

INFORME DE LA MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LAS AULAS C.E.I.P. NAVAS DE TOLOSA



EQUIPO DIRECTIVO
CEIP NAVAS DE TOLOSA. DICIEMBRE DE 2020

1. INTRODUCCION:

El presente informe pretende ser una herramienta que dé a la Comunidad Educativa del Navas datos objetivos de la calidad interior del aire en las aulas con el objetivo de reducir la probabilidad de contagio de Covid-19 por vía aérea. Para ello se han realizado mediciones de tres parámetros: CO₂, temperatura y humedad relativa en diferentes condiciones de ventilación para determinar cuál es la más adecuada.

En primer lugar, debemos conocer que el riesgo cero no existe, al menos así lo determina tanto el informe técnico del Ministerio de Sanidad, como la guía de ventilación del Centro Superior de Investigaciones Científicas. No obstante, ambos organismos nos dicen que la renovación adecuada del aire interior siguiendo los parámetros que nos marca la Universidad de Harvard (que recomienda entre 5 y 6 renovaciones de aire a la hora para aulas de 100 metros cuadrados con 25 estudiantes) reduce a niveles mínimos la posibilidad de contagio, aun teniendo a un/a usuario/a con carga viral en la clase.

En consecuencia, el riesgo de contagio de Covid-19 en ambientes interiores es superior al riesgo en el exterior, ya que, en ambientes interiores, las **partículas en suspensión**, también llamadas **aerosoles**, susceptibles de contener virus, se pueden acumular.

Los métodos que debemos usar en las aulas para reducir la emisión y la exposición de aerosoles son los siguientes:

- Mantener un ambiente de silencio o volumen de habla bajo, ya que al hablar fuerte o gritar la emisión es 30 veces superior.
- Tener una actividad física dentro del aula relajada, ya que al aumentar la intensidad de la actividad se aumenta la emisión de aerosoles.
- Uso de la mascarilla muy bien ajustada.
- Ventilación adecuada para eliminar o reducir al mínimo la concentración de virus en el aire.

Hasta ahora la ventilación que hemos realizado en nuestras aulas ha sido la ventilación natural cruzada, resultando a todas luces muy efectiva en el control de la pandemia en nuestro Centro a la vista de la incidencia de contagios.

Pero en periodos de frío, como los que se pueden dar en la estación invernal, a todos se nos plantea el dilema de optar por proteger la salud dentro de las aulas o por disponer de confort térmico en las mismas condiciones que se venían realizando en cursos pasados. Lo ideal es encontrar un punto de equilibrio entre protección y confort térmico, no obstante, tiene que prevalecer la protección frente al Covid, ya que la temperatura es susceptible de regularse tanto con el vestido idóneo, como con el sistema de calefacción del centro.

2. LA CALIDAD DEL AIRE EN LAS AULAS:

Hasta este año y motivado por la pandemia, la calidad del aire en las aulas ha sido algo que ha pasado desapercibido tanto para las familias y los docentes como para la administración educativa. Y sin embargo es de vital importancia, en este curso para eliminar la posibilidad de contagio, pero siempre porque favorece la atención y el rendimiento escolar.

La calidad del aire se mide a través de la concentración de CO₂, el cual aumenta rápidamente en presencia de personas que lo exhalan al respirar.

Para evaluar si la calidad del aire en las aulas es adecuada y la ventilación utilizada es suficiente se utilizan diferentes métodos detallados en la guía del C.S.I.C. basados en medidas de CO₂.

La solución ideal, según se desprende de los documentos técnicos mencionados anteriormente, para tener aires de calidad en las aulas siempre pasa por aumentar la renovación de aire interior con exterior sin utilización de instrumentalización, es decir, abriendo ventanas y puertas para provocar un flujo de aire.

La ventilación cruzada, consiste en la apertura de ventanas y puertas en lados opuestos de la habitación.

En algunas ocasiones se alcanza la ventilación suficiente sin ventilación cruzada. Las condiciones ambientales exteriores influyen en la ventilación efectiva. Además, debemos de tener en cuenta que para una misma configuración de ventanas y/o puertas, la ventilación puede variar, especialmente en días ventosos.



Gráfico de ventilación cruzada

En nuestro estudio hemos realizado pruebas con diferentes configuraciones de apertura de ventanas y/o puertas, tratando de encontrar la más idónea que permita tener el aire de más calidad con las mejores condiciones térmicas e higrométricas.

Entre los métodos que propone el Centro Superior de Investigaciones Científicas hemos elegido del denominado: “Determinación de la concentración de CO₂ objetivo en estado estable”.

Se trata de determinar la concentración de CO₂ objetivo con el aula ocupada por el alumnado y su profesorado. Para ello, se han de conocer las dimensiones del aula y su ocupación, y se ha de fijar el objetivo de renovación de aire. Con ello, se calcula la concentración de CO₂ en el aula para condiciones estables, este dato sería el nivel ideal de CO₂ en el aula.

Dicha concentración se compara con las medidas continuas que hemos tomado en cada una de las aulas en condiciones estables, es decir, cuando la concentración de CO₂ empieza a estabilizar tras el incremento del inicio de la clase.

Para determinar el “CO₂ en estado estable” de cada aula, en primer lugar, tenemos que conocer los siguientes aspectos:

Paso1: Dimensiones del aula: ancho x largo x alto y calcular el volumen en metros cúbicos.

Paso 2: Concentración de CO₂ al aire libre durante al menos cinco minutos. Esto se hará antes y después del experimento. Hacer el promedio de ambas medidas. El resultado será la concentración de CO₂ exterior.

Paso3: Estimar la generación de CO₂, en el aula como:

- ✓ Generación de CO₂ = número de ocupantes * tasa de exhalación de CO₂ por ocupante
- ✓ La tasa de generación o exhalación de CO₂ por persona depende de la edad, el sexo, el peso y la actividad metabólica. Para ello el C.S.I.C ha publicado unas tablas de generación de CO₂ para cada caso, estableciendo valores de situaciones frecuentes.
 - Alumnado, sentados: 0.0031 litros/segundo = 0.186 litros/minuto (lpm) por estudiante
 - Docentes (de pie y hablando): 0.0061 litros/segundo = 0.366 litros/minuto (lpm)

Paso 4: Calcular el caudal de aire exterior objetivo, que se establece de la siguiente forma:

- ✓ Caudal aire exterior objetivo = ACH * Volumen aula
- ✓ La ACH= Renovación de aire por hora objetivo = 5 (Según la Universidad de Harvard)

Paso 5: Estimar la concentración de CO₂ en estado estable usando la siguiente fórmula. La generación de CO₂ y el caudal de aire exterior estarán en lpm, y la concentración de CO₂ estará en ppm.

$$C_{\text{estado estable}} = \frac{\text{Generación de CO}_2 + \text{Caudal aire exterior objetivo} * C_{\text{exterior CO}_2} * 1 * 10^{-6}}{\text{Caudal aire exterior objetivo} * 1 * 10^{-6}}$$

Paso 6: Consiste en realizar toma de medidas de CO₂ en un aula determinada para evaluar si la configuración de ventilación adoptada permite que los niveles medios de CO₂, durante la jornada escolar están por debajo del C_{estado estable}.

Observación: No obstante, el C.S.I.C nos dice que, debido a las variaciones de concentraciones a lo largo del día, es razonable asumir un 20% de desviación del valor objetivo.

A) EXPERIMENTO: MEDICIONES CON VENTILACIÓN CRUZADA:

Experiencia 1, realizada el día 2 de diciembre:

Aula de 4º B:

Condiciones de ventilación:

- ✓ Ventilación cruzada. Ventanas abiertas protegidas con material plástico en la mitad inferior. A partir de las 12:00 horas permanece solo una ventana abierta con protección en la mitad inferior. Durante el recreo se mantienen abiertas las tres ventanas.
- ✓ Alumnado: 25
- ✓ Docentes: 2
- ✓ Volumen del aula: Superficie 48,20 x 3 metros de altura = 144,6 m³
- ✓ Concentración de aire en el exterior: 420 ppm
- ✓ Generación de CO₂ = 25 alumno@s*0.186 lpm + 2 docentes*0.366 lpm = 4,65 + 0,732lpm = 5,382 lpm
- ✓ Renovaciones de aire por hora objetivo, ACH=5
- ✓ Caudal de aire exterior necesario: 5 * 144,6 = 723 m³/h = 12054 lpm

Tendríamos que aplicar ahora la fórmula siguiente:

