



Escuela Técnica Superior de
Arquitectura de Sevilla, ETSAS

“Calidad de aire interior y condiciones térmicas en centros de trabajo y su idoneidad en la actual situación de pandemia”

Caso de estudio: Centro Multifuncional Miguel Hernández en La Puebla de Cazalla, Sevilla.



Autor: Pedro Alberto Guillén Pachón

Tutor: Juan José Sendra Salas

Grupo TFG-B:

Estructuras de la Edificación - Construcciones Arquitectónicas - Ingeniería del Terreno

Grado en Fundamentos de Arquitectura
Curso 2020/21

Sevilla, Junio 2021

CALIDAD DE AIRE INTERIOR Y CONDICIONES TÉRMICAS EN CENTROS DE TRABAJO Y SU IDONEIDAD EN LA ACTUAL SITUACIÓN DE PANDEMIA

Guillén Pachón, Pedro Alberto

Universidad de Sevilla, Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Trabajo Fin de Grado en Fundamentos de la Arquitectura, grupo B

Tutor: SENDRA SALAS, JUAN JOSÉ

Resumen:

La actual pandemia entre otras consecuencias está obligando a replantearse cómo debe desarrollarse la actividad laboral en este siglo XXI, tanto por la consecuencia que puede llegar a tener en las concentraciones de personas que se desplazan en transporte público en hora punta, como por la adecuación de la calidad de aire interior en esos centros de trabajo donde los trabajadores pasan un gran número de horas.

El objetivo principal del trabajo es analizar la calidad del aire interior y condiciones higrotérmicas en un centro de trabajo que se seleccionará como caso de estudio y verificar su idoneidad para trabajar en las condiciones que recomienda la OMS.

Como método se usará preferentemente la monitorización de la temperatura, humedad relativa y nivel de CO₂ en dos espacios representativos en uso. Se analizará el modo de ventilación y de climatización para poder relacionarlo con las condiciones térmicas monitorizadas. Se obtienen resultados adecuados en cuanto protocolos de ventilación para los casos de estudio, pero es evidente la falta de equilibrio con las condiciones higrotérmicas interiores, lo que imposibilita garantizar una adecuada concentración de los trabajadores en este tipo de situaciones que pueden ser recurrentes.

Palabras clave:

riesgo de contagio, ventilación natural, nivel de CO₂, condiciones higrotérmicas, monitorización.

INDOOR AIR QUALITY AND THERMAL CONDITIONS IN WORKPLACES AND ITS SUITABILITY IN THE CURRENT PANDEMIC SITUATION

Abstract:

The current pandemic, among other consequences, is forcing us to reconsider how work activities should be developed in the 21st century. This is due to the consequences this may have on the concentrations of people who commute using public transport at rush hour, as well as on the adequacy of indoor air quality in workplaces where workers spend a large number of hours.

The objective of this project is to analyse the indoor air quality and hygrothermal conditions in a workplace that will be selected as a case of study and to verify its suitability to work in the conditions that are recommended by the WHO.

The monitoring of temperature, relative humidity and CO₂ level in two representative spaces in use will be the method employed for this project. The ventilation and air conditioning mode will be analysed in order to be able to relate it to the monitored thermal conditions. Adequate results are obtained with regard to ventilation protocols in the case studies, but there is a clear lack of balance with the hygrothermal conditions, which makes it impossible to guarantee an appropriate concentration of workers in this type of situations that can be recurrent.

Keywords:

risk of contagion, natural ventilation, CO₂ level, hygrothermal, monitoring.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

MOTIVACIÓN, RELEVANCIA Y OPORTUNIDAD	2
i. INTRODUCCIÓN.....	2
ii. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	4
iii. OBJETIVOS DEL TRABAJO	4
ESTADO DE LA CUESTIÓN	5
i. SARS-COV-2.....	5
ii. TRANSMISIÓN DEL VIRUS.....	5
iii. NIVEL DE CO ₂ Y RIESGO DE CONTAGIO.....	7
iv. MARCO NORMATIVO REFERIDO A CALIDAD DE AIRE INTERIOR DE ESPACIOS DE TRABAJO (IAQ)	8
v. ESTABLECER UNA ADECUADA VENTILACIÓN	11
vi. EQUILIBRIO ENTRE LA VENTILACIÓN Y LAS CONDICIONES HIGROTÉRMICAS	11
METODOLOGÍA DEL TRABAJO	13
i. EDIFICIO DE ESTUDIO.....	13
ii. CASOS DE ESTUDIO.....	15
iii. SISTEMAS DE VENTILACIÓN Y CLIMATIZACIÓN.....	16
iv. METODOLOGÍA.....	17
v. MONITORIZACIÓN DE VARIABLES	17
vi. CALENDARIO DE MONITORIZACIÓN	20
vii. OCUPACIÓN.....	21
viii. HUECOS DISPONIBLES	22
ix. PROTOCOLOS DE VENTILACIÓN	24
x. VARIABLES EXTERIORES	26
ANÁLISIS DE RESULTADOS	27
CONCLUSIONES	46
FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	47
BIBLIOGRAFÍA	48
ANEJOS	1
ANEJO I. CARACTERÍSTICAS DE EQUIPO Y SOFTWARES	1
ANEJO II. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DIARIA.	2

AGRADECIMIENTOS

Al departamento de Construcciones Arquitectónicas de la ETSA, de la Universidad de Sevilla, por el préstamo de equipo de monitoreo de variables y gestión de permisos para obtener datos climatológicos de la zona del caso de estudio. Agradecer de forma especial a mi tutor Juan José Sendra Salas por su magnífico trabajo de guía y ayuda para el desarrollo del presente trabajo. Al profesorado de la asignatura por sus aportaciones y ánimo para el desarrollo del tema.

Al Centro Multifuncional Miguel Hernández por facilitarme el acceso al edificio con total libertad y en especial al conserje José Antonio por ayudarme con el estudio protocolos de ventilación y recogida de datos. Agradecer a los usuarios, monitores y trabajadores de los locales de estudio por colocar los aparatos de monitorización durante este amplio periodo de tiempo.

Al Ayuntamiento de La Puebla de Cazalla, mi lugar de procedencia, por concederme la oportunidad de desarrollar este trabajo en uno de sus edificios. En especial a Eva Moreno, de la concejalía de urbanismo y vivienda, por su implicación y gestión de permisos.

En general a todos aquellos investigadores que en esta situación de emergencia están estudiando la temática desarrollada con este TFG que han sido una fuente inagotable de conocimientos e inspiración.

ABREVIATURAS

A continuación, se muestran para el entendimiento del texto las diferentes abreviaturas y acrónimos utilizados durante la redacción del presente trabajo, según el orden que aparece en el texto y el significado de estas:

- **INSST** Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo
- **OMS** Organización Mundial de la Salud
- **CO₂** Dióxido de Carbono
- **ppm** Parts Per Million (partes por millón)
- **RITE** Reglamento de Instalaciones Térmicas de Instalaciones en los Edificios
- **IAQ** Indoor Air Quality (calidad de aire interior)
- **PPD** Predicted Percentage of Dissatisfied (porcentaje de personas insatisfechas)
- **ACH** Air Change per Hour (renovaciones horarias)
- **AEMET** Agencia Estatal de Meteorología

MOTIVACIÓN, RELEVANCIA Y OPORTUNIDAD

i. INTRODUCCIÓN

En abril de 2020 se publica en ElDiario.es un artículo titulado “La COVID-19 ha venido a cambiar nuestra sociedad, es un virus contra el mundo moderno”, en el cual se escribe que la sociedad no solo debe marcarse unos objetivos para resolver la actual situación de crisis, sino que debe evitar otras, tal vez más graves en el futuro.

El mundo ya estaba advertido con el anterior brote de SARS-COV-1 en 2003 cuando el Instituto de Medicina de EE. UU. declaró que la velocidad de contención del brote supuso un éxito para la salud pública, pero también una advertencia para el futuro. La globalización y accesibilidad a medios transporte ha hecho que enfermedades recientes como el MERS, en 2012, o Ébola, en 2014, supongan un riesgo para la población mundial ya que es fácil que un virus recorra la Tierra en cuestión de semanas. (Lujan Cuestas y Minassian 2020)

De cara al futuro, podemos pensar en posibles situaciones recurrentes como por ejemplo el cambio climático o nuevas pandemias de las que ya expertos nos avisan.

Hace más de un año que la enfermedad del COVID-19 está presente en nuestras vidas y con ello una lista de variantes que está dificultando el control de la propagación con mutaciones del virus que lo dotan de mayor infección y/o virulencia.

En abril (Pecino s. f. 2020), se hace alusión a diferentes lecciones que nos está dejando la lucha contra dos de los principales desafíos mundiales del momento, estableciendo relaciones entre ellos: el coronavirus y la emergencia climática. Ésta última parece haberse paralizado para reaccionar a una amenaza más urgente lo que supone un error, ya que estas dos estarían conectadas. En gran medida, la debilitación de ecosistemas que nos protegen está suponiendo un riesgo para el desarrollo de enfermedades emergentes provenientes de animales. (Fig. 01)

Es importante la lucha por políticas ambientales que garanticen el desarrollo sostenible construyendo la mejor garantía para hacer frente a nuevas pandemias, la llamada sociedad resiliente.



Fig. 01. Esquema de diversos factores que aumentan el riesgo de nuevas pandemias. Extraído del programa para el medio ambiente de la ONU. (Infografía)

Centrando el discurso en la temática específica de este documento, con respecto a lo laboral, uno de los cambios más significativos que sufrimos al comienzo de la pandemia fue el desempeño de la actividad laboral sin la presencia física del trabajador, lo que llamamos teletrabajo, de aquellos que suponían la actividad estrictamente presencial. En 2020 se produce un aumento del triple de la modalidad de teletrabajo con respecto al año anterior. (Fig. 02)

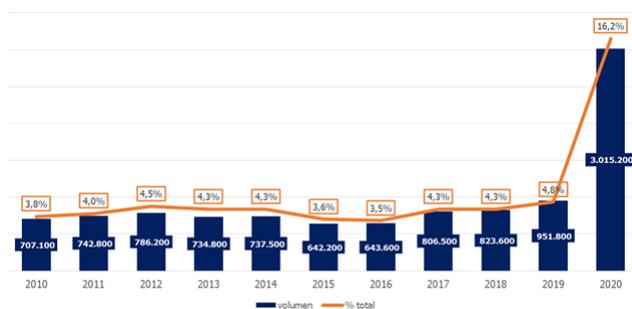


Fig. 02. Gráfico del volumen de teletrabajadores en España. Extraído de artículo de Libre Mercado titulado 'Máxima confusión con la ley del trabajo: dan 20 días para comprar portátiles, pero el wifi sigue en el limbo' a fecha de 24.09.2020. (Gráfico)

Meses posteriores a la declaración del Estado de Alarma en nuestro país el pasado 14 de marzo de 2020, dada la evolución de la pandemia se optó por la reincorporación de los trabajadores a sus puestos de trabajo tomando diferentes medidas que salvaguarden su seguridad.

Tras las relevantes publicaciones por miembros de administraciones españolas (Ministerio de Salud 2020) y (INSST

2020), se insiste en determinadas medidas que afectan a la ventilación de ambientes interiores, señalando la transmisión por aerosoles como principal ruta de contagio de la enfermedad. Este punto será desarrollado en el apartado siguiente Estado de la cuestión.

Como oportunidad e interés del trabajo encontramos el papel que juegan los centros de trabajo en la actual situación de pandemia como espacios de riesgo. Nos apoyamos en las diferentes medidas de prevención de contagio, para determinar, si son suficientemente seguros los espacios donde los trabajadores pasan un gran número de horas. (Fig. 03)



Fig. 03. Cartel de elaboración APEME que pone a manos de empresas las diferentes medidas a tomar en espacios interiores. (Infografía).

ii. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

La pregunta de investigación a la que pretende dar respuesta el presente trabajo podría quedar definida por:

- ¿Hasta qué punto los centros de trabajo están preparados para dar respuesta, en cuanto a condiciones ambientales, a este tipo de situaciones?

iii. OBJETIVOS DEL TRABAJO

Tras una breve puesta en marcha de la temática del trabajo, podemos definir que los objetivos del documento presente son:

Objetivo general:

OG 1.

Acercamiento a la calidad de aire interior y su relación con el confort higrotérmico de los casos de estudio para concluir si son o no espacios seguros y apropiados, desde el punto de vista medioambiental, para el desarrollo de una actividad laboral.

Objetivos específicos:

O.E.1

Elaborar un estudio específico de la evolución de los niveles de CO₂ y su relación con los protocolos de ventilación, durante la ocupación de los casos de estudio, y compararlos con los valores de referencia.

O.E. 2

Estudio de la evolución variables: temperatura (° C) y humedad relativa (%), y relacionarlas con los valores recomendados de confort higrotérmico y del ambiente exterior.

O.E. 3

Relacionar la calidad de aire interior con confort higrotérmico de nuestros casos de estudio.

ESTADO DE LA CUESTIÓN

i. SARS-COV-2

La infección que ha provocado la actual pandemia se debe a un coronavirus llamado SARS-COV-2, desconocido hasta los primeros brotes ocurridos en la ciudad de Wuhan (China), en diciembre de 2019.

El 11 de marzo de 2020, la OMS anuncia su preocupación por los alarmantes niveles de propagación de la enfermedad, caracterizando la situación como una pandemia (OMS 2020). Esta situación de alarma ha producido un gran impacto sanitario, social y económico al que se ha enfrenta el mundo entero desde esa fecha.

Se trata de un virus con una alta capacidad de contagio, que produce cuadros clínicos que van desde un resfriado común a consecuencias más graves, causando neumonía, dificultades importantes a la hora de respirar, fallo renal e incluso la muerte. Generalmente estos casos tan graves se dan en personas mayores y/o con patologías previas relacionadas con enfermedades pulmonares, cardiovasculares o problemas de inmunidad. Uno de los grandes inconvenientes de esta nueva enfermedad es que se puede presentar en infectados que no generan ningún tipo de síntoma, los llamados asintomáticos, dificultando la localización de casos de forma particular y facilitando la transmisión. (Beltrán 2020)

Esta situación de emergencia está siendo investigada por un gran número de expertos de diferentes campos (medicina, biología, economía...),

pero para el desarrollo del presente trabajo nos centraremos en la propagación del virus en espacios interiores, concretamente en un centro de trabajo.

ii. TRANSMISIÓN DEL VIRUS

El COVID-19 se propaga cuando una persona infectada exhala gotículas y partículas respiratorias muy pequeñas que contienen el virus. El coronavirus es una partícula con una tamaño y peso ínfimo (0.1 μm) que asociado a otras partículas puede quedar suspendido en el aire durante horas.

De forma resumida existen tres formas principales de contagio (Fig. 04):

1. Aerosoles. Al inhalar pequeñas gotitas y partículas exhaladas por un infectado, el virus viajaría junto a éstas, depositándose en nuestro sistema respiratorio.
2. Gotículas. Al hacer que estas pequeñas gotitas y partículas respiratorias que contienen el virus se depositen sobre los ojos, nariz o boca, especialmente a través de salpicaduras y aspersiones generadas al toser o estornudar.
3. Contacto superficial. Al tocarse los ojos, nariz o boca con las manos contaminadas con el virus.

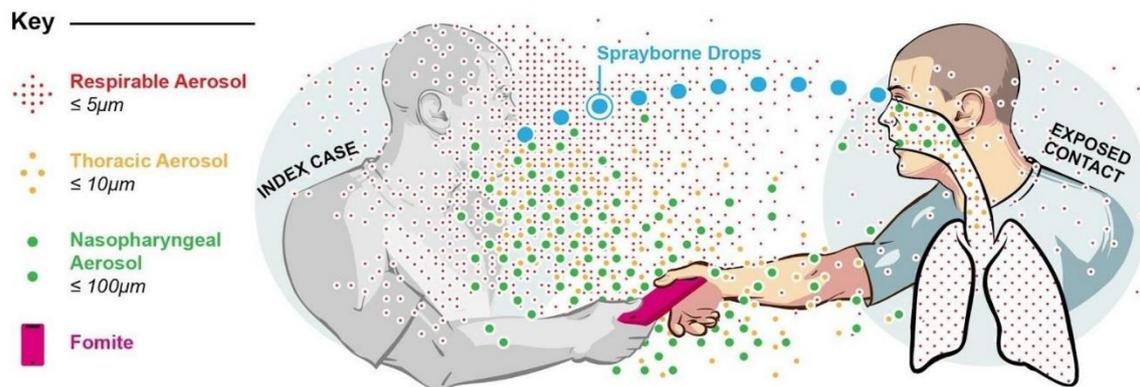


Fig. 04. Esquema de principales rutas de transmisión del SARS-COV-2. Extraído del artículo (Milton 2021). (Gráfico)

La OMS ha establecido como principales medidas de seguridad aquellas referidas al distanciamiento social y contacto de superficies, admitiendo poco a poco que es posible la transmisión aérea mediante aerosoles. (OMS 2020b)

La comunidad científica lo tiene claro, según el artículo publicado por Science el 16 de octubre de 2020 (Ters 2020), se declara que existen evidencias donde la inhalación por aerosoles es un método muy importante de transmisión, siendo más probable el contagio por aerosoles frente a otras rutas al estar en contacto con un infectado. (Morawska y Cao 2020)

Tras estas declaraciones, el Ministerio de Sanidad del Gobierno de España ha redactado un documento con las medidas de prevención y recomendaciones ante esta extraordinaria situación (Ministerio de Salud 2020). Este documento recoge el trabajo de un grupo de expertos en aerosoles y en transmisión y prevención de enfermedades infecciosas apuntando esta ruta de transmisión como más importante a la hora de tomar medidas de seguridad en los ambientes interiores.

En uno de sus apartados se hace mención a las medidas de prevención: el uso de mascarillas, el aumento de la distancia física interpersonal, la reducción del

tiempo de contacto y la priorización de espacios exteriores. Y se hace especial énfasis en las medidas relacionadas con los aerosoles, que pueden hacer que el virus se quede suspendido en un local durante un tiempo variable, según sea el tamaño de la partícula que transporta este patógeno. Se recogen las siguientes medidas de seguridad:

Dependientes de la persona:

- Reducir la emisión de aerosoles, disminuyendo el tono de voz y/o eliminando el ruido ambiental en lugares públicos, para favorecer hablar en un tono bajo.
- Reducir el tiempo de permanencia en espacios interiores.
- Evitar en la medida de lo posible ambientes interiores concurridos y mal ventilados.

Dependientes del ambiente interior:

- Ventilación natural o mecánica de los espacios interiores. Hay que destacar la necesidad de realizar ventilación cruzada que asegure la renovación del aire interior con aire exterior.

Se aconseja que como mínimo se garantice una aportación de aire exterior de 12.5 litros /s·per y superiores cuando la actividad desarrollada implica la emisión elevada de aerosoles (ejercicio físico, canto, etc.)

- Retención de bioaerosoles y purificación de aire mediante el filtrado de aire, cuando sea posible, en sistemas de ventilación mecánica, o mediante el uso de filtros HEPA en sistemas de purificación autónomos. Cuando no sea posible ninguno de los anteriores, y de forma excepcional, mediante tratamiento de germicidas.

iii. NIVEL DE CO₂ Y RIESGO DE CONTAGIO

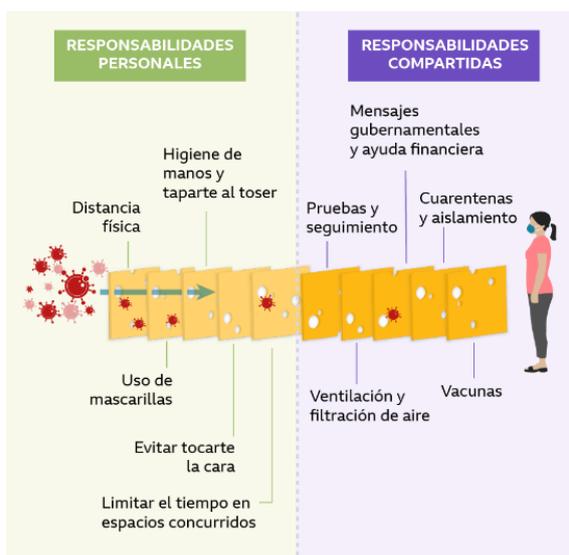


Fig. 05. Modelo del Queso Suizo de Gestión de Riesgos, interpretación publicada por la BBC News Mundo el 16 de noviembre de 2020 de Ian M. Mackay, virólogo y profesor adjunto de la Universidad de Queensland (Australia). (Infografía)

En el esquema (Fig. 05), podemos observar una comparativa entre las medidas de seguridad de propagación y unas lonchas de queso suizo. Éste último

se caracteriza por los orificios que encontramos en la superficie del loncheado, comparándolas con las medidas de seguridad. Con esta forma de representación, se destaca que ninguna de ellas es perfecta por sí sola para evitar el contagio. Así lo destaca el virólogo Ian M. Mackay cuando afirma « Ninguna medida funciona por sí sola, pero todas juntas previenen del riesgo » (Mackay 2020).

El presente estudio se enfocará en las medidas de seguridad que se deben adoptar en espacios interiores referidas a la ventilación y dilución de este agente vírico, sin olvidarnos de las demás medidas que se deben implantar en cualquier centro laboral, como es nuestro caso de estudio.

Al respirar, las personas emiten CO₂ junto con los aerosoles, por lo que la concentración de este gas es un indicador de si el aire de una estancia está limpio o si, por lo contrario, ya ha sido respirado por otras personas.

La presencia de grandes concentraciones de CO₂ pueden resultar ser un indicador directo del riesgo de contagio en espacios interiores. Hablamos de riesgo debido a no existe una relación directa entre un número elevado de CO₂ y la infección. Por probabilidad, si hay alguien infectado en el interior existe mayor riesgo de transmisión por concentración vírica en ambiente.

La adecuada ventilación de estos espacios puede hacer diluir la presencia de aerosoles potencialmente infecciosos. Desarrollaremos a continuación cuales serían las medidas más favorables para la ventilación del espacio interior.

El control sobre las concentraciones de CO₂ tiene dos beneficios:

- Reducir la incidencia de contagio aéreo de enfermedades, no solo las debidas al COVID-19.

- Propiciar espacios activos y saludables. Valores por encima de 1000 ppm favorecen la somnolencia y aletargamiento de ocupantes, disminuyendo así su concentración y actividad.

Esto último, queda recogido en la Guía para ventilación en aulas, lo que es extrapolable a centros de trabajo, (LIFTEC, s. f.). En cualquier caso, en el presente trabajo nos centraremos en la cuestión del riesgo de contagio.

Para la actual situación de emergencia podemos establecer los siguientes valores de referencia (Fig. 06):

- 400 ppm (aprox.), para espacios exteriores al aire libre
- 700 ppm, como límite de riesgo asumible en espacios interiores
- 800 ppm en adelante, como valor que, en espacios interiores suponiendo ya un riesgo para los ocupantes de un local.
- 900 ppm sería el límite establecido por el RITE 2013 para locales categorizados como IDA 2 (centros de trabajos, aulas docentes...)
- 1000 ppm sería el límite recomendado por la OMS para ambientes saludables.



Fig. 06. Límites representados en un semáforo para hacer fácilmente comprensible los valores de nivel de CO₂ y sus riesgos en espacios interiores. Esquema obtenido de la organización Aireamos.org. (Infografía)

El nivel de concentración de CO₂ en un local monitorizado indicará el porcentaje de aire exhalado que se mezcla con el aire limpio interior, dando como resultado un nivel de concentración de CO₂ en el aire de la estancia en ppm. Por ejemplo: si se miden 800 ppm en un local, significa que un 1 % del aire interior será respirado por otras personas.

iv. MARCO NORMATIVO REFERIDO A CALIDAD DE AIRE INTERIOR DE ESPACIOS DE TRABAJO (IAQ)

La normativa española cuenta con los Reglamentos de Instalaciones (en adelante RITE), Normas UNE/ISO y Reglamentos de seguridad y salud.

El RITE_1998 introduce la ventilación controlada y filtrada obligatoria en todo espacio interior de nueva planta, a excepción del uso residencial vivienda. Esto prácticamente supone la exigencia de la ventilación mecánica en los edificios terciarios.

Las Normas UNE/ISO referidas a la ventilación, como la UNE-13779:2008, son una serie de reglas españolas y europeas que no serían de obligado cumplimiento, pero sirven de referencia para los reglamentos anteriores.

Según Reglamentos de seguridad y salud, ya en 1971 con las Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, nuestros centros de trabajo estaban obligados a ventilar al menos 30-50 metros cúbicos por ocupante de aire limpio y mantener un ambiente a entre 17-22 °C. (Ministerio de Trabajo 1971)

Esta ordenanza se derogaría por el RD 486/1997 de Seguridad y Salud en los lugares de trabajo:

<< 3. En los locales de trabajo cerrados deberán cumplirse, en particular, las siguientes condiciones:

- a. La temperatura de los locales donde se realicen trabajos sedentarios propios de oficinas o similares estará comprendida entre 17 y 27 °C. [...]
- b. La humedad relativa estará comprendida entre el 30 y el 70 por 100, [...]
- c. Los trabajadores no deberán estar expuestos de forma frecuente o continuada a corrientes de aire [...]
- d. [...] la renovación mínima del aire de los locales de trabajo será de 30 metros cúbicos de aire limpio por hora y trabajador, [...] >>

Por lo tanto, muchos de los edificios que se encuentran actualmente en uso, ya estaban obligados a cumplir unos

requerimientos básicos en cuanto a calidad de aire interior referidos a la ventilación.

Con el RITE_2007 (Ministerio de la Presidencia 2007), se establece que cuando el uso no se trata de viviendas, es obligatorio adoptar diferentes categorías de calidad de aire. Esta categorización distingue principalmente espacios que están ocupados de forma permanente, de tránsito o donde pasamos poco tiempo o de aquellos que necesitan una calidad de aire superior debido al riesgo que presentan sus los ocupantes.

<<IT 1.1.4.2.2 *Categorías de calidad de aire interior en función del uso de los edificios*

[...] la calidad del aire interior (IDA) que se deberá alcanzar será, como mínimo, la siguiente:

IDA 1 (aire de óptima calidad): hospitales, [...] y guarderías

IDA 2 (aire de buena calidad): oficinas, residencias, [...], aulas de enseñanza y asimilables y piscinas.

IDA 3 (aire de calidad media): edificios comerciales, cines, [...]

IDA 4 (aire de calidad baja)>>

Sabiendo la categoría de calidad de aire interior necesaria, podemos conocer cuál sería el caudal de aire exterior mínimo necesario en dm^3/s per de un determinado local (Fig. 07).

Categoría	dm^3/s por persona
IDA 1	20
IDA 2	12,5
IDA 3	8
IDA 4	5

Fig. 07. Tabla 1.4.2.1. extraída del RITE_2007, respecto a caudales de aire exterior. (Tabla)

Uno de los métodos recogidos en el RITE_2007 para garantizar un caudal mínimo del aire exterior de ventilación y extracción de este aire viciado, con el objetivo de fomentar la renovación de aire filtrado, sería el método directo por

concentración de CO₂ en los locales. (Fig. 08)

Categoría	ppm (*)
IDA 1	350
IDA 2	500
IDA 3	800
IDA 4	1.200

Fig. 08. Tabla 1.4.2.3. extraída del RITE_2007, respecto a la concentración de CO₂ en los locales según la categoría de aire. (Tabla)

En el RITE_2013 (Ministerio de Industria Energía y Turismo 2013), basado en fuentes como UNE-CR 1752 1998 IN, se hace una clasificación de las implicaciones ligadas a intervalos de concentración de CO₂:

<< - 350 ppm: concentración media en el aire exterior (aumenta cerca de 1 ppm por año, por el momento)

-500 a 800 ppm: condiciones de bienestar en los edificios

-1500 ppm: límite superior de las condiciones de bienestar.

-18.000 ppm: concentración máxima en un submarino

-35.000 ppm: problemas de respiración

-45.000 ppm: aire exhalado por una persona

- 85.000 ppm: síntomas de paralización

- 200.000 ppm: mortal en poco tiempo >>

En cuanto a condiciones térmicas RITE_2007 nos indica unos límites de temperatura operativa y humedad relativa que son comunes para espacios con una actividad metabólica sedentaria, con un grado de vestimenta para verano y otro superior en invierno, y con un PPD entre el 10 y 15 %. (Fig. 09)

Estación	Temperatura operativa °C	Humedad relativa %
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

Fig. 09. Tabla 1.4.1.1. extraída del RITE_2007, condiciones interiores de diseño. (Tabla)

Recientemente se ha publicado una modificación del RITE, con fecha de 24 de marzo de 2021 (BOE 2021), cuyas novedades se podrían resumir en:

-Actualizarse al marco legal europeo.

-Incremento de energías renovables.

-Regulación de redes de calor y frío urbanas.

-Mejoras generales de control.

-Asesoramiento Energético a titulares y usuarios.

En relación con el tema que estamos tratando no se contemplan nuevas exigencias.

Tras este repaso de normativa, son muchos los edificios que se quedan fuera de su vigencia y que tienen que hacer frente a la actual situación de emergencia. Entre ellos, avanzando el caso de estudio del presente trabajo, encontramos el Centro Multifuncional Miguel Hernández que, a pesar de su fecha de construcción, son varias las normativas que incumpliría. Estas serán desarrolladas en apartados posteriores del presente documento

Por lo tanto, debemos aclarar que hablaremos de estrategias que debemos llevar a cabo para intentar limitar el riesgo que se tiene dentro de nuestros espacios de trabajo, en esta situación de emergencia, con el objetivo de que los ocupantes tengan la menor capacidad de contraer esta enfermedad, sin comprometer al estrés térmico que puedan llegar a soportar por una ventilación excesiva.

v. ESTABLECER UNA ADECUADA VENTILACIÓN

Como hemos visto anteriormente, el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios establece para espacios con IDA2, 12.5 litros /s·per. Existe otra forma de analizar si un espacio interior cuenta con una adecuada ventilación: emplear la unidad de medida ACH (Air Change per Hour), con la que podemos cuantificar el número de renovaciones hora de un volumen.

El caudal de aire exterior depende de las tasas de renovación ACH y del volumen del local. Según la norma (DIN 1946), para oficinas debemos garantizar una tasa de 4-8 renovaciones por hora. Para la actual situación de pandemia se debería tomar una renovación de 8 veces el volumen del espacio de estudio.

Dada la dificultad para controlar dicha tasa de renovación de aire exterior, se recomienda el uso de monitorización de nivel de concentración de CO₂.

Recientemente, se hizo un estudio similar al presente trabajo (Alonso et al. 2021). Se analizaron las tres principales variables ambientales interiores: nivel de concentración de CO₂, temperatura y humedad relativa, de dos aulas en el sur de España (clima mediterráneo). Con respecto a nuestro caso de estudio se diferencia en que: el sistema de ventilación empleado, ya que se cuenta con un sistema mecánico, dado el año de construcción del edificio (2018) y una ocupación mayor, dado su uso docente.

En éste, se analiza un periodo de época fría, antes y después de la pandemia, recogiendo datos que apuntan a prioridades ambientales que estos espacios demandan según la situación. Antes de la pandemia, los resultados de la monitorización indicaban la importancia que tenía el confort térmico

frente a la calidad de aire interior, recogiendo datos por encima de 1000 ppm. Durante la monitorización entre diciembre y enero de 2021, con la pandemia sobre la mesa, estos datos se tornan, anteponiendo la calidad de aire interior frente a las condiciones de confort ambiental, disminuyendo de media el nivel de concentración de CO₂ unos 300 ppm. Con este tipo de trabajos se quiere transmitir la preocupación de volver a priorizar las condiciones higrotérmicas frente a la calidad de aire interior con la vuelta a la normalidad, consiguiendo de nuevo espacios docentes y/o laborales que no tienen en cuenta la importancia que supone la calidad de aire interior.

vi. EQUILIBRIO ENTRE LA VENTILACIÓN Y LAS CONDICIONES HIGROTÉRMICAS

Aclarada la importancia de ventilar los espacios interiores con el objetivo de diluir la cantidad de CO₂ de ambientes interiores, nos debemos preguntar a hasta qué punto es necesario abrir huecos para la entrada de aire exterior limpio y que esto no afecte a las condiciones térmicas interiores que pueden generar malestar en los ocupantes, reduciendo su capacidad de concentración y por ello perjudicando al desarrollo de actividades laborales.

Dadas las similitudes climáticas y la actividad interior de los espacios de trabajo con las aulas docentes, vale la pena señalar un estudio de investigación de calidad de aire y confort térmico en institutos de Andalucía. (Fernández-Agüera et al. 2019). Se trata de un estudio similar al presente documento pero que se desarrolla en época anterior a la pandemia, que analiza la evolución de variables: CO₂, temperatura y humedad relativa, en el interior de 42 aulas localizadas de 8 edificios escolares

seleccionados de las zonas climáticas más representativas de la Comunidad Autónoma de Andalucía, durante un periodo de invierno y media estación. Al igual que muchos otros centros docentes en Andalucía, no se encuentran equipados con sistemas de climatización que garanticen las recomendadas condiciones térmicas, siendo la ventilación natural el único sistema de ventilación existente. En este estudio realiza un total de 917 encuestas a estudiantes entre 11 y 17 años, relacionando el nivel de malestar con la apertura de huecos. Se observa que hubo un mayor nivel de sintomatologías en los alumnos cuando las ventanas estaban abiertas, a pesar de poseer una mejor calidad de aire interior. Deja claro la necesidad de efectuar un tratamiento de aire exterior antes de introducirlo en el interior, así como la insuficiente ventilación que, por lo general, tienen estas aulas con niveles de CO₂ que superan las 1000 ppm, aun contando con los huecos al exterior abiertos.

Si esto lo trasladamos a nuestro caso de estudio y la actual situación de emergencia, la obligación de adoptar determinados protocolos de ventilación afectaría al adecuado rendimiento de los

usuarios. Una excesiva ventilación de espacios podría llevar a sintomatologías como mareo, irritación de ojos o cansancio, entre otros, síntomas que afectaría al rendimiento de la actividad.

La apertura de huecos hacia el exterior también originará cambios en las condiciones higrotérmicas, acercándose a las del ambiente exterior. En épocas calurosas o frías podrá generarse una desagradable sensación en los trabajadores que impida la correcta concentración. De igual forma, esta apertura podría originar la entrada de agua en días lluviosos o de insectos y otros animales, etc.

Dirigiendo el discurso a edificios con ventilación natural, muchos cuentan con sistemas de climatización independientes, existe el debate en la actualidad sobre su uso y el riesgo de propagación. El uso de sistemas que recirculan el aire del interior de los locales, sin la introducción de aire exterior, añadido el cierre de ventanas y puertas para mantener las condiciones ambientales, aumentaría el riesgo de contagio de los ocupantes.

METODOLOGÍA DEL TRABAJO

Para alcanzar los objetivos definidos en apartados previos seguiremos la metodología de trabajo que se describe en este apartado. En primer lugar, describimos pormenorizadamente el caso de estudio: ubicación, climatología del entorno, uso general del edificio, geometría de los espacios interiores y huecos disponibles.

i. EDIFICIO DE ESTUDIO



Fig. 10. Centro Miguel Hernández, La Puebla de Cazalla (Sevilla) C.P. 41540. Fuente: fotografía realizada por el autor. (Imagen)

Para el desarrollo del estudio se ha optado por el Centro Multifuncional Miguel Hernández ubicado en Av. Dr. Espinosa, no.54, La Puebla de Cazalla, Sevilla (Fig.10). Se trata de un centro que alberga diferentes actividades como

centro ocupacional para personas con discapacidad, administración de asociaciones como Retama, salón de usos múltiples, centro de juventud y espacios coworking llamado Vivero de empresas.

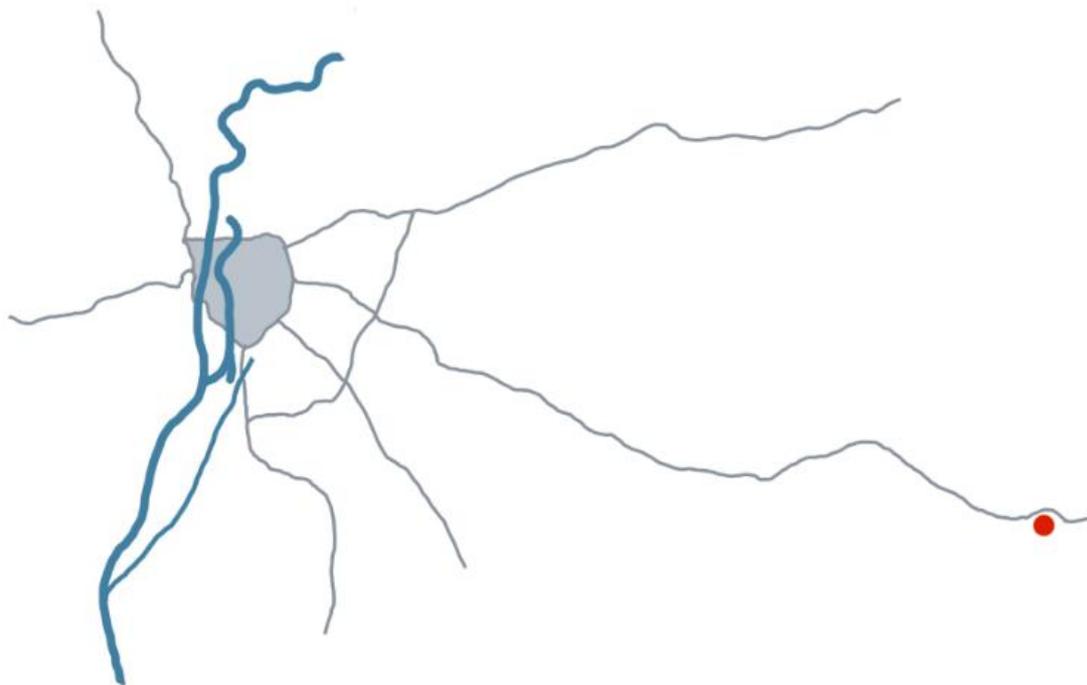


Fig. 11. Emplazamiento de La Puebla de Cazalla (Sevilla) C.P. 41540. Fuente: de elaboración propia basada en Google Earth. Norte ↑. (Esquema)

La Puebla de Cazalla es una localidad de la provincia de Sevilla que se encuentra a unos 70 km aproximadamente, al sureste de la capital andaluza (Fig. 11). Esta zona climática se clasifica como B4 encontrándose a 177 metros sobre el nivel del mar, según la zonificación de rendimiento energético español. Diferentes áreas de la región de Andalucía, incluida Sevilla, están cubiertas de acuerdo con la clasificación climática de Köppen.

Agosto es el mes más cálido del año, con una temperatura media de 27.9 °C, y el mes más frío de media es enero, con una temperatura media de 9.6 °C.

La zona B4 se caracteriza por un clima mediterráneo de verano caluroso (Köppen CSa), con temperaturas superiores a 22 °C, y temperaturas más bien templadas en invierno, con temperaturas mínimas que generalmente se mantienen por encima de 0 °C.

Se trata de un edificio aislado, rodeado de vías rodadas de baja capacidad, inserto en una zona residencial próxima a las instalaciones deportivas de la localidad. (Fig.12). La edificación se expande prácticamente por la totalidad de la parcela de 749 m², con un total de 1.722 m² construidos. La construcción del centro finalizó en el año 2010, según catastro.



Fig. 12. Emplazamiento del Centro Miguel Hernández, La Puebla de Cazalla (Sevilla) C.P. 41540. Fuente: de elaboración propia basada en Google Earth. Norte ↑. (Ortofoto)

ii. CASOS DE ESTUDIO

Seleccionamos dos locales representativos y que se encuentren en uso, dada la situación (Fig. 13):

-El caso A es la administración de Retama. Este local se encuentra en la primera planta con orientación sur y este, dado que se encuentra en el vértice del edificio. (Fig. 14)

- El caso B, es el centro ocupacional. Está ubicado en planta baja y tiene acceso directo desde la calle. Su orientación es norte (Fig. 15).

En ambos locales situamos dispositivos que miden la temperatura, humedad relativa y nivel de CO₂ en el interior.

Realizamos asimismo un control de gestión de la apertura de huecos que, junto a las mediciones de in situ y valores ambientales exteriores, servirá para establecer relaciones y para elaborar las conclusiones del trabajo.



Fig. 13. Centro Miguel Hernández, Espacios caso de estudio: Caso A (A.R.) y Caso B (C.O.) Fuente: fotografía realizada por el autor. (Imagen)

Caso A, Administración de Retama.

Este local se encuentra ocupado por tres trabajadores que usualmente no coinciden simultáneamente. Es posible la visita de, hasta dos usuarios, para hacer consultas, lo que no es demasiado frecuente. Su horario de trabajo se efectúa en dos turnos: de mañana de 09.00 h a 14.00 h y de 16.00 h a 20.00 h de tarde.



Fig. 14. Caso A, interior de la Administración Retama. Fuente: fotografía realizada por el autor. (Imagen)

Caso B, Centro Ocupacional.

Nuestro segundo caso de estudio es utilizado por 9 usuarios (8 + monitor/a) en la actual situación de pandemia, ya que lo usual sería un grupo de mayor número de ocupantes, sin dividir, en diferentes locales del centro. El horario de ocupación es desde las 08.00h a las 16.00h, produciéndose un descanso diario a las 11.00 h, además de visitas de 1 h a otras instalaciones de la localidad.



Fig. 15. Caso B, interior del Centro Ocupacional. (C.O.) Fuente: fotografía realizada por el autor. (Imagen)

iii. SISTEMAS DE VENTILACIÓN Y CLIMATIZACIÓN.

Según la ficha catastral de la edificación, se finalizó su construcción en el año 2010, pero su pausado proceso de licencias llegó a eludir las normativas citadas con anterioridad en el trabajo como RITE_1998 y/o CTE a partir de 2006.

Se contempla como único sistema de ventilación del tipo natural. En cuanto a instalaciones de climatización, está dotado de sistemas de expansión directa con equipos partidos split (solo frío) en el interior de los diferentes locales. (Fig. 16 y 17). En épocas frías es común el uso de calefactores (infrarrojos) debajo de los escritorios de trabajo o radiadores de aceite conectados a la red eléctrica. (Fig. 18)



Fig. 16. Unidades interiores equipo Split en el interior del centro ocupacional de potencia eléctrica de 1000 W cada unidad. (Imagen)



Fig. 17. Unidades exteriores del sistema de expansión directa ubicados en la cubierta del edificio con hueco para la red de conductos por el interior. (Imagen)



Fig. 18. Calefactor eléctrico infrarrojo bajo mesa de trabajo en local de administración de Retama. Fuente: fotografía realizada por el autor. (Imagen)

iv. METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos definidos en apartados previos del documento se sigue la siguiente metodología de trabajo:

1. Selección y caracterización del caso de estudio. Se estudiarán los casos de estudio pormenorizadamente en lo referente a su localización, uso y geometría.
2. Desarrollo de campaña de seguimiento durante siete meses: desde el mes de noviembre 2020 hasta mayo 2021. Se colocan estratégicamente dispositivos de monitorización de las variables ambientales interiores, para conocer niveles de CO₂, humedad relativa y temperatura. Se hace una comparación de estos valores interiores con los valores exteriores aportados por AEMET.
3. Recolección y análisis de datos a debate: protocolos de ventilación, desarrollo de nivel de nivel de CO₂, variables temperatura de aire y humedad relativa de los casos de estudio.

v. MONITORIZACIÓN DE VARIABLES

La base de datos se establece a partir de mediciones in situ de las condiciones ambientales de temperatura del aire, humedad relativa y nivel de concentración de CO₂. El dispositivo utilizado fue el registrador Wöhler CDL210 y la recopilación de datos se configuró para tomar medidas a intervalos de 30 y 60 minutos durante los previstos siete meses del año 20-21, recogiendo así información de las

estaciones: frías, media estación fría y media estación calurosa. (Fig.19)



Fig. 19. Wöhler CDL210. Fuente: fotografía tomada de por el autor. (Imagen)

Los dispositivos de monitoreo se colocaron a una altura de aproximadamente 1.5 m en el perímetro del local lejos de la radiación solar directa y de corrientes de aire para evitar las distorsiones en la recolección de datos, próximo a una toma de corriente eléctrica y sin obstaculizar la actividad de los ocupantes. (Fig. 20 y 21)

En la siguiente tabla se muestran los valores de tolerancias de las medidas de variables tomadas por los dispositivos utilizados. (Fig. 22)

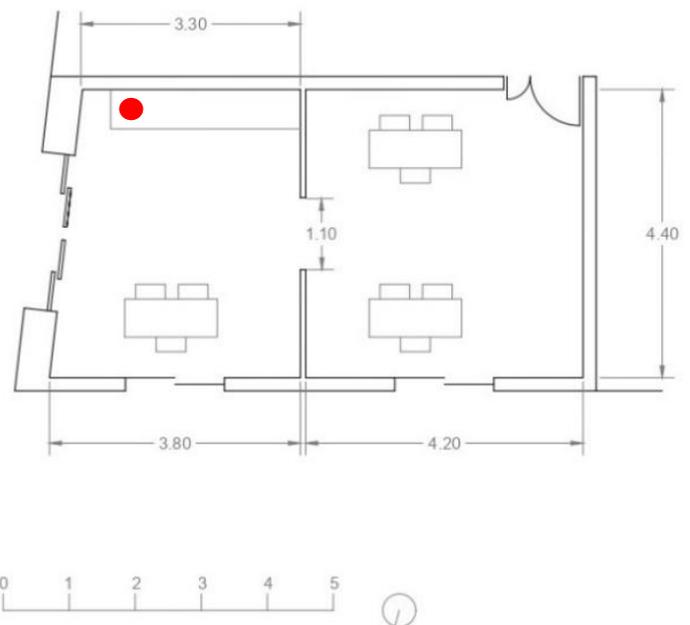


Fig. 20. Ubicación del dispositivo en caso A. Fuente: elaborado por el autor. (Imagen y plano)

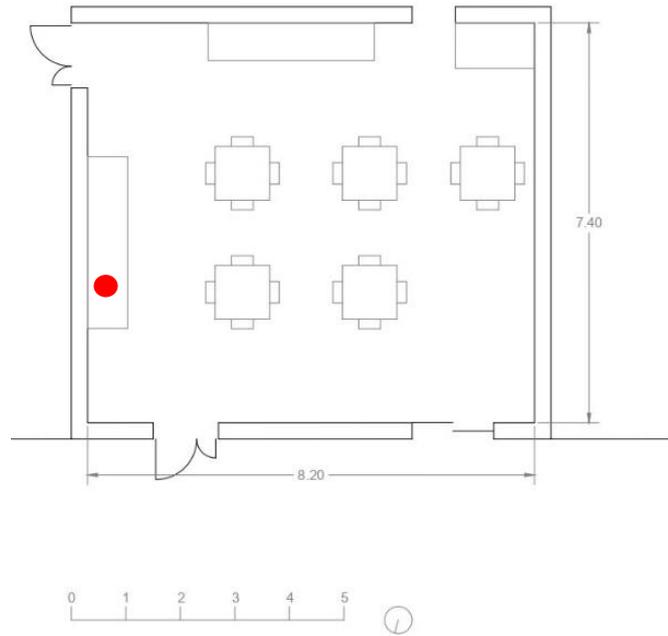


Fig. 21. Ubicación del dispositivo en caso B. Fuente: elaborado por el autor. (Imagen y plano)

MODELO CDL 210 WÖHLER DATA LOGGER				
Parámetros	Unidades	Rango límite	Nivel de precisión	Intervalo de medida
Concentración de CO ₂	ppm	0 a 2000	± 5%	30 – 60 min
Temperatura del aire	° C	-10 a 60	± 0.6	
Humedad relativa	%	5 a 95	± 0.5	

Fig. 22. Características Wöhler CDL 210. Fuente: de elaboración propia tomando datos del catálogo PCE Ibérica S.L. (Tabla)

vii. OCUPACIÓN

Caso A, Administración de Retama

Horario de mañana: 09.00 h a 14.00 h

Horario de tarde: 16.00 a 20.00 h

Número de ocupantes: 3. No coinciden simultáneamente. Máximo de dos trabajadores en el local, pudiendo recibir la visita de hasta dos personas durante el periodo laboral, para hacer consultas o pedir información.

Caso B, Centro Ocupacional

Horario de ocupación: 08.00 h a 16.00 h

Número de ocupantes: 9 (8 + monitor/a)

Este local cuenta con un horario semanal (Fig. 24) con las diferentes actividades que realizan los usuarios. Encontramos horas donde se realizan actividades fuera del local como descansos o visitas a otras instalaciones de la localidad, actividades sedentarias y otras que requieren de movimiento físico de los usuarios. Estas consideraciones se tendrán en cuenta en el análisis de resultados de monitoreo ya que nos pueden ayudar a la comprensión de valores de concentración de CO₂ diario.

HORARIO 2021 CENTRO OCUPACIONAL LA PUEBLA DE CAZALLA					
HORAS	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
8:00 - 8:30	ENTRADA, MONTAJE DESAYUNO	ENTRADA, MONTAJE DESAYUNO	ENTRADA, MONTAJE DESAYUNO	ENTRADA, MONTAJE DESAYUNO	ENTRADA, MONTAJE DESAYUNO
8:30 - 9:00	RECOGIDA FURGONETA DESAYUNO	RECOGIDA FURGONETA DESAYUNO	RECOGIDA FURGONETA DESAYUNO	RECOGIDA FURGONETA DESAYUNO	RECOGIDA FURGONETA DESAYUNO
9:00 - 10:00	MONTAJE COMEDOR/ ASEO PERSONAL	MONTAJE COMEDOR/ ASEO PERSONAL	MONTAJE COMEDOR/ ASEO PERSONAL	MONTAJE COMEDOR/ ASEO PERSONAL	MONTAJE COMEDOR/ ASEO PERSONAL
10:00 - 11:30	GUADALINFO/BIBLIOTECA/TALLER DE NOTICIAS/MANUALIDADES	PABELLÓN/DEPORTES	GUADALINFO/BIBLIOTECA/TALLER DE NOTICIAS/MANUALIDADES	PABELLÓN/DEPORTES	¿VIAJAS CONMIGO?
11:30 - 12:00	DESCANSO	DESCANSO	DESCANSO	DESCANSO	DESCANSO
12:00 - 13:00	TALLER ARTÍSTICO/RECICLAJE	¿VIAJAS CONMIGO?	TALLER DE MEMORIA	¿VIAJAS CONMIGO?	MERCADILLO
13:00 - 14:00	TALLER DE MEMORIA	TALLER DE HABILIDADES INSTRUMENTALES	TALLER DE MEMORIA	TALLER DE HABILIDADES INSTRUMENTALES	JUEGOS
14:00 - 15:00	ALMUERZO	ALMUERZO	ALMUERZO	ALMUERZO	ALMUERZO
15:00 - 16:00	ASEO PERSONAL/REPARTO FURGONETA/SALIDA	ASEO PERSONAL/REPARTO FURGONETA/SALIDA	ASEO PERSONAL/REPARTO FURGONETA/SALIDA	ASEO PERSONAL/REPARTO FURGONETA/SALIDA	ASEO PERSONAL/REPARTO FURGONETA/SALIDA

Fig. 24. Calendario de monitorización de casos de estudio. Fuente: de elaboración propia. (Tabla)

viii. HUECOS DISPONIBLES

A continuación, se estudian los huecos disponibles en los dos casos de estudio, para comprobar cuál sería la superficie real de apertura para estos espacios que ayudaría a su ventilación.

Caso A (A.R.)

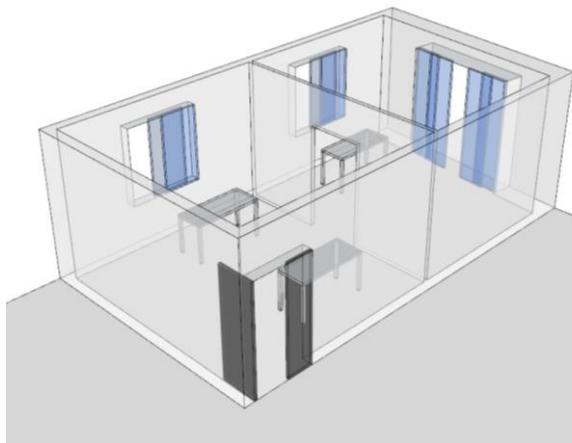


Fig. 25. Volumetría general del local A. Fuente: elaborado por el autor. (Imagen)

Para el primer caso (Fig. 25), disponemos de un total de tres huecos en fachada. Dos de ellos darían frente a la Calle Piyaya (fachada este del edificio), con una superficie de hueco de 2.25 m² de superficie (1.5 x 1.5 m). Estaría a 0.80 m respecto al suelo, montando una carpintería de aluminio de doble hoja corredera que proporciona una apertura real de 0.91 m² (Fig. 26). El tercer hueco lo encontraríamos en la fachada sur (Avd. Dr. Espinosa), su superficie es mayor: 6.25 m² (2.5 x 2.5 m) y arranca desde el suelo. Está compuesta por cuatro hojas correderas que podrían abrir dos hojas con una apertura real de 2.73 m² (Fig. 27). La puerta de acceso a la administración es de 1.30 x 2.10 m. Conecta el local con el pasillo de distribución general de la planta primera.



Fig. 26. Hueco de la fachada este (A.R.)

Fig. 27. Hueco de la fachada sur (A.R.).

Fuente: fotografía realizada por el autor (Imágenes)

Caso B (C.O.)

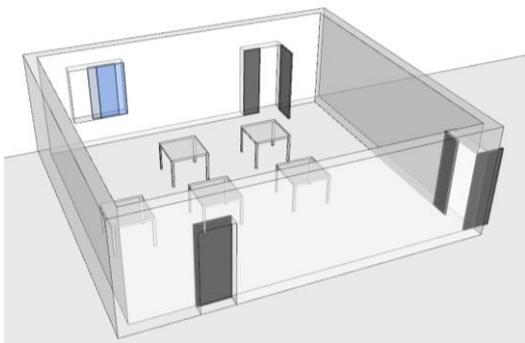


Fig. 28. Volumetría general del local A. Fuente: elaborado por el autor. (Imagen)

En el segundo caso (Fig. 28 y 33), disponemos de dos huecos hacia el exterior, ventana y puerta de acceso, que dan frente a la Calle Baños, fachada norte del edificio. Cuenta con una ventana de superficie 2.25 m^2 ($1.5 \times 1.5 \text{ m}$), de doble hoja corredera (Fig. 29) y una puerta de acceso directo a la vía pública de $1.30 \times 2.10 \text{ m}$ (Fig. 30). Ésta se utiliza como entrada y salida de usuarios.

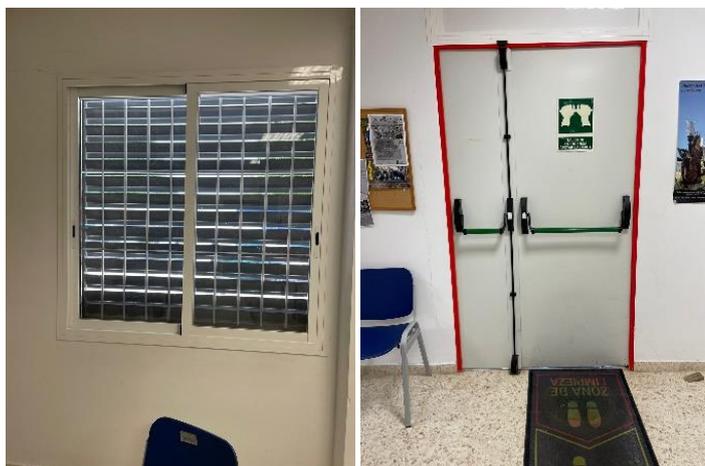


Fig. 29. Ventana a C/Baños (C.O.)

Fig. 30. Puerta de acceso de (C.O.)

Fuente: fotografía realizada por el autor (Imágenes)

En el interior se encuentran dos puertas: la de acceso directo al pasillo de distribución general de esta zona de planta baja, de $1.30 \times 2.10 \text{ m}$ (Fig. 31), y otra de acceso a un pequeño almacén que, por normal general, siempre permanece cerrada (Fig. 32).



Fig. 31. Puerta acceso pasillo (C.O.)

Fig. 32. Puerta del almacén (C.O.)

Fuente: fotografía realizada por el autor (Imágenes)



Fig. 33. Vista interior del Centro Ocupacional.

Fuente: fotografía realizada por el autor (Imagen)

ix. PROTOCOLOS DE VENTILACIÓN

Para hacer una lectura completa de los valores recogidos por los dispositivos, se ha ido recogiendo los horarios de apertura y cierre de huecos del interior de los locales. Gracias a la ayuda del conserje del edificio, podemos conocer a grandes rasgos cuales han sido los protocolos de ventilación que se han seguido durante la ocupación de los casos de estudio.

Caso A (A.R.)

Para el caso de la administración, durante el periodo de ocupación todas las ventanas se mantienen semiabiertas y la puerta de acceso totalmente abierta (Fig. 34). Debido a que las ventanas de este local son de dos tipos, se establecen diferentes formas de aperturas. Para el caso de las dos ventanas de igual dimensión, se desliza una de las hojas

aproximadamente 30 cm, y para el hueco de mayor dimensión se abren dos de las hojas disponibles unos 10 cm, aproximadamente.

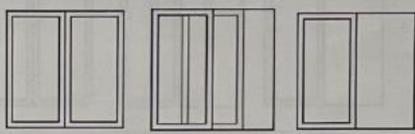
Caso B (C.O.)

En el Centro Ocupacional, durante el periodo de ocupación la única ventana disponible se mantiene semiabierta y la puerta de acceso a la calle cerrada, a excepción de la entrada o salida de ocupantes (Fig. 35). La puerta de acceso interior se mantiene abierta durante toda la monitorización y la del almacén por lo general cerrada.

La única ventana hacia el exterior se mantiene semiabierta durante la ocupación del local aproximadamente 30 cm. Al terminar la jornada se cierra este hueco.

Marcar con una (X)

NOVIEMBRE
Administración Retama



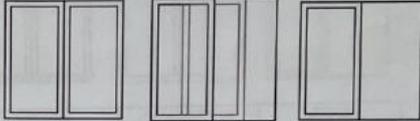
DÍA	FECHA	HORA APERTURA	HORA DE CIERRE	CERRADA	SEMIABIERTA	ABIERTA
1	09/11/2020	9:10 h	14:05 h		X	
2	10/11/2020	8:58 h	14:00 h		X	
3	11/11/2020	9:00 h	14:13 h		X	
4	12/11/2020	9:15 h	14:10 h		X	
5	13/11/2020	9:10 h	14:10 h		X	
6	16/11/2020	9:00 h	14:15 h		X	
7	17/11/2020	9:00 h	14:10 h		X	
8	18/11/2020	9:00 h	14:12 h		X	
9	19/11/2020	9:05 h	14:10 h		X	
10	20/11/2020	9:00 h	14:00 h		X	
11	23/11/2020	8:00 h	14:12 h		X	
12	24/11/2020	8:00 h	14:00 h		X	
13	25/11/2020	9:00 h	14:00 h		X	
14	26/11/2020	9:00 h	14:05 h		X	
15	27/11/2020	9:00 h	14:00 h		X	
16	30/11/2020	9:00 h	14:10 h		X	

Puerta entrada abierta
" " "
" " "
" " "
" " "
" " "
" " "
" " "
" " "
" " "
" " "
" " "
" " "
" " "
" " "

Fig. 34. Fichas de control de apertura de huecos para el caso A. Ejemplo del mes de noviembre. Fuente: datos recogidos por el conserje del edificio (Imagen)

Marcar con una (X)

NOVIEMBRE
Centro ocupacional



DÍA	FECHA	HORA APERTURA	HORA DE CIERRE	CERRADA	SEMIABIERTA	ABIERTA
1	09/11/2020	8:00 h	16:05 h		X	
2	10/11/2020	8:00 h	16:00 h		X	
3	11/11/2020	8:00 h	16:00 h		X	
4	12/11/2020	8:00 h	16:00 h		X	
5	13/11/2020	8:00 h	16:00 h		X	
6	16/11/2020	8:00 h	16:00 h		X	
7	17/11/2020	8:00 h	16:00 h		X	
8	18/11/2020	8:00 h	16:00 h		X	
9	19/11/2020	8:00 h	16:00 h		X	
10	20/11/2020	8:00 h	16:00 h		X	
11	23/11/2020	8:00 h	16:00 h		X	
12	24/11/2020	8:00 h	16:00 h		X	
13	25/11/2020	8:00 h	16:00 h		X	
14	26/11/2020	8:00 h	16:00 h		X	
15	27/11/2020	8:00 h	16:00 h		X	
16	30/11/2020	8:00 h	16:00 h		X	

Puerta Pasillo abierta
" " "
" " "
" " "
" " "
" " "
" " "
" " "
" " "
" " "
" " "
" " "
" " "
" " "
" " "
" " "

Fig. 35. Fichas de control de apertura de huecos para el caso B. Ejemplo del mes de noviembre. Fuente: datos recogidos por el conserje del edificio (Imagen)

Esta recopilación de datos nos ha servido para conocer los protocolos de ventilación de forma general, pero no ha llegado al nivel de detalle que se requería. Hubiera sido interesante conocer casos extraordinarios en los que se necesita una mayor apertura o cierre

de huecos, tomando la hora de los hechos y siendo recogidos por los propios ocupantes y sus necesidades en casos especiales.

x. VARIABLES EXTERIORES

La obtención de variables interiores de los casos monitorizados: nivel de concentración de CO₂ (ppm), temperatura (° C) y humedad relativa (%), se complementará con los valores ambientales exteriores aportados por AEMET. Para la obtención de datos se ha procedido a la solicitud de prestaciones en la sede electrónica de la agencia estatal firmada por el departamento Construcciones Arquitectónicas I de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Sevilla.

Esta recogida de datos proviene de la estación meteorológica disponible más cercana y acorde al edificio del estudio.

Se trata de la estación cuya referencia es 5998X ubicada en la ciudad próxima de Osuna, Sevilla, a una altitud de 255 m. La localidad en la que se encuentra nuestro edificio está a una altitud de 177 m, por lo que los valores recogidos por esta estación son los más próximos a nuestro caso.

En la gráfica (Fig. 36) se representa los valores obtenidos por AEMET en cuanto a condiciones ambientales exteriores: la humedad relativa se representa en color azul a la izquierda del eje y, y temperatura en rojo en el lado derecho. Se expresan valores medios, máximos y mínimos durante toda la campaña de monitorización, de noviembre 2020 a mayo 2021.

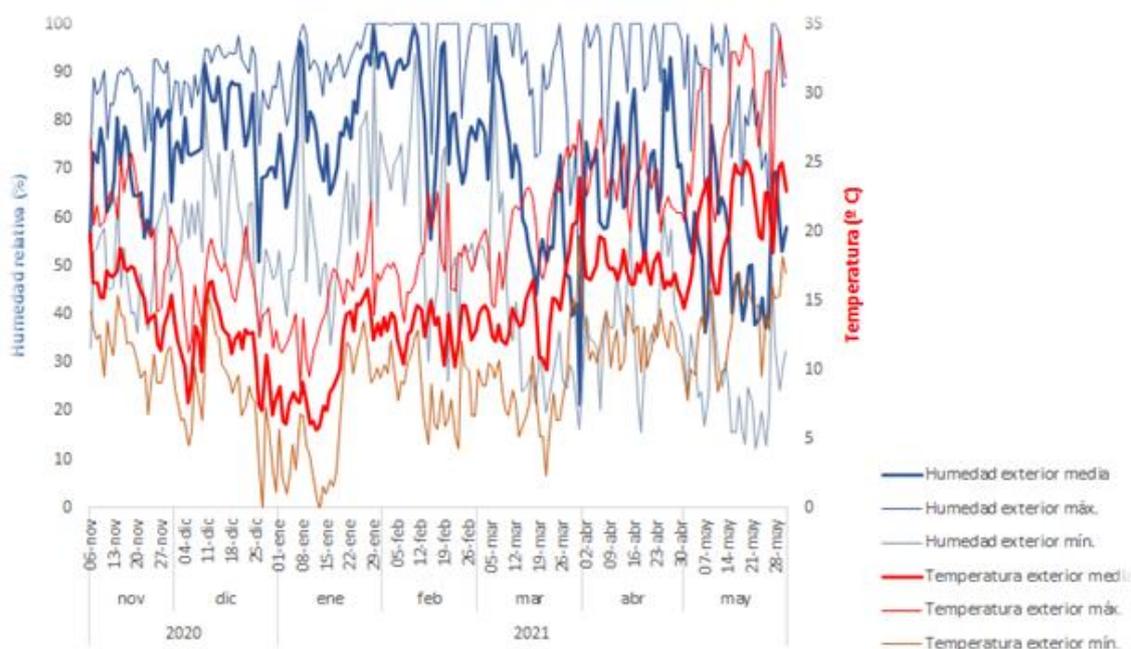


Fig. 36. Gráfica de los valores de temperatura y humedad relativa exteriores. Fuente: datos extraídos de AEMET y transcritos a gráficas de elaboración propia. (Gráfica)

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado del trabajo haremos un análisis de los valores ambientales recogidos durante la campaña de monitorización. Se han seleccionado como más representativos para el estudio los resultados de los meses de enero, marzo y mayo de 2021 (periodo frío, media estación fría y calurosa). Dentro de estos meses se han seleccionado semanas características. En el anejo II, se presentan los resultados diarios representativos.

i. EVOLUCIÓN DE NIVEL DE CO₂, TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

A continuación, se representan las gráficas de la evolución de los valores recogidos por la campaña de monitorización en diferentes periodos temporales. Éstos se compararán con las condiciones ambientales exteriores aportados por AEMET, así como con valores recomendados en cuanto protocolos de ventilación y confort higrotérmico. Tras el análisis gráfico de los valores recogidos en cada periodo, se muestra una tabla comparativa de los dos casos, donde se recogen valores máximos, mínimos, medios y el número de horas donde se encuentran por debajo, dentro o por encima de los límites recomendados.

El análisis de resultados sigue el siguiente esquema:

- Datos mensuales: enero, marzo y mayo de 2021 (periodo cada dos meses).
- Datos semanales: 3ª semana de enero, 3ª semana de marzo y 4ª semana de mayo
- Datos diarios: 14 de enero, 17 de marzo y 20 de mayo (Anejo II)

VALORES MONITORIZADOS EN EL MES DE ENERO (REPRESENTATIVO DE INVIERNO)

Caso A, enero 2021

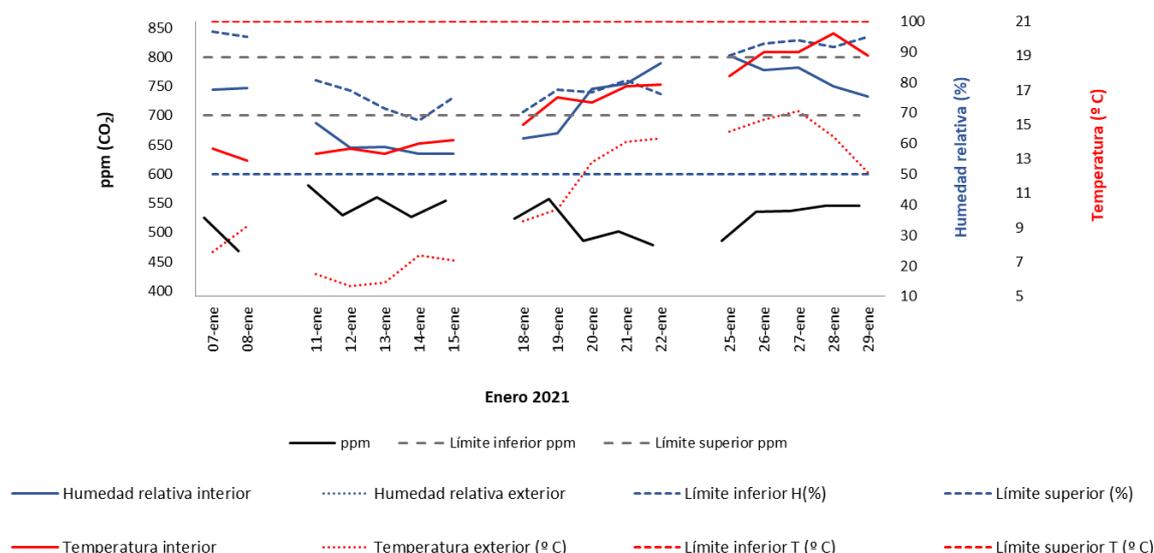


Fig. 37. Gráfica comparativa de valores recopilados durante la monitorización y comparación con valores recomendados, caso A enero 2021. Fuente: gráfica de elaboración propia. (Gráfica).

Tanto en la gráfica anterior (Fig. 37) como en las siguientes, se hace una representación de los valores obtenidos durante la campaña de monitorización de los casos de estudio. En el eje x de la gráfica se hace un barrido por el periodo en el que los casos de estudio se encuentran ocupados, excluyendo fines de semana o festivos y horas fuera del horario de trabajo. En el eje y se representan: en color negro el nivel de concentración de CO₂ (ppm); en azul los valores referentes a la humedad relativa (%); y en rojo los valores de temperatura (° C). Las líneas continuas representarían los valores interiores obtenidos por los dispositivos *data logger* y en línea punteada aquellos referentes a valores ambientales exteriores aportados por AEMET. Por último, en líneas discontinuas se presentan las franjas recomendadas para locales seguros y condiciones higrotérmicas adecuadas.

Para fijar los límites seguimos los siguientes criterios:

- Nivel de concentración de CO₂ para espacios seguros en la actual situación pandemia, con valores por debajo de la franja recomendada: 700 a 800 ppm. Para el actual trabajo, una vez analizado los datos recogidos, establecemos como límite 700 ppm en las tablas finales del cómputo de horas. Esto se debe a que en esta recopilación de datos son pocos los valores que lo superan, por lo que para que sea más representativo tomaremos como valor límite 700 ppm. Debemos aclarar que el nivel de concentración de CO₂ del aire exterior depende del nivel de contaminación del entorno y lo normal es que se sitúe alrededor de 400 ppm.

- Condiciones higrotérmicas según RITE: temperatura interior entre 21 – 25 °C y humedad relativa entre 40 - 60 % según la estación a debate.

Además, se debe tener en cuenta los diferentes sistemas de calefacción y refrigeración de los dos locales de estudio. Para el caso de la administración, en época fría se utilizan calefactores eléctricos infrarrojos debajo de los escritorios de trabajos, contaríamos con tres unidades en total. En época calurosa, dos equipos splits (solo refrigeración) encendidos durante el periodo de ocupación. Para el segundo caso de estudio, el centro ocupacional cuenta con cuatro unidades de radiadores eléctricos de aceite en época fría y 3 equipos interiores de refrigeración para periodos calurosos.

En la gráfica se puede comprobar que el nivel de CO₂ se encuentra siempre por debajo de la franja límite recomendada, con un valor medio de 475 ppm durante el mes de enero. En ninguna de las horas de la monitorización estaría por encima del límite superior recomendado de 700-800 ppm. Por lo tanto, se comprueba que se trata de un local que cuenta con una adecuada ventilación en esta situación.

En cambio, en cuanto a valores higrotérmicos, la temperatura media mensual durante el horario laboral del local está en torno a los 15 °C, seis grados por debajo de la franja límite de temperatura recomendada. Aproximándose a la media de temperatura exterior durante el mes de enero que fue de 10 °C. La humedad relativa media mensual interior, durante el periodo de ocupación, estaría en torno a 65.5 %, superando el límite establecido por el RITE, en invierno, entre 40-50 %, condicionada por los valores exteriores de media entorno al 80%.

Se observa que durante este periodo del mes las condiciones ambientales del interior están por debajo de las recomendadas, dificultando la adecuada concentración de los usuarios y con ello su actividad laboral. Los empleados de la administración cuentan con calefactores infrarrojos encendidos durante las horas de ocupación. Como podemos comprobar, este tipo de equipos no

satisfacen las condiciones de confort necesarias en un espacio de trabajo, además de una nula eficiencia energética.

Como resumen del mes de enero podemos comentar que se trata de un espacio adecuadamente ventilado para la actual situación, que prioriza la calidad de aire a las condiciones higrotérmicas

Caso B, enero 2021

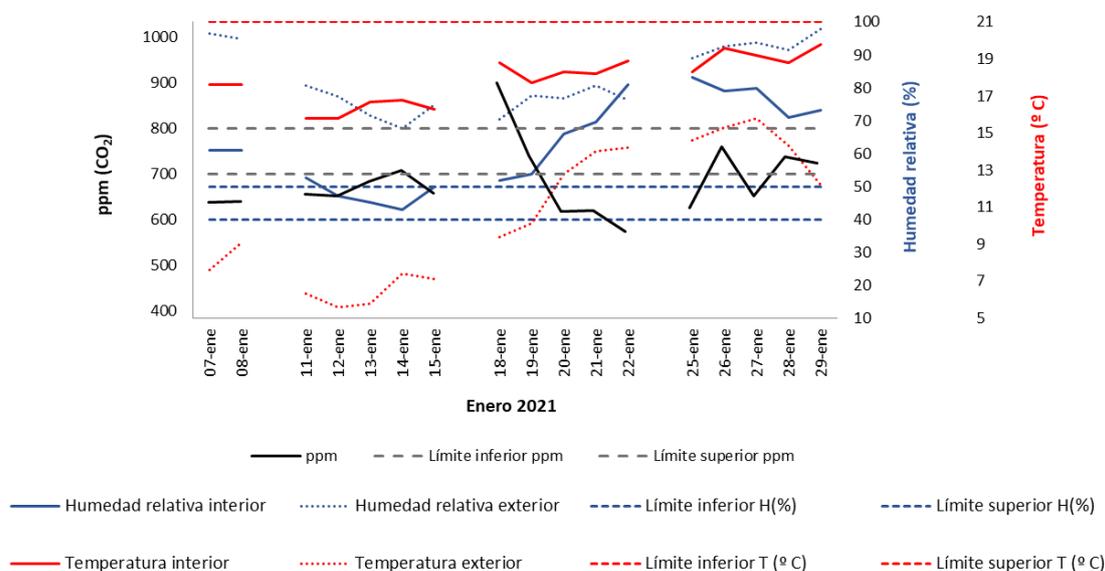


Fig. 38. Gráfica comparativa de valores recopilados durante la monitorización y comparación con valores recomendados, caso B enero 2021. Fuente: gráfica de elaboración propia. (Gráfica).

En la gráfica (Fig. 38), observamos que el nivel de CO₂, se encuentra de forma general por debajo de la franja límite recomendada, pero existen días donde el valor de concentración supera los 700 ppm, con valor medio de 546 ppm, durante el horario de ocupación. Debido a que son pocas veces las que se superaría estos límites, podríamos considerar el caso B adecuadamente ventilado según los datos recogidos.

En cuanto a valores higrotérmicos, como en el caso A, la temperatura interior media del mes estaría por debajo de la franja recomendada con un valor de 16.2

°C. Como hemos comentado, la temperatura media exterior de enero estuvo en torno a los 10 °C, situándose la interior por encima de ella, pero sin llegar a conseguir las condiciones de confort recomendadas, siempre valores por debajo de los 21 °C, incluso con los radiadores eléctricos de aceite (único sistema de calefacción). La humedad relativa media de este periodo estaría en torno a 57.5 %, superando el límite entre 40-50%. La media de humedad relativa exterior de este mes fue del 80%, quedando lejos de los valores recogidos durante el horario del local.

Al igual que en el caso A, se prioriza la seguridad al confort térmico.

Tabla comparativa en la estación fría

En la tabla (Fig. 39), se compara el valor máximo, mínimo y medio de las tres

variables monitorizadas y el número de horas que no se alcanza, se sobrepasa o se mantiene dentro de los valores establecidos como límites. Estos valores fueron recogidos durante las horas de ocupación de los casos de estudio.

	CASO A			CASO B		
	CO ₂	T (°C)	H (%)	CO ₂	T (°C)	H (%)
Máx.	580	20.3	88.9	900	19.8	83.3
Mín.	416	9.5	48.7	415	11.7	38.9
Medio	474.32	14.45	65.45	546	16.24	57.5
Horas > 700 ppm	0			6		
Horas < 21 °C		180			144	
Horas < 21 °C y > 25 °C		0			0	
Horas > 25 °C		0			0	
Horas < 30 %			0			0
Horas < 30 % y > 50 %			9			56
Horas > 50 %			171			88
Horas totales	180			144		

Fig. 39. Tabla comparativa de variables durante el mes de enero 2021. Fuente: elaboración propia. (Tabla).

VALORES MONITORIZADOS EN LA 3ª SEMANA DE ENERO (REPRESENTATIVO DE INVIERNO)

Caso A, 3ª semana de enero 2021

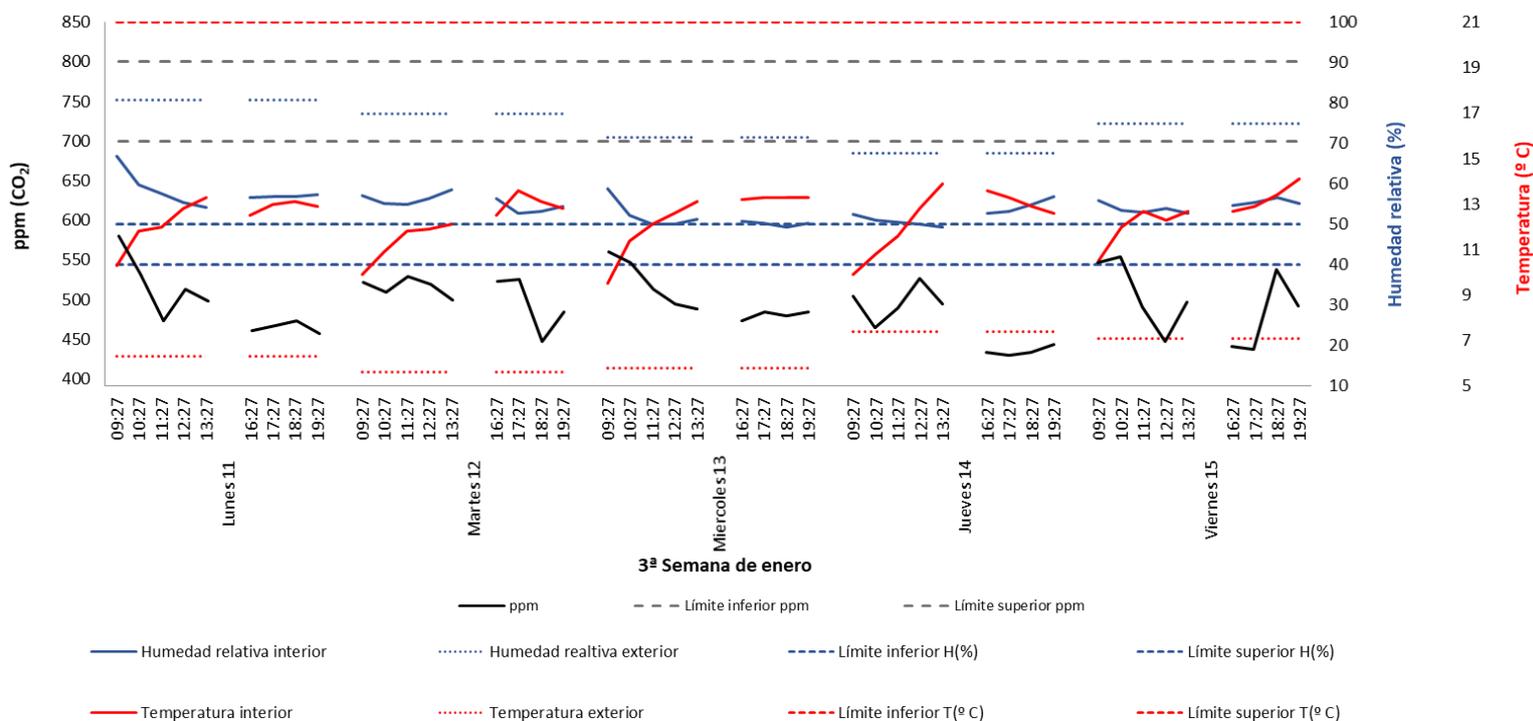


Fig. 40. Gráfica comparativa de valores recopilados durante la monitorización y comparación con valores recomendados, caso A semana de enero. Fuente: gráfica de elaboración propia. (Gráfica).

En la gráfica semanal (Fig. 40), podemos comprobar nuevamente que el nivel de CO₂, se encuentra siempre por debajo de la franja límite recomendada, con valor medio de 493 ppm durante esta semana de enero. Ninguna de las horas de la monitorización estaría por encima de los 700 ppm recomendadas, por lo tanto, se comprueba que se trata de un local que cuenta con una adecuada ventilación.

En cambio, en cuanto a valores higrotérmicos, la temperatura interior media de esta semana del mes estaría entorno a los 12.4 °C, por debajo de la franja de temperatura recomendada. La temperatura exterior media fue de 6.5 °C, fue una semana fría y las condiciones interiores fueron afectadas. La humedad

relativa media de este periodo estaría en torno a 54.30 %, superando el límite entre 40-50 %, quedándose lejos de la media exterior de 74.5 %. Se observa que durante esta semana las condiciones ambientales del interior de este local están por debajo de las recomendadas, incluso teniendo encendidos los equipos de calefacción individuales, dificultando la concentración de los usuarios y con ello la actividad laboral.

Como resumen de la 3ª semana del mes de enero podemos comentar que se trata de un espacio adecuadamente ventilado para la actual situación, que prioriza la seguridad a las condiciones higrotérmicas.

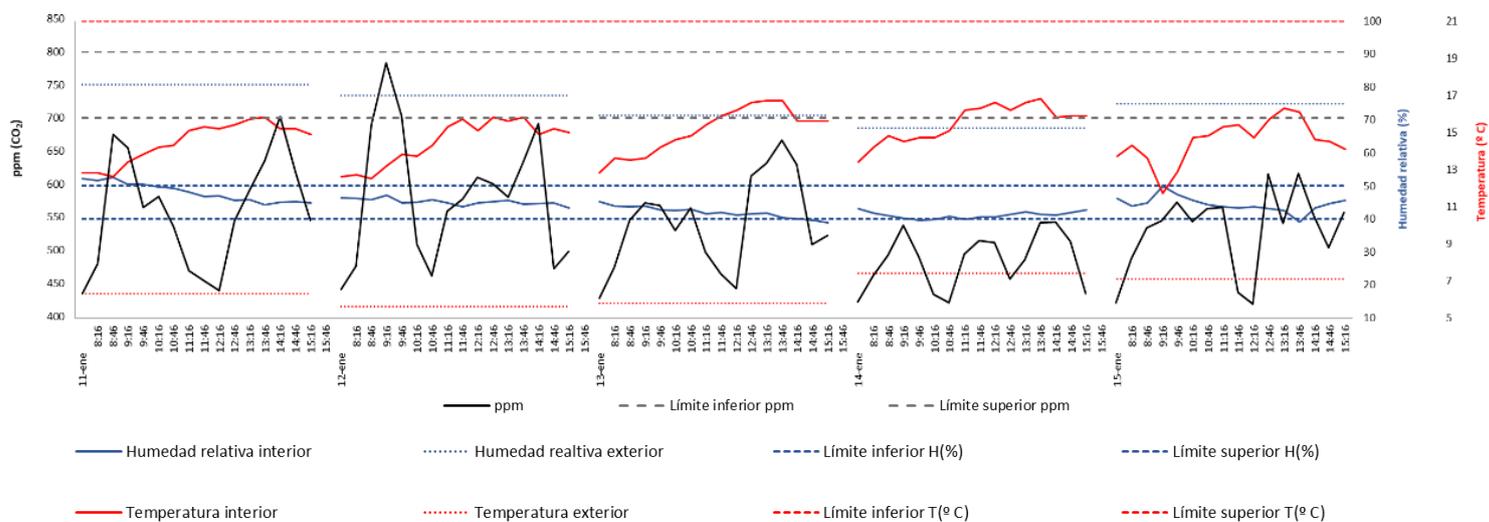


Fig. 41. Gráfica comparativa de valores recopilados durante la monitorización y comparación con valores recomendados, caso B semana de enero. Fuente: gráfica de elaboración propia. (Gráfica).

En la gráfica (Fig. 41), se observa que el nivel de CO_2 , se encuentra de forma general por debajo de la franja límite recomendada, solo existe un día donde el valor de concentración supera los 700-800 ppm, con valor medio de 550 ppm durante este periodo de ocupación. Consideramos que el caso B se encuentra adecuadamente ventilado según los datos recogidos.

En cuanto a valores higrotérmicos, como en el caso A, la temperatura interior

media de la semana estaría por debajo de la franja recomendada con un valor de $12.4\text{ }^\circ\text{C}$, superando la media exterior de $6.5\text{ }^\circ\text{C}$ y calefactores encendidos. La humedad relativa media de este periodo estaría en torno a 54.3% , superando el límite entre $40\text{-}50\%$, y una media exterior superior de 74.5% .

Al igual que en el caso A, se prioriza la seguridad al confort térmico.

Tabla comparativa estación fría

Fig. 42.

	CASO A			CASO B		
	CO ₂	T (°C)	H (%)	CO ₂	T (°C)	H (%)
Máx.	580	14.1	66.8	707	16.8	52.6
Mín.	430	9.5	49.3	427	11.7	28.9
Medio	493	12.4	54.32	550	14.8	44.17
Horas > 700 ppm	0			1		
Horas < 21 °C		45			40	
Horas < 21 °C y > 25 °C		0			0	
Horas > 25 °C		0			0	
Horas < 30 %			0			0
Horas < 30 % y > 50 %			4			37
Horas > 50 %			41			3
Horas totales		45			40	

Fig. 42. Tabla comparativa de variables durante semana de enero 2021. Fuente: elaboración propia. (Tabla).

VALORES MONITORIZADOS EN EL MES DE MARZO (REPRESENTATIVO DE MEDIA ESTACIÓN)

Caso A, marzo de 2021

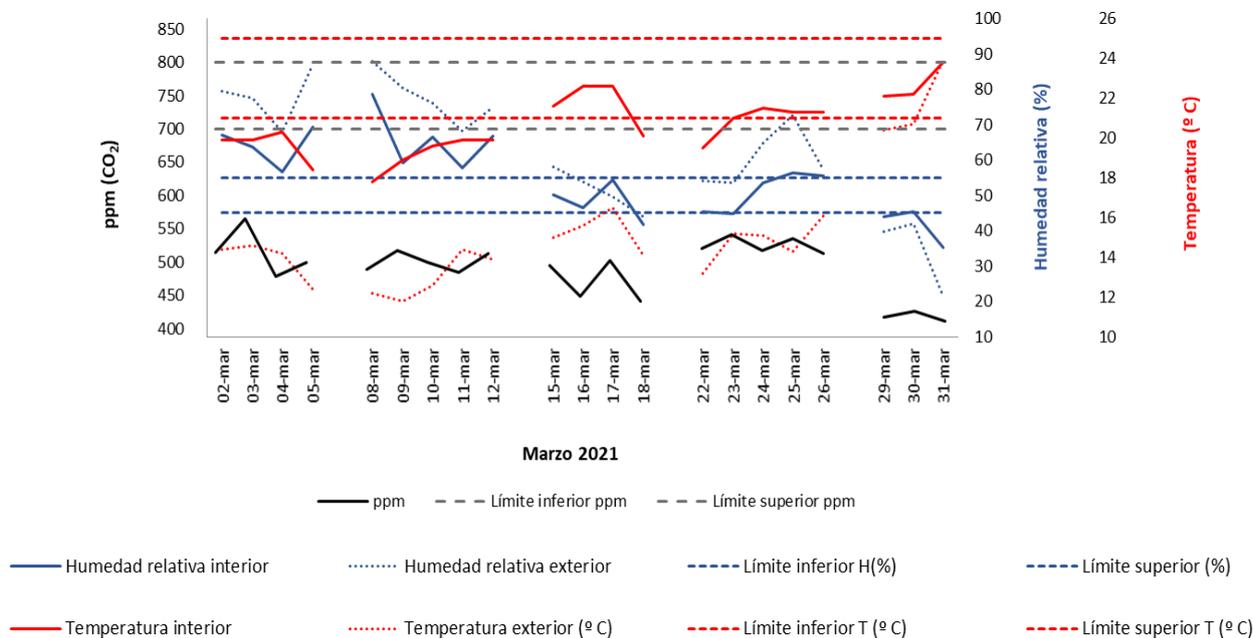


Fig. 43. Gráfica comparativa de valores recopilados durante la monitorización y comparación con valores recomendados, caso A durante el mes de marzo. Fuente: gráfica de elaboración propia. (Gráfica).

En la gráfica (Fig. 43), se puede comprobar que el nivel de CO₂ se encuentra siempre por debajo de la franja límite recomendada, con un valor medio de 460 ppm durante el mes de marzo. En ninguna de las horas de la monitorización estaría por encima del límite superior recomendado de 700-800 ppm. Por lo tanto, se comprueba que se trata de un local que cuenta con una adecuada ventilación en esta situación.

En cuanto a valores higrotérmicos, la temperatura media mensual durante el horario laboral del local está en torno a los 19.2 °C, dos grados por debajo de la franja límite de temperatura recomendada, y por encima de la media de temperatura exterior durante el mes que fue de 14.7 °C. La humedad relativa

media mensual interior durante el periodo de ocupación estaría en torno a 65.5 %, por debajo del límite establecido por el RITE durante media estación entre 45-55 %, afectada por los valores exteriores de media entorno al 63.3 %. Se observa que, las condiciones ambientales del interior están por debajo de las recomendadas, incluso encendidos los sistemas de calefacción individuales, dificultando la adecuada concentración de los usuarios, y con ello su actividad laboral.

Como resumen del mes de marzo podemos comentar que se trata de un espacio adecuadamente ventilado para la actual situación, que prioriza la calidad de aire a las condiciones higrotérmicas

Caso B, marzo de 2021

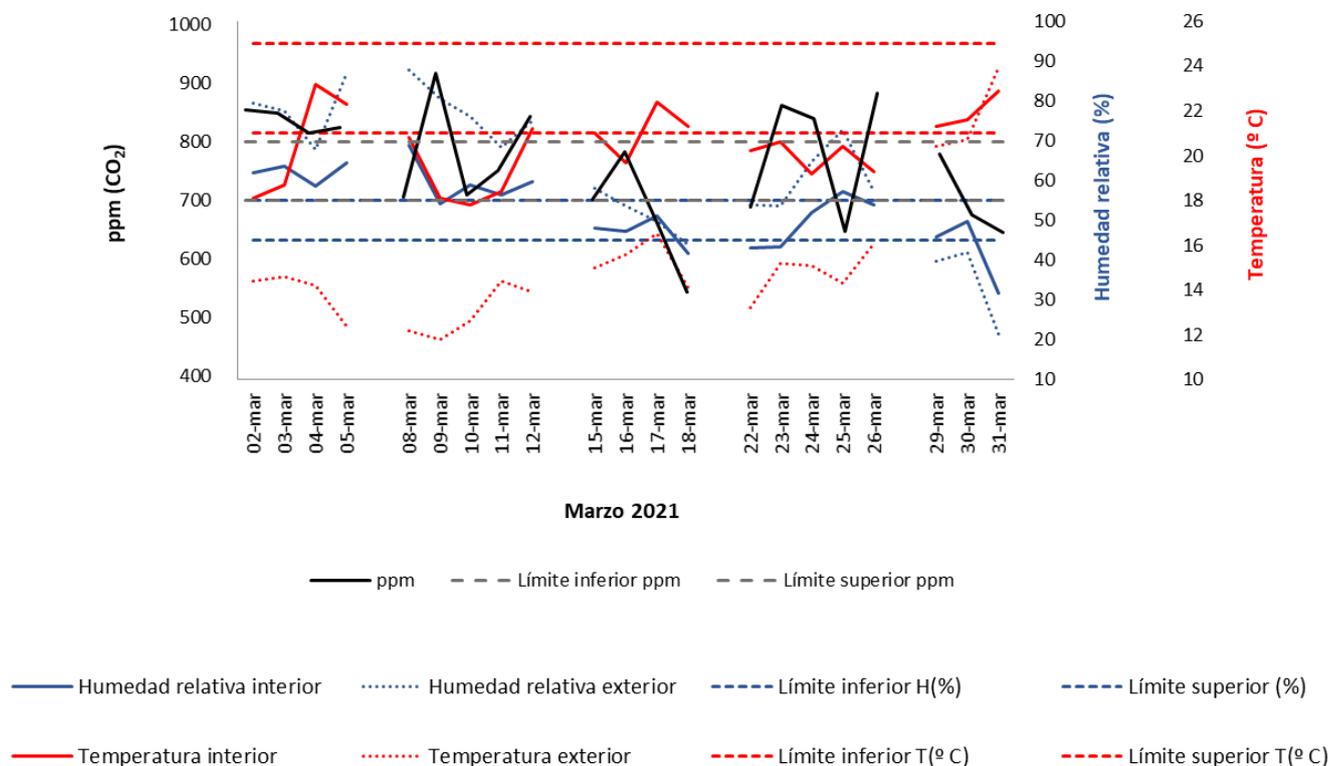


Fig. 44. Gráfica comparativa de valores recopilados durante la monitorización y comparación con valores recomendados, caso B durante el mes de marzo. Fuente: gráfica de elaboración propia. (Gráfica).

En la gráfica (Fig. 44), observamos que el nivel de CO₂, se encuentra de forma general dentro de la franja límite recomendada, pero existen días donde el valor de concentración supera los 800 ppm, con un valor medio de 580 ppm durante el horario de ocupación. Debido a que son pocas veces las que se superaría el límite de 800 ppm, podríamos considerar el caso B adecuadamente ventilado, siendo el mes con los valores más altos respecto a la concentración de CO₂ de la campaña.

En cuanto a valores higrotérmicos, como en el caso A, la temperatura interior media del mes estaría por debajo de la franja recomendada, con un valor de 18.6 °C. Como hemos comentado, la

temperatura media exterior de marzo estuvo en torno a los 14.7 °C, situándose la interior por encima de ella, pero sin llegar a conseguir las condiciones de confort recomendadas, incluyendo los equipos de calefacción encendidos durante las horas de ocupación. La humedad relativa media de este periodo estaría en torno a 46.8 %, dentro del límite entre 45-55 %. La media de humedad relativa exterior de este mes fue del 63.3 %, superior a la del interior.

Al igual que en el caso A, se prioriza la seguridad al confort térmico.

Tabla comparativa para media estación

Fig. 45

	CASO A			CASO B		
	CO ₂	T (°C)	H (%)	CO ₂	T (°C)	H (%)
Máx.	566	23.8	88.9	918	23.2	68.9
Mín.	402	14.8	48.7	417	15.7	23.5
Medio	460	19.2	65.45	580	18.6	46.8
Horas > 700 ppm	0			24		
Horas < 21 °C		158			162	
Horas < 21 °C y > 25 °C		46			22	
Horas > 25 °C		0			0	
Horas < 30 %			8			16
Horas < 30 % y > 50 %			111			92
Horas > 50 %			87			76
Horas totales	207			184		

Fig. 45. Tabla comparativa de variables durante el mes de marzo. Fuente: elaboración propia. (Tabla).

VALORES MONITORIZADOS EN LA 3ª SEMANA DE MARZO (REPRESENTATIVO DE MEDIA ESTACIÓN)

Caso A, 3ª semana de marzo

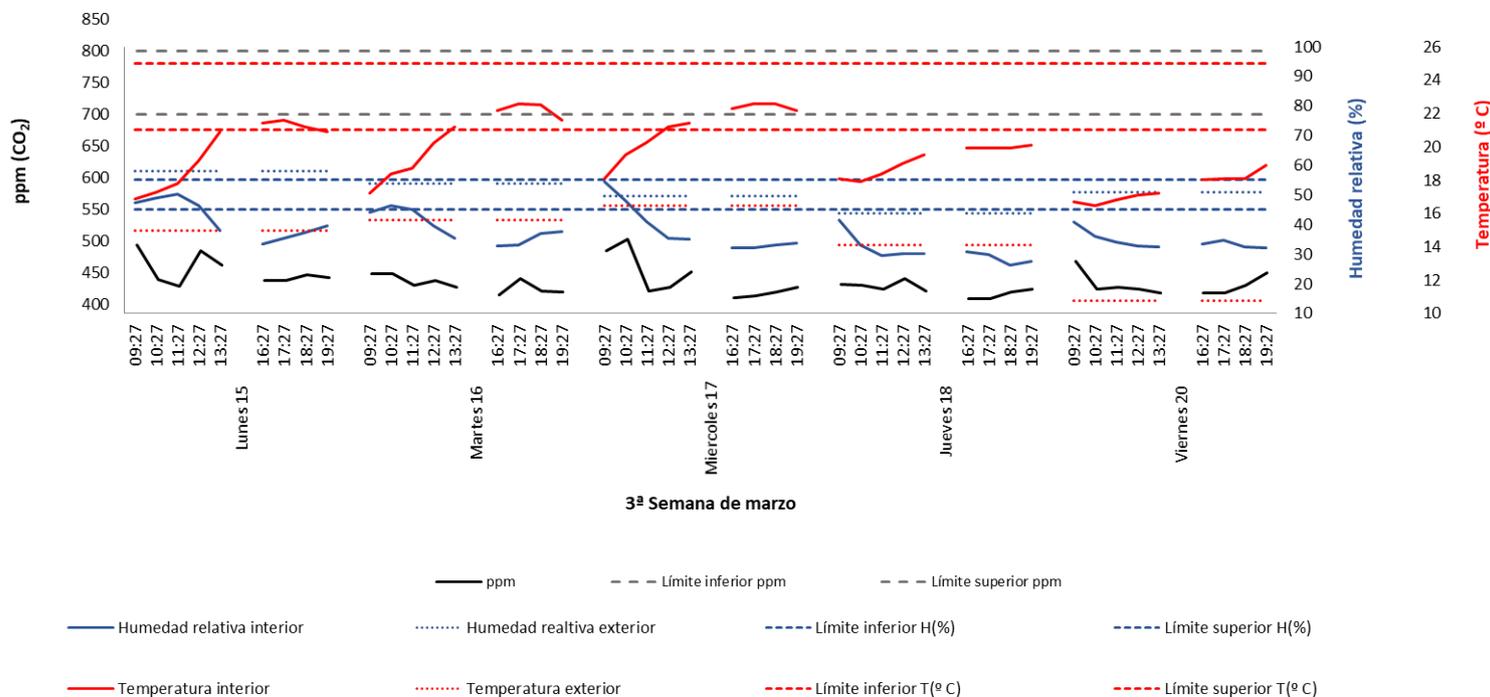


Fig. 46. Gráfica comparativa de valores recopilados durante la monitorización y comparación con valores recomendados, caso A durante la semana de marzo. Fuente: gráfica de elaboración propia. (Gráfica).

En la gráfica semanal (Fig. 46), podemos comprobar nuevamente que el nivel de CO₂, se encuentra siempre por debajo de la franja límite recomendada, con valor medio de 436 ppm. Ninguna de las horas de la monitorización estaría por encima de los 700 ppm recomendadas, por lo tanto, se comprueba que se trata de un local que cuenta con una adecuada ventilación.

En cambio, en cuanto a valores higrotérmicos, la temperatura interior media de esta semana del mes estaría entorno a los 19.6 °C, por debajo de la franja de temperatura recomendada. La temperatura exterior media fue de 14.4 °C, por debajo de la interior. La humedad

relativa media de este periodo estaría en torno a 36.7 %, superando el límite entre 45-55%, siendo inferior a la media exterior de 51.3 %. Se observa que durante esta semana las condiciones ambientales del interior de este local están por debajo de las recomendadas, incluso con los equipos de calefacción encendidos, lo que afecta a la concentración de los usuarios y con ello, la actividad laboral.

Como resumen de la 3ª semana de marzo, podemos comentar que se trata de un espacio adecuadamente ventilado para la actual situación que prioriza la seguridad a las condiciones higrotérmicas.

Caso B, 3ª semana de marzo

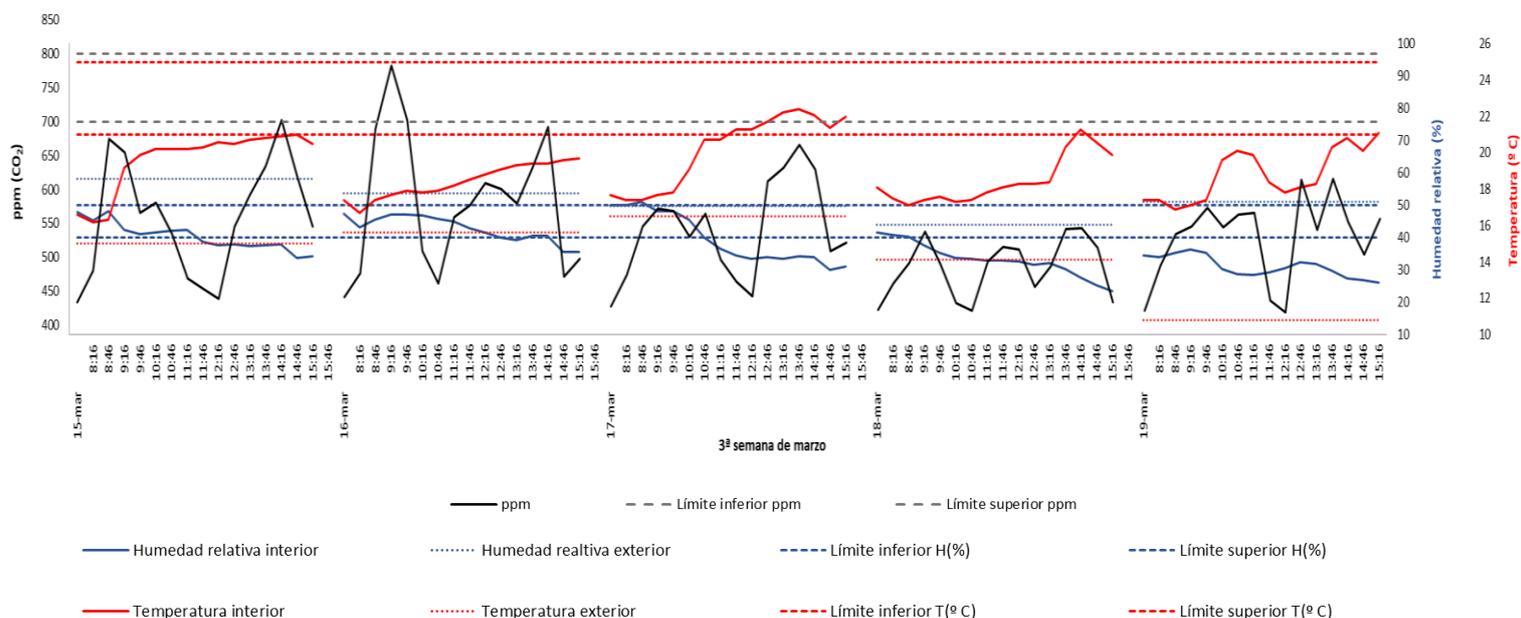


Fig. 47. Gráfica comparativa de valores recopilados durante la monitorización y comparación con valores recomendados, caso B durante la semana de marzo. Fuente: gráfica de elaboración propia. (Gráfica).

En la gráfica (Fig. 47), se observa que el nivel de CO₂, se encuentra de forma general por debajo de la franja límite recomendada, solo existe un día donde el valor de concentración supera los 700 ppm, con valor medio de 540 ppm durante este periodo de ocupación. Consideramos que el caso B se encuentra adecuadamente ventilado según los datos recogidos.

En cuanto a valores higrotérmicos, como en el caso A, la temperatura interior

media de la semana estaría por debajo de la franja con un valor de 19 °C, superando la media exterior de 14.4 °C y calefactores encendidos. La humedad relativa media de este periodo estaría en torno a 38.4 %, por debajo de la franja límite entre 45-55 %, y una media exterior superior de 51.3 %.

Al igual que en el caso A, se prioriza la seguridad al confort térmico.

Tabla comparativa para media estación

Fig. 48

	CASO A			CASO B		
	CO ₂	T (°C)	H (%)	CO ₂	T (°C)	H (%)
Máx.	503	22.6	54.5	783	22.4	51.2
Mín.	410	16.5	26.3	149	16.2	23.5
Medio	436	19.6	36.7	540	19	38.4
Horas > 700 ppm	0			2		
Horas < 21 °C		31			35	
Horas < 21 °C y > 25 °C		14			5	
Horas > 25 °C		0			0	
Horas < 30 %			4			6
Horas < 30 % y > 50 %			39			33
Horas > 50 %			2			1
Horas totales	45			40		

Fig. 48. Tabla comparativa de variables durante la semana de marzo. Fuente: elaboración propia. (Tabla).

VALORES MONITORIZADOS EN EL MES DE MAYO (EL MÁS CALUROSO DE MEDIA ESTACIÓN)

Caso A, mayo 2021

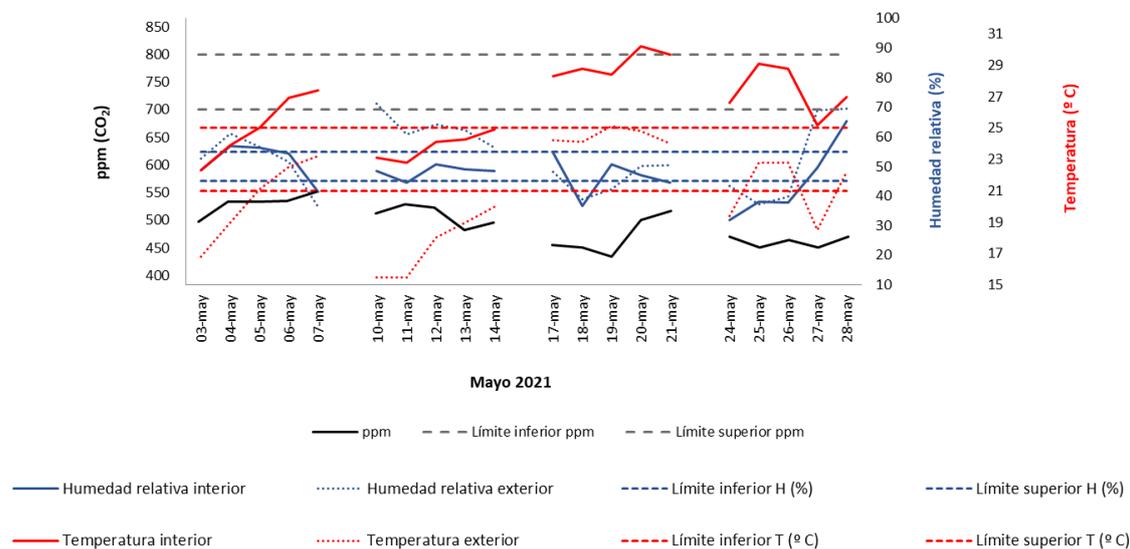


Fig. 49. Gráfica comparativa de valores recopilados durante la monitorización y comparación con valores recomendados, caso A mayo 2021. Fuente: gráfica de elaboración propia. (Gráfica).

En la gráfica (Fig. 49), se puede comprobar que el nivel de CO₂, se encuentra siempre por debajo de la franja límite recomendada, con valor medio de 451 ppm durante el mes de mayo. Ninguna de las horas de la monitorización de este mes estaría por encima de los 700 ppm recomendadas.

En cuanto a valores higrotérmicos, la temperatura interior media del mes estaría entorno a los 25 °C, rozando la franja límite superior de temperatura recomendada. Valores por encima de la temperatura media exterior del mes que fue de 21 °C. La humedad relativa media de este periodo estaría en torno a 65.45 %, por encima de los límites recomendados para este periodo entre

45-55%. El valor de humedad relativa exterior fue inferior al interior con un 53%. Se observa que durante el mes de mayo las condiciones ambientales medias entran dentro de los valores establecidos, pero como se observa la gráfica, hay una gran cantidad de horas en las que se sobrepasa el límite recomendado de 25 °C, aun contando con los equipos split encendidos durante el horario laboral.

Como resumen del mes de mayo podemos comentar que se trata de un espacio adecuadamente ventilado que prioriza la calidad de aire a las condiciones higrotérmicas.

Caso B, mayo 2021

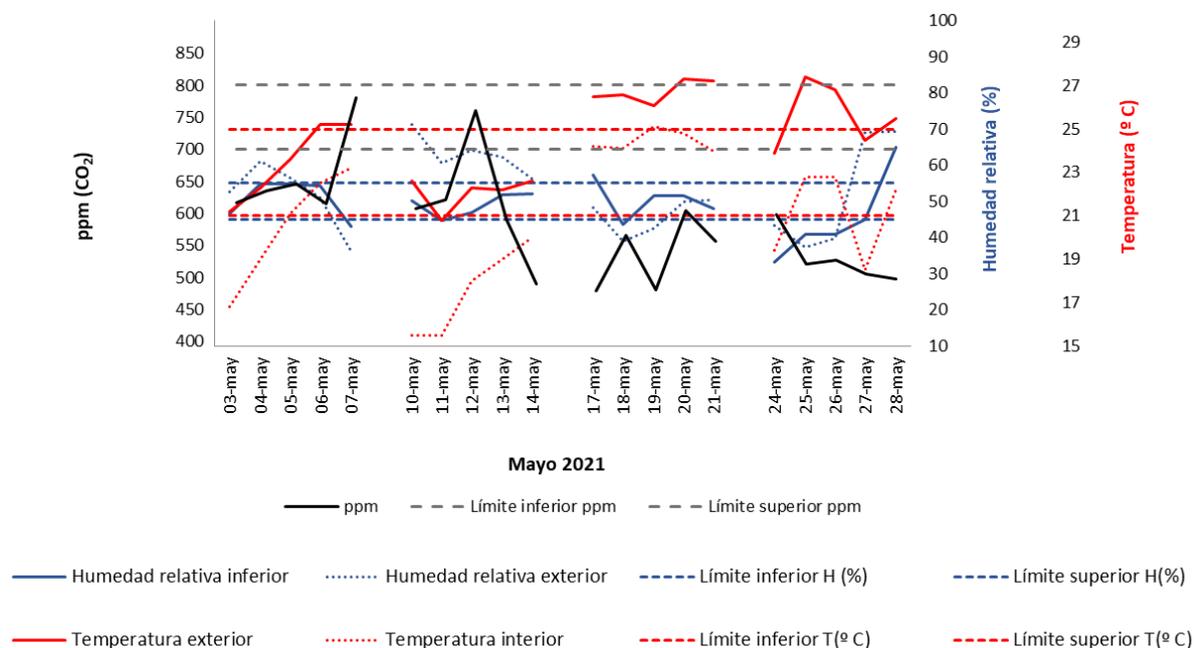


Fig. 50. Gráfica comparativa de valores recopilados durante la monitorización y comparación con valores recomendados, caso B mayo 2021. Fuente: gráfica de elaboración propia. (Gráfica)

En la gráfica (Fig. 50), observamos que el nivel de CO₂, se encuentra de forma general por debajo de la franja límite recomendada, pero existen días donde el valor de concentración supera los 700 ppm, con valor medio de 472 ppm durante este mes. Debido al número de veces en las que se superaría estos límites, podríamos considerar el caso B adecuadamente ventilado según los datos recogidos.

En cuanto a condiciones higrotérmicas, la temperatura interior media del mes

estaría dentro de los valores establecidos con un valor de 22.8 °C. Manteniéndose próxima a los valores de media exterior de 21 °C, gracias a los equipos de refrigeración encendidos durante el periodo de ocupación. La humedad relativa media estaría en torno a 57.5 %, levemente superior a los límites y a la media exterior de 52 %. Es apreciable que en este local la mayoría de las horas estarían dentro de los límites establecidos y por lo tanto proporciona un mejor confort higrotérmico que anteriores casos.

Tabla comparativa para estación calurosa

Fig. 51

	CASO A			CASO B		
	CO ₂	T (°C)	H (%)	CO ₂	T (°C)	H (%)
Máx.	552	30.2	88.9	780	27.7	83.3
Mín.	410	19.7	48.7	406	18.7	38.9
Medio	451	25	65.45	472	22.8	57.5
Horas > 700 ppm	0			2		
Horas < 21 °C		11			40	
Horas < 21 °C y > 25 °C		88			100	
Horas > 25 °C		83			24	
Horas < 30 %			30			8
Horas < 30 % y > 50 %			139			131
Horas > 50 %			16			27
Horas totales	185			167		

Fig. 51. Tabla comparativa de variables estudiadas durante el mes de mayo 2021. Fuente: elaboración propia. (Tabla).

VALORES MONITORIZADOS EN LA 4ª SEMANA DE MAYO (SEMANA CALUROSA DE MEDIA ESTACIÓN)

Caso A, 4ª semana de mayo de 2021

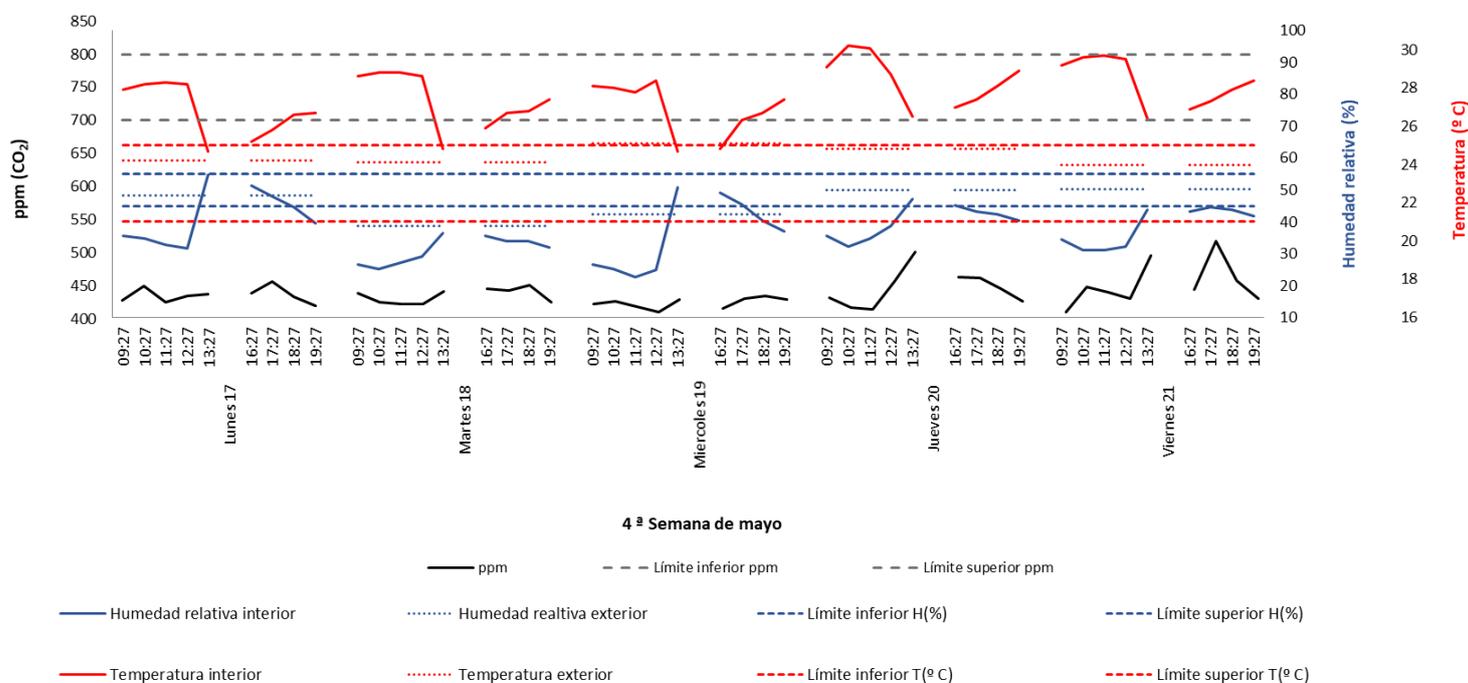


Fig. 52. Gráfica comparativa de valores recopilados durante la monitorización y comparación con valores recomendados, caso A semana de mayo. Fuente: gráfica de elaboración propia. (Gráfica).

