que acepten que envíos que no cumplan con estas indicaciones pueden ser devueltos al autor.

1. El envío no ha sido publicado previamente ni está dentro del proceso de revisión de otra revista (o se ha proporcionado una explicación en "Comentarios al editor").
2. El fichero enviado está en formato Word.
3. Para la redacción del manuscrito se ha utilizado la plantilla disponible en la web de la revista y se han seguido las normas expuestas.
4. Se junta, junto al artículo, el formulario de declaración de autoría disponible en la página web de la revista debidamente relleno y firmado a la dirección de email bm.edificacion@upm.es
5. El texto cumple con los requisitos bibliográficos y de estilo indicados en las Normas para autoras/es, que se pueden encontrar en Acerca de la revista.
6. Descripción de la última comprobación que debe realizarse antes de enviar el artículo, con el fin de evitar los errores más comunes:
 - ◆ Aparecen los autores con nombres y apellidos o declaración de autor institucional, utilizando el identificador numérico para cada autor.
 - ◆ Aparece la entidad a la que está adscrito el autor o los autores y sus datos de contacto (incluido e-mail).
 - ◆ Se ha expresado el título, el resumen, las palabras claves y los titulares, en español y en inglés.
 - ◆ El número de palabras es de entre 6000 y 8000 palabras, incluyendo resumen, palabras clave, etc., así como tablas y figuras con una equivalencia de 200 palabras por cada una.
 - ◆ La extensión del resumen se adecua a las normas de

- ◆ Tables, diagrams and figures are entered in a borderless text box, including inside the figure caption in the lower part the table foot and are placed and cited in the text in consecutive numerical order
- ◆ The list of references are made according to the reference requirements of the Journal, and at least the 30% of them are dated in the last four years.
- ◆ Authors' short biography with 50 to 75 words is included.
- ◆ The author has the permission to use the material with rights of another author, even if it is in the Web.

Any inquiry regarding the submission of the article can be resolved in the first instance on the website of the magazine. For other inquiries, the magazine contact email is available: bm.edificacion@upm.es

4. COPYRIGHT

The originals of Building & Management magazine are property of the Universidad Politécnica de Madrid, being necessary to cite the origin of any partial or total reproduction.

All the original articles published in Building & Management are subject to discussion and comments from our readers. Opinions should be sent to the journal's email address, within a period of three months, starting from the date of publication.

Authors retain the copyright of the papers and ensure B&M the right to have a Creative Commons license, Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0), that allow others to share the article within an author recognition and non commercial use.

Authors can also establish independently additional agreements for the not exclusive distribution of the article published versión in the e-journal (as, for example, to place it in an institutional repository or to publish it in a book).

Unless otherwise indicated, all contents of the electronic edition of Building & Management are distributed under a Creative Commons license and distribution.

5. PRIVACY STATEMENT

The personal data provided to in this journal will be used exclusively for the purposes stated by Building & Management and will not be available for any other purpose or another person.



- ◆ El número de palabras clave son entre 4 y 6, y los highlights entre 3 y 5 con 85 caracteres incluidos espacios.
- ◆ Todas las tablas y figuras están insertadas en cuadros de texto, con su correspondiente leyenda, en la parte inferior de las mismas.
- ◆ Todas las referencias citadas en el texto, están referenciadas al final del artículo y viceversa. Y se nombran en orden de aparición.
- ◆ Todas las referencias están en el formato adecuado y el 30% de las mismas están fechadas en los últimos 4 años.
- ◆ Incluye el perfil académico y profesional del autor/es (entre 50 y 75 palabras)
- ◆ El autor dispone del permiso para usar el material con derechos de otro autor, incluso si está en la Web.

Cualquier consulta relativa a la presentación del artículo, puede resolverse en primera instancia en la página web de la revista. Para otras consultas, se dispone del correo de contacto de la revista: bm.edificacion@upm.es

4. NOTA DE COPYRIGHT

Los originales de la revista Building & Management, son propiedad de la Universidad Politécnica de Madrid, siendo necesario citar la procedencia de cualquier reproducción parcial o total.

Todos los artículos originales que se publican en Building & Management quedan sometidos a discusión y al comentario de nuestros lectores. Las opiniones deben enviarse a la dirección de correo electrónico de la revista, dentro del plazo de tres meses, contados a partir de la fecha de su publicación.

Los autores conservan los derechos de autor y garantizan a la revista el derecho de una licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0), que permite a otros compartir el trabajo con un reconocimiento de la autoría y uso no comercial.

Los autores pueden establecer por separado acuerdos adicionales para la distribución no exclusiva de la versión de la obra publicada en la revista (por ejemplo, situarlo en un repositorio institucional o publicarlo en un libro).

Salvo indicación contraria, todos los contenidos de la edición electrónica Building & Management se distribuyen bajo una licencia de uso y distribución Creative Commons.

5. DECLARACIÓN DE PRIVACIDAD

Los nombres y direcciones de correo-e introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para los fines declarados por esta revista y no estarán disponibles para ningún otro propósito u otra persona.

TOPICS COVERED BY B&M

Case studies
 Due diligence
 Licence management
 Risk assessment management
 Documentation procurement
 Communication and information management: ICT, Big data, Construction 4.0
 Management of bill of quantities, estimation, analysis and costs control
 Project monitoring
 Deadline management
 Economic, financial, equipment and human and material resources management
 Technical planning management
 Management of strategic planning
 Design management
 Management and control of changes and coordination of activities
 Management of production planning and programming
 Contracts and construction management
 Advanced techniques of construction management
 Process management in building, control and process improvement techniques
 Management of occupational risk prevention and health & safety
 Regulatory management and quality control
 Environmental management
 Management of waste and polluted soils
 Water management
 Materials management
 Energy management
 Other resources management
 Building heritage management
 Management of conservation, maintenance and exploitation
 Facilities management
 Building Management systems
 Sensoring, monitoring and control
 Audit of management systems
 Energy Audit
 Assessment of environmental impact plans, programs and projects
 Energy and environmental certification
 Implementation of environmental management systems
 Management of hygrothermal comfort
 Management of acoustic comfort
 Indoor air quality management
 Accessibility Management
 Diagnosis and methodology
 Intervention criteria
 Reuse
 Territory management
 Urban planning
 Management of environmental resources
 Air quality
 Training for management
 Research in construction
 Integrated project management
 Real estate assessments
 Judicial appraisal
 Management of social matters

LÍNEAS DE PUBLICACIÓN DE B&M

Casos de estudio
 Due diligence
 Gestión de las licencias
 Gestión del análisis de riesgos
 Gestión de la documentación
 Gestión de la comunicación y de la información: TIC, Big data, Construcción 4.0
 Gestión de las mediciones, estimación, análisis y control de los costes
 Monitorización de proyectos
 Gestión de plazos
 Gestión económica, financiera, de equipos y de los recursos humanos y materiales
 Gestión de la planificación técnica
 Gestión de la planificación estratégica
 Gestión del diseño
 Gestión y control de cambios y coordinación de las actividades
 Gestión de la planificación de la producción y programación
 Gestión de la contratación y de las obras
 Técnicas avanzadas de gestión de la construcción
 Gestión del proceso en edificación, técnicas de control y mejora de procesos
 Gestión de la prevención de riesgos laborales y seguridad e higiene
 Gestión de normativa y control de la calidad
 Gestión medioambiental
 Gestión de residuos y de suelos contaminados
 Gestión del agua
 Gestión de los materiales
 Gestión de la energía
 Gestión de otros recursos
 Gestión del patrimonio edificado
 Gestión de la conservación, el mantenimiento y explotación
 Gestión de las instalaciones
 Los sistemas de gestión en el edificio
 Sensorización, monitorización y control
 Auditoría de sistemas de gestión
 Auditoría energética
 Evaluación del impacto ambiental de planes, programas y proyectos
 Certificación energética y medioambiental
 Implantación de sistemas de gestión ambiental
 Gestión del confort higrotérmico
 Gestión del confort acústico
 Gestión de la calidad del aire interior
 Gestión de la accesibilidad
 Diagnóstico y metodología
 Criterios de intervención
 Reutilización
 Gestión del territorio
 Planificación urbanística
 Gestión de recursos del entorno
 Calidad del aire
 Formación para la gestión
 Investigación en edificación
 La gestión integrada de proyectos
 Valoraciones inmobiliarias
 Pericia judicial
 Gestión de los aspectos sociales