En la gráfica (Fig. 52), se puede comprobar que el nivel de CO₂, se encuentra siempre por debajo de la franja límite recomendada, con un valor medio de 438 ppm durante esta semana de mayo. Ninguna de las horas de la monitorización de este mes estaría por encima de los 700 ppm recomendadas.

En cuanto a valores higrotérmicos, la temperatura interior media estaría entorno a los 27.6 ° C, superando el límite superior de temperatura recomendada, y por encima de la media

exterior de la semana de 24.5 °C. Estos valores interiores recogidos con los equipos de refrigeración encendidos. La humedad relativa media de este periodo estaría en torno a 37.4 %, por debajo del límite entre 45-55 %, y un 46 % de media exterior.

Como resumen de la semana del mes de mayo podemos comentar que nuevamente se trata de un espacio adecuadamente ventilado que prioriza la calidad de aire a las condiciones higrotérmicas.

Caso B, 4ª semana de mayo de 2021

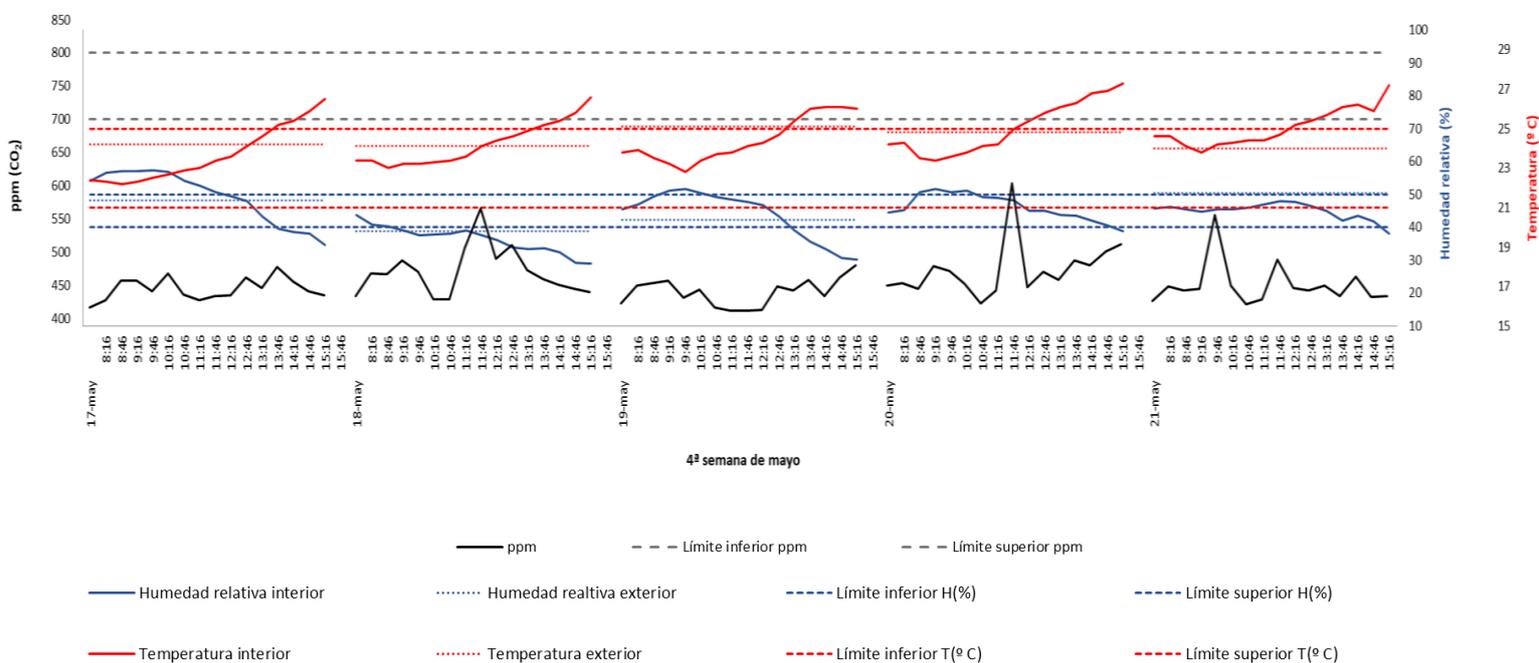


Fig. 53. Gráfica comparativa de valores recopilados durante la monitorización y comparación con valores recomendados, caso B semana de mayo. Fuente: gráfica de elaboración propia. (Gráfica).

En la gráfica (Fig. 53), observamos que el nivel de CO₂, se encuentra siempre por debajo de la franja límite, con valor medio de 457 ppm. Durante esta semana de mayo, se considera este local seguro con el 100 % de horas por debajo del límite.

En cuanto a valores higrotérmicos, la temperatura interior media de la semana estaría dentro de los recomendados con un valor de 22.8 °C, contando con los equipos de refrigeración encendidos durante el periodo de ocupación. La

temperatura exterior media de esta semana fue superior en torno a los 24.5 °C. La humedad relativa media de este periodo estaría en torno a 44 %, levemente inferior a valores recomendados y un 46 % de media exterior.

Es apreciable que en este local la mayoría de las horas estarían dentro de los límites establecidos y por lo tanto proporciona un adecuado confort higrotérmico y seguridad.

Tabla comparativa para estación media calurosa.

Fig. 54

	CASO A			CASO B		
	CO ₂	T (°C)	H (%)	CO ₂	T (°C)	H (%)
Máx.	517	30.2	54.7	604	27.7	57.2
Mín.	410	24.7	22.8	412	18.7	28.9
Medio	438	27.6	37.4	457	22.8	44.1
Horas > 700 ppm	0			0		
Horas < 21 °C		0			0	
Horas < 21 °C y > 25 °C		4			26	
Horas > 25 °C		41			14	
Horas < 30 %			8			1
Horas < 30 % y > 50 %			34			31
Horas > 50 %			3			8
Horas totales	45			40		

Fig. 54. Tabla comparativa de variables durante la semana de mayo. Fuente: elaboración propia. (Tabla).

CONCLUSIONES

Apoyados en dos casos de estudio, este trabajo ha pretendido verificar si los centros de trabajo están preparados para dar respuesta, en cuanto a condiciones ambientales, a este tipo de situaciones.

Para ello, se han seleccionado tres de las principales variables que caracterizan las condiciones ambientales interiores: nivel de concentración de CO₂, como principal indicador de la calidad de aire interior, temperatura y humedad relativa, como principales indicadores del confort higrotérmico.

Analizando los datos recogidos, para que los centros laborales fuesen seguros, se ha priorizado la calidad de aire interior sobre el confort higrotérmico interior. Al carecer de sistemas de ventilación controlada, en contra de lo que establecía

la normativa vigente con la que se construyó, se ha resuelto la situación de emergencia con unos protocolos de ventilación natural mediante la apertura de huecos que han dado lugar a una excelente calidad de aire interior: en ambos locales, prácticamente el total de las horas en las que haya actividad laboral se está por debajo de 700 ppm. Sin embargo, esa sobreventilación ha producido estrés térmico en un gran porcentaje de horas (Fig. 55).

Debido a ese estrés térmico no afecta solo al bienestar de los usuarios, sino que también afecta negativamente al desarrollo de su actividad (productividad), como la literatura científica ha destacado.

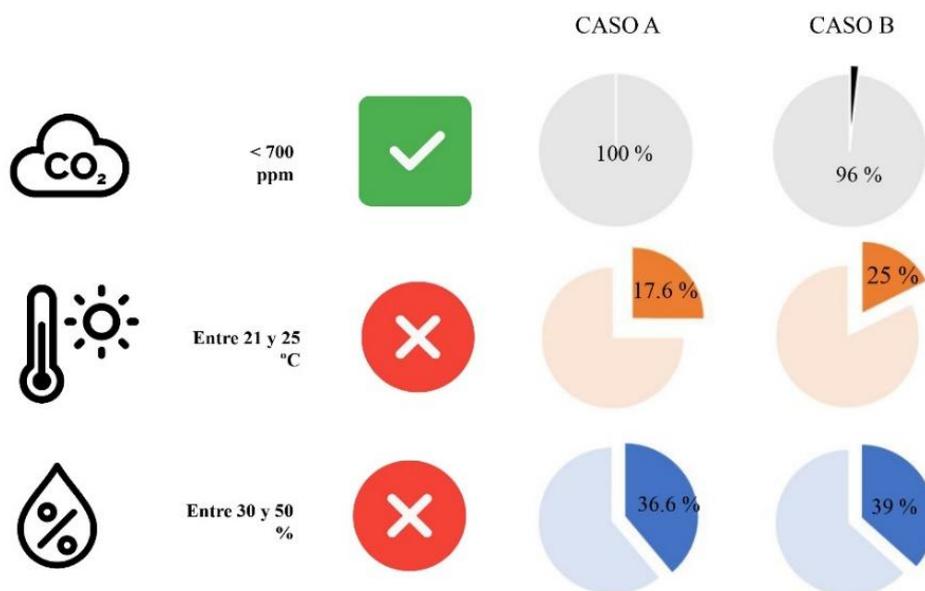


Fig. 55. Esquema resumen de variables obtenidas durante el periodo de monitorización de variables interiores de los casos de estudio y su adecuación. Fuente: elaboración propia. (Infografía).

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Dado que se trata de un Trabajo Fin de Grado, y su carácter de trabajo académico, sería de gran interés que tuviese continuidad. Dada la actualidad del tema y su importancia en la actual situación, este tipo de trabajos de investigación podrían ayudar a la adecuación de centros de trabajo, en los que se ha comprobado lo poco preparados que están ante este tipo de escenario.

Sería deseable ampliar los casos de estudio, localizados en diferentes zonas

climáticas y contemplar la diversidad de circunstancias en las que desarrollan su actividad: número de ocupantes, horario, superficie disponible, sistemas de ventilación mecánica, entre otros.

Además, se podría hacer un desarrollo de campaña de monitorización donde se recogieran datos por los propios ocupantes, realizar encuestas de confort higrotérmico e incluso relacionar la necesidad de ventilación natural con el consumo energético de aparatos de climatización.

BIBLIOGRAFÍA

En este trabajo se han utilizado las siguientes referencias bibliográficas:

- Lujan Cuestas, María, y María Laura Minassian. 2020. «Emerging and re-emerging viruses: A new challenge for global health in this millennium». *Rev Argent Microbiol* 52 (1): 1-3.
- Pecino, Begoña Rodríguez. s. f. «COVID-19 y cambio climático: cinco lecciones que nos deja la pandemia». Disponible en: <https://ayudaenaccion.org/ong/blog/sostenibilidad/covid-19-cambio-climatico/>. [consulta: 18 de marzo, 2021]
- Ministerio de Salud. 2020. «Documento técnico»: *Evaluación del riesgo de la transmisión de SARS-COV-2 mediante aerosoles. Medidas de prevención y recomendaciones.*, 56.
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. 2020. «La Ventilación como medida preventiva frente al coronavirus SARS-COV-2», 2.
- OMS. 2020. «Alocución de apertura del director general de la OMS en la rueda de prensa sobre la COVID-19 celebrada el 11 de marzo de 2020». 2020. Disponible en: <https://www.who.int/es/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>. [consulta: 20 de abril, 2021]
- Beltrán, Valmore Rodríguez. 2020. «SARS-COV-2, un virus complejo». *Acta Odont. Venez. Edición Especial*.
- Milton, Donald K. 2021. «A rosetta stone for understanding infectious drops and aerosols». *Journal of the Pediatric Infectious Diseases Society*. Oxford University Press.
- OMS. 2020. «Transmisión del SARS-CoV-2: implicaciones para las precauciones de prevención de infecciones».
- Ters, L E T. 2020. «Save Kazakhstan ' s shrinking Lake Balkhash Airborne transmission of SARS-CoV-2 Deliberate poisoning of Africa ' s vultures», 303-5.
- Morawska, Lidia, y Junji Cao. 2020. «Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality». *Environment International*. Elsevier Ltd.
- Ministerio de Salud. 2020. «Documento técnico»: *Evaluación del riesgo de la transmisión de SARS-COV-2 mediante aerosoles. Medidas de prevención y recomendaciones.*, 56.
- Mackay, Ian M. 2020. «The Swiss Cheese Respiratory Virus Defence». Figshare
- LIFTEC. s. f. «Ventilación Natural En Las Aulas».
- Ministerio de Trabajo. 1971. «Orden de 9 de marzo de 1971 por la que se aprueba la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.» *BOE-A-1971-380*.
- BOE. 2021. «Boletín Oficial del Estado». *Boletín Oficial del Estado*, 26798-800.
- Ministry of Industry, Energy and Tourism. 2007. *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. BOE 207 de 29/08/2007 Sec 1*.
- Ministerio de la Presidencia. 2007. «RITE 2007. Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios». *Boletín oficial del estado*, 35931-84.

- Ministerio de Industria Energía y Turismo. 2013. «RITE. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios. Versión Consolidada.» *Boletín oficial del estado*, n.º 74: 137.
- «DIN 1946-4:2005-04 Ventilation and air conditioning » s. f.
- Alonso, Alicia, Jesús Llanos, Rocío Escandón, y Juan J. Sendra. 2021. «Effects of the covid-19 pandemic on indoor air quality and thermal comfort of primary schools in winter in a mediterranean climate». *Sustainability (Switzerland)* 13 (5): 1-17.
- Fernández-Agüera, Jesica, Miguel Ángel Campano, Samuel Domínguez-Amarillo, Ignacio Acosta, y Juan José Sendra. 2019. «CO 2 Concentration and Occupants' Symptoms in Naturally Ventilated Schools in Mediterranean Climate»

ANEJOS

ANEJO I. CARACTERÍSTICAS DE EQUIPO Y SOFTWARES

En este apartado del trabajo se muestra las especificaciones de los equipos utilizados para la monitorización de variables del trabajo (Fig. 56).

Herramienta	Nombre	Aplicación
Recogida de variables interiores	Data logger modelo Wöhler CDL 210	Monitorización de variables interiores de los casos de estudio: nivel de CO ₂ , temperatura (° C) y humedad relativa (%)
Software para la gestión de valores	Wöhler CDL-Series PC INT Versión: 1.2.8 (2017)	Configuración del logger para empezar la recogida de datos (asignando periodos de recogida) y extracción de datos.
	Microsoft Office Excel Versión: estudiante 2021	Recogida de datos y representación gráfica

Fig. 56. Herramientas utilizadas durante la monitorización. Fuente: elaboración propia. (Tabla).

A continuación, se muestran las especificaciones del modelo de dispositivo utilizado para el estudio de variables, resaltando sus niveles de precisión (Fig. 57).

Especificaciones técnicas del registrador de datos	
Rango de medición	0 ... 2000 ppm CO ₂ (2.001 - 9.999 ppm fuera del rango especificado)
Precisión CO ₂	50 ppm ± 5 %
Resolución	1 ppm (0-100 ppm)
Principio de medición	Procedimiento NDIR (analizador no dispersivo por absorción en los infrarrojos)
Temperatura	-10 ... + 60 ° C
Precisión temperatura	± 0.6 ° C
Resolución	0.1 ° C
Humedad del aire	5 ... 95 %
Precisión	de 10 ... 90 %, 25 ° C ± 3 % sino ± 5 %
Resolución	0,1 %
Pantalla	Indicación simultánea de la concentración de CO ₂ , la temperatura y la humedad relativa
Valoración de las condiciones climáticas	Good (óptimo), Normal (normal), Poor (crítico)
Memoria	5300 series de valores
Datos	Hasta 16000
Cuota de medición	3/10/30 segundos 1/3/10/30 minutos 1/3/4 horas
Alimentación	Componente de red AC 5 V/ 0,5 A
Conexión al Pc	Puerto USB
Dimensiones	120 x 100 x 110 mm

Fig. 57. Especificaciones técnicas del dispositivo Data logger modelo Wöhler CDL 210. Fuente: PCE Ibérica S.L. (Tabla).

ANEJO II. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DIARIA.

Para completar el análisis de variables monitorizadas se adjuntan las gráficas de datos y tablas comparativas de tres días representativos de los meses seleccionados.

Establecemos el siguiente esquema:

- 14 de enero, 2021 (estación fría)
- 17 de marzo, 2021 (media estación fría)
- 20 de mayo, 2021 (media estación calurosa)

VALORES MONITORIZADOS EN EL 14 DE ENERO (REPRESENTATIVO DE INVIERNO)

Caso A, 14 de enero 2021

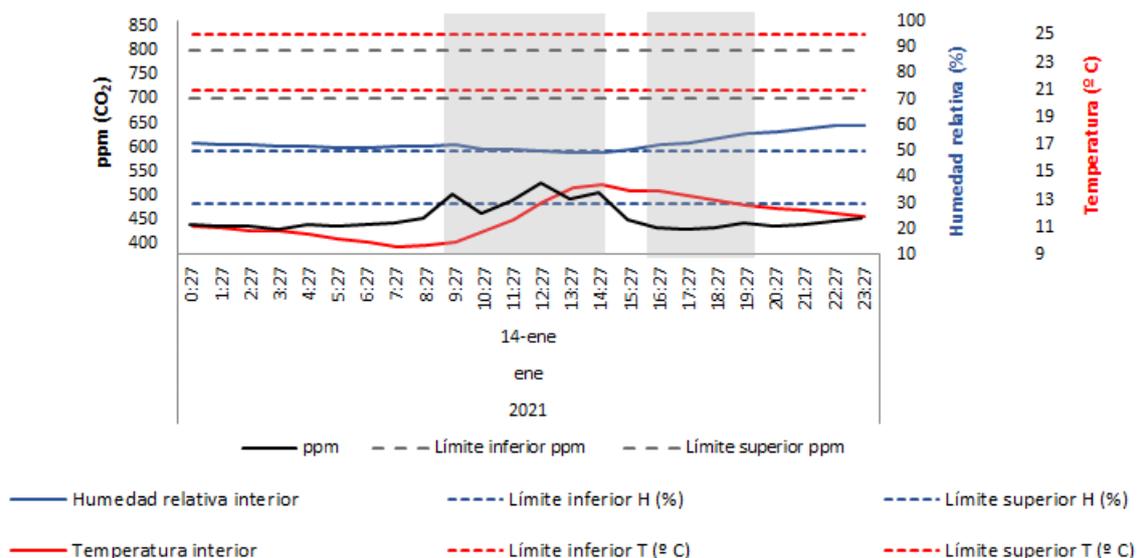


Fig. 58. Gráfica comparativa de valores recopilados durante la monitorización y comparación con valores recomendados, caso A durante el 14 de enero. Fuente: gráfica de elaboración propia. (Gráfica).

En las siguientes gráficas diarias se recogen las 24 horas de tres días representativos de estación fría, media fría y media calurosa. En color gris claro, se representa la franja horaria de ocupación de los locales. Dado que nos encontramos en un anejo, comentaremos las gráficas del día de enero, como ejemplo, y se mostrarán a continuación los datos recogidos durante los días 17 de marzo y 20 de mayo.

podemos comprobar la evolución del nivel de concentración de CO₂ durante la ocupación de la administración. Se aprecia un aumento en la concentración de CO₂ con la llegada de los dos ocupantes del turno de mañana, siendo éste, el momento en el que se abren las ventanas hacia el exterior. Durante el horario de ocupación de la administración, es posible la visita de hasta dos personas para hacer consultas en el local, por lo que puede ser el motivo

En esta primera gráfica diaria (Fig. 58),

GUILLÉN PACHÓN, Pedro Alberto. Calidad de aire interior y condiciones térmicas en centros de trabajo y su idoneidad en la actual situación de pandemia. (2021) TFG Grupo B

de variaciones de concentración a lo largo de la mañana. Al terminar este primer turno, los ocupantes abandonarían la administración y cerrarían las ventanas, disminuyendo el nivel de concentración.

Para el turno de tarde comprobamos que la concentración de CO₂ no tiene grandes cambios, esto se debe a que la sala estaría ocupada por un solo usuario y tuvo ninguna visita. Durante este periodo se observa un leve aumento en el nivel de concentración que junto con el cierre de huecos podría haberse mantenido en 450 ppm aproximadamente.

Se demuestra que el nivel de CO₂ se encuentra siempre por debajo de la franja límite recomendada, con un valor medio de 455 ppm durante el día. Ninguna de las horas de la monitorización estaría por encima de los 700 ppm recomendadas, por lo tanto, se comprueba nuevamente

que se trata de un local que cuenta con una adecuada ventilación.

En cambio, en cuanto a valores higrotérmicos, la temperatura interior media del día estaría entorno a los 11.7 °C, estando todo el periodo de ocupación debajo límite de temperatura recomendada. En comparación con los valores exteriores recogidos, el interior se mantuvo 7.4 °C de media, posiblemente con la ayuda de los calefactores. La humedad relativa media de este periodo estaría en torno a 53 %, superando el límite entre 40-50%, siendo inferior a los 67.6 % de media exterior.

Al igual que en otros periodos analizados, durante este día el local se encuentra por debajo de los límites recomendados siendo un lugar que no garantiza la adecuada concentración de los trabajadores y prioriza la calidad de aire.

Caso B, 14 de enero 2021

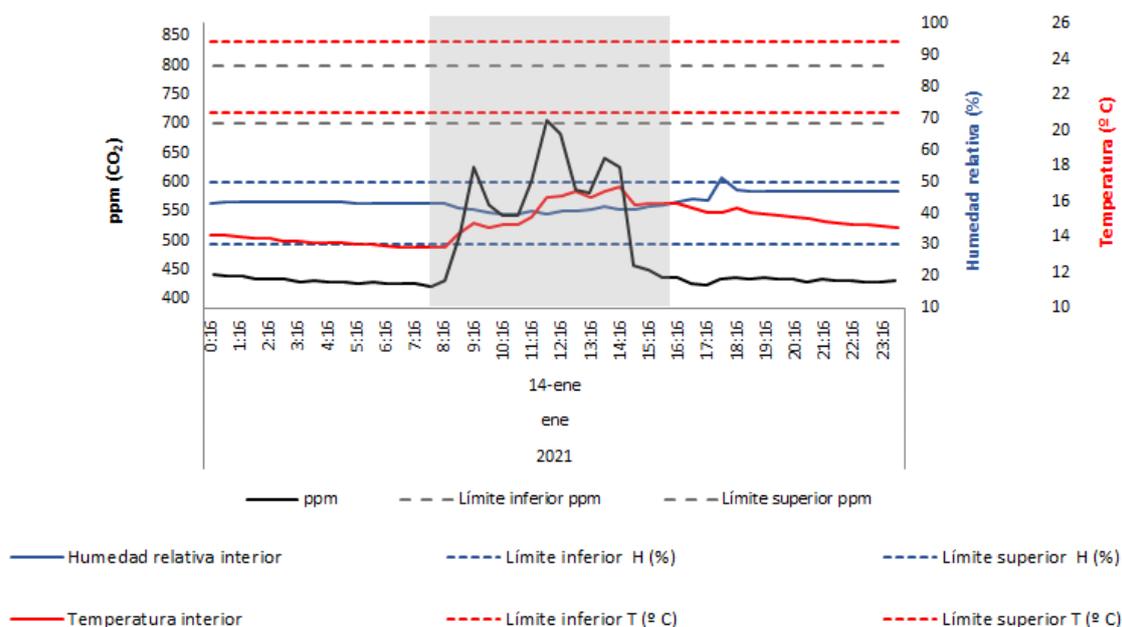


Fig. 59. Gráfica comparativa de valores recopilados durante la monitorización y comparación con valores recomendados, caso B durante el 14 de enero. Fuente: gráfica de elaboración propia. (Gráfica).

En esta gráfica diaria (Fig. 59), podemos comprobar la evolución del nivel de concentración de CO₂ durante el día 14 enero en el centro ocupacional. Se aprecia un aumento considerable con la llegada ocupantes al comenzar la jornada, siendo el momento de apertura de la ventana disponible del local.

Conociendo el horario de actividades semanal del centro (Fig. 25), comprobamos que la caída en el nivel de concentración de ppm a partir de las 10.00 h, se debe a que el local no estaría ocupado, aumentando considerablemente durante el retorno de los usuarios dos horas más. Tras el cambio en el nivel de actividad de los ocupantes y su relajación, se produciría un descenso en la concentración, aumentando nuevamente durante la hora del taller de habilidades donde la actividad física sería mayor. A partir de las 14.00 h se produce una caída

considerable debida a que ese día no hubo actividad durante el final de la jornada.

La media de concentración de CO₂ estaría entorno a las 480 ppm superando el límite recomendado de 700 ppm solo una hora y de forma leve.

En cambio, en cuanto a valores higrotérmicos, la temperatura interior media del día estaría entorno a los 14.8 ° C, durante la ocupación debajo límite de temperatura recomendada y por encima de la media exterior. La humedad relativa media de este periodo estaría en torno a 43.7 %, dentro del límite entre 40-50%, y por debajo de los datos recogidos de media exterior.

Al igual que en otros periodos analizados, durante este día el local se encuentra fuera de los límites recomendados siendo un lugar que no garantiza la adecuada concentración de los trabajadores.

Tabla comparativa estación fría

Fig. 60.

	CASO A			CASO B		
	CO ₂	T (°C)	H (%)	CO ₂	T (°C)	H (%)
Máx.	527	14.1	59.9	707	16.8	51
Mín.	430	9.6	49.3	420	11.7	39.7
Medio	455	11.7	53.05	475	14.8	43.7
Horas > 700 ppm	0			1		
Horas < 21 °C		24			24	
Horas < 21 °C y > 25 °C		0			0	
Horas > 25 °C		0			0	
Horas < 30 %			0			0
Horas < 30 % y > 50 %			2			23
Horas > 50 %			22			1
Horas totales	24			24		

Fig. 60. Tabla comparativa de variables durante el 14 enero 2021. Fuente: elaboración propia. (Tabla).

VALORES MONITORIZADOS EN EL 17 DE MARZO (REPRESENTATIVO DE MEDIA ESTACIÓN)

Caso A, 17 de marzo. (Fig. 61)

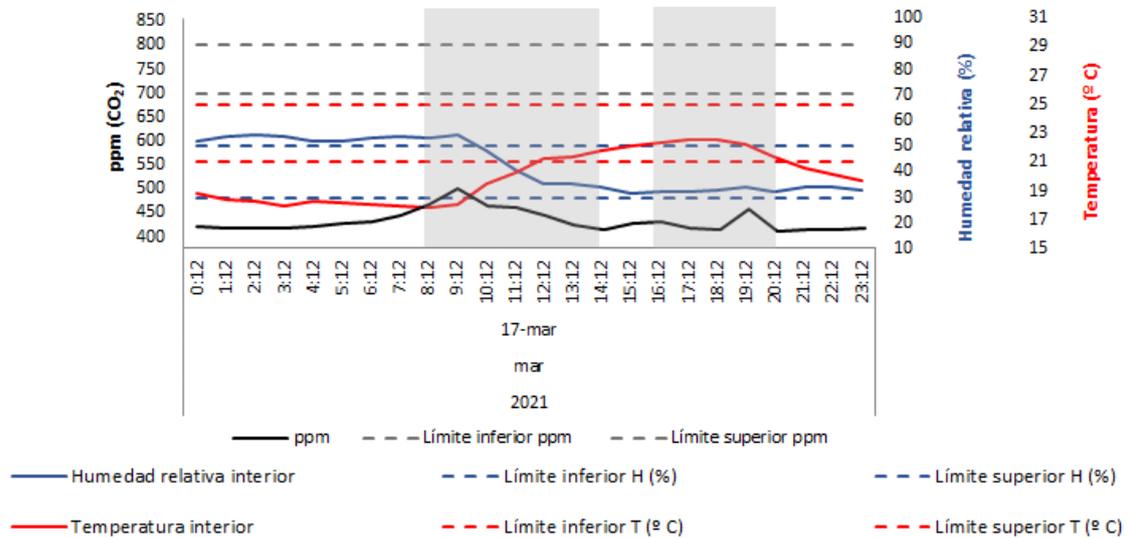


Fig. 61. Gráfica comparativa de valores recopilados durante la monitorización y comparación con valores recomendados, caso A durante el 17 de marzo. Fuente: gráfica de elaboración propia. (Gráfica).

Caso B, 17 de marzo. (Fig. 62)

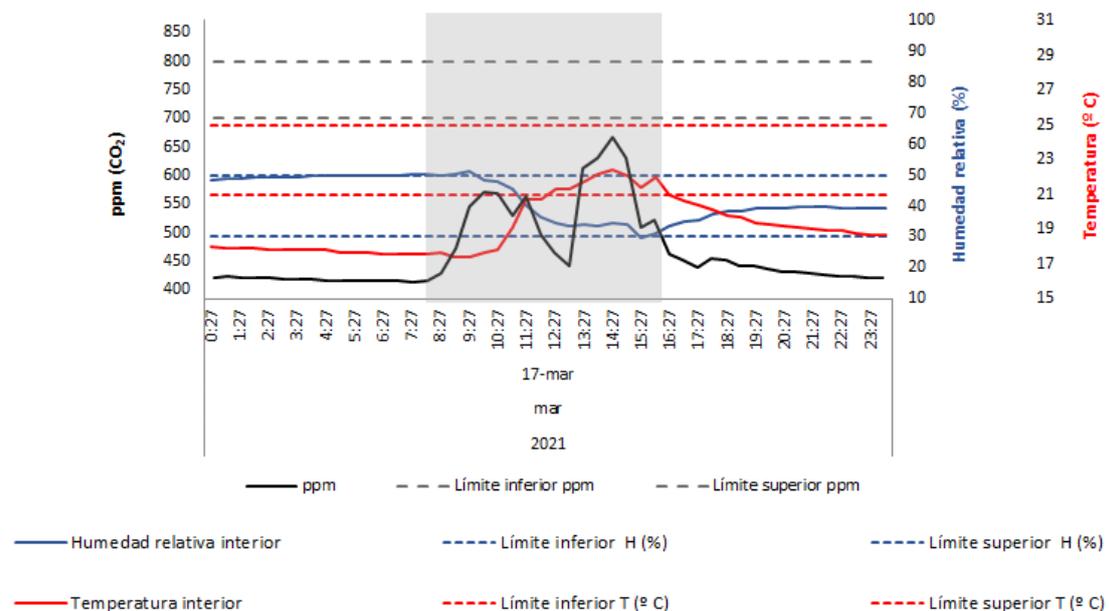


Fig. 62. Gráfica comparativa de valores recopilados durante la monitorización y comparación con valores recomendados, caso B durante el 17 de marzo. Fuente: gráfica de elaboración propia. (Gráfica).

Tabla comparativa para media estación fría

Fig. 63

	CASO A			CASO B		
	CO ₂	T (°C)	H (%)	CO ₂	T (°C)	H (%)
Máx.	503	22.6	54.5	666	22.4	51.2
Mín.	411	17.8	31.8	414	17.4	29.9
Medio	430	20	42.5	465	19.2	42.45
Horas > 700 ppm	0			0		
Horas < 21 °C		15			20	
Horas < 21 °C y > 25 °C		9			4	
Horas > 25 °C		0			0	
Horas < 30 %			0			1
Horas < 30 % y > 50 %			14			22
Horas > 50 %			10			2
Horas totales	24			24		

Fig. 63. Tabla comparativa de variables durante el 17 de marzo. Fuente: elaboración propia. (Tabla).

VALORES MONITORIZADOS EN EL 20 DE MAYO (DÍA CALUROSO REPRESENTATIVO DE MEDIA ESTACIÓN)

Caso A, 20 de mayo de 2021. (Fig. 64)

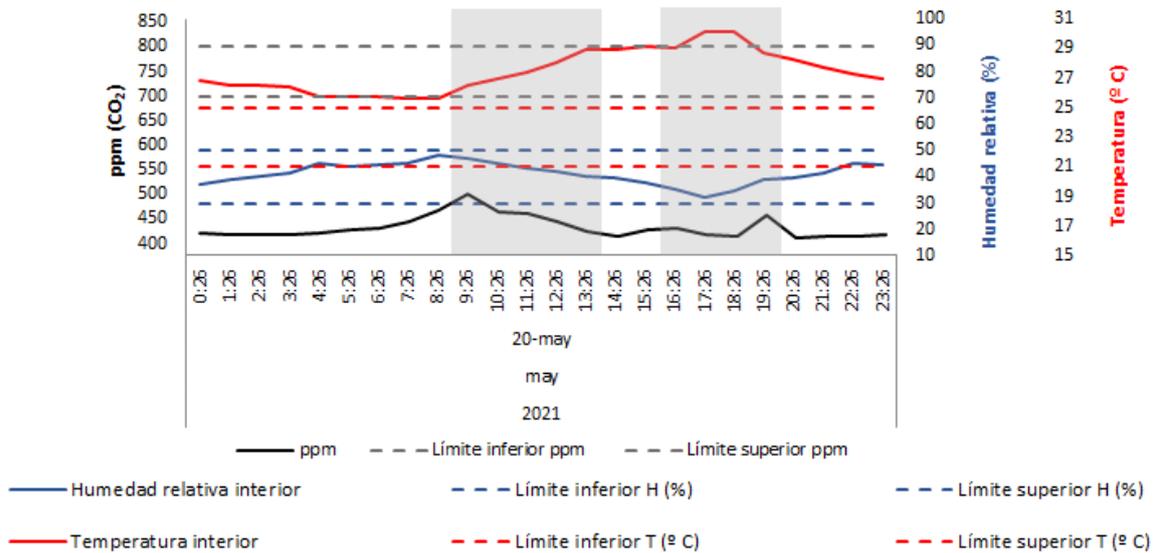


Fig. 64. Gráfica comparativa de valores recopilados durante la monitorización y comparación con valores recomendados, caso A durante el 20 de mayo. Fuente: gráfica de elaboración propia. (Gráfica)

Caso B, 4ª semana de mayo de 2021. (Fig. 65)

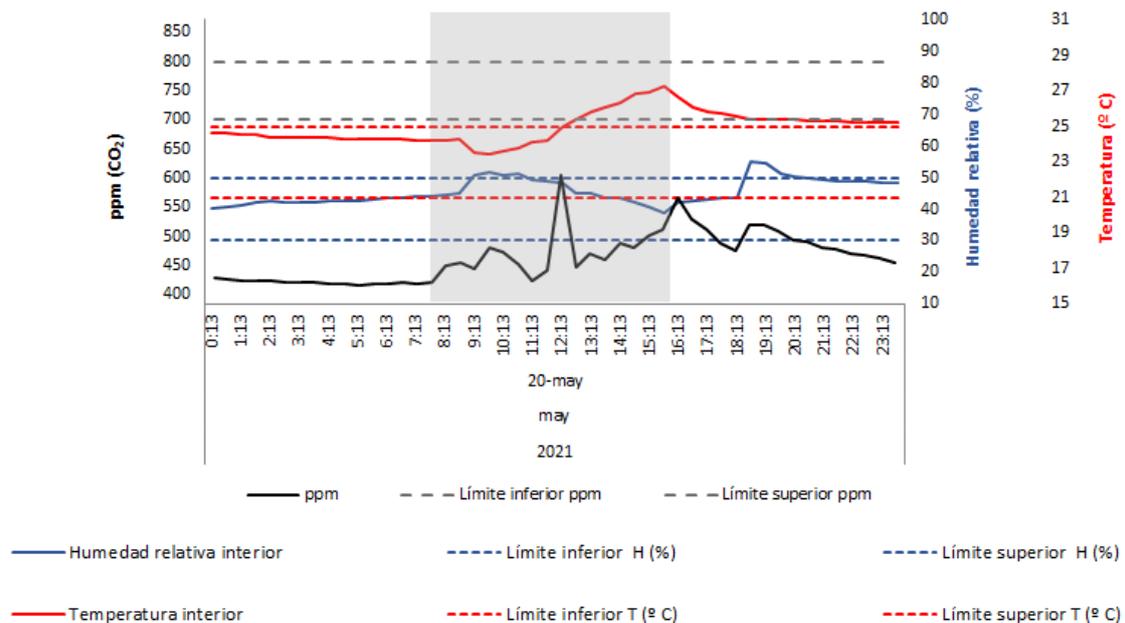


Fig. 65. Gráfica comparativa de valores recopilados durante la monitorización y comparación con valores recomendados, caso B durante el 20 de mayo. Fuente: gráfica de elaboración propia. (Gráfica)

Tabla comparativa para estación media calurosa

Fig. 66

	CASO A			CASO B		
	CO ₂	T (°C)	H (%)	CO ₂	T (°C)	H (%)
Máx.	501	30.2	54.7	604	27.3	55.2
Mín.	413	25.6	22.8	407	23.4	38.8
Medio	432	27.4	37.4	463	25	45.53
Horas > 700 ppm	0			0		
Horas < 21 °C		0			0	
Horas < 21 °C y > 25 °C		0			12	
Horas > 25 °C		24			12	
Horas < 30 %			0			0
Horas < 30 % y > 50 %			24			20
Horas > 50 %			0			4
Horas totales	24			24		

Fig. 66. Tabla comparativa de variables durante el 20 de mayo. Fuente: elaboración propia. (Tabla).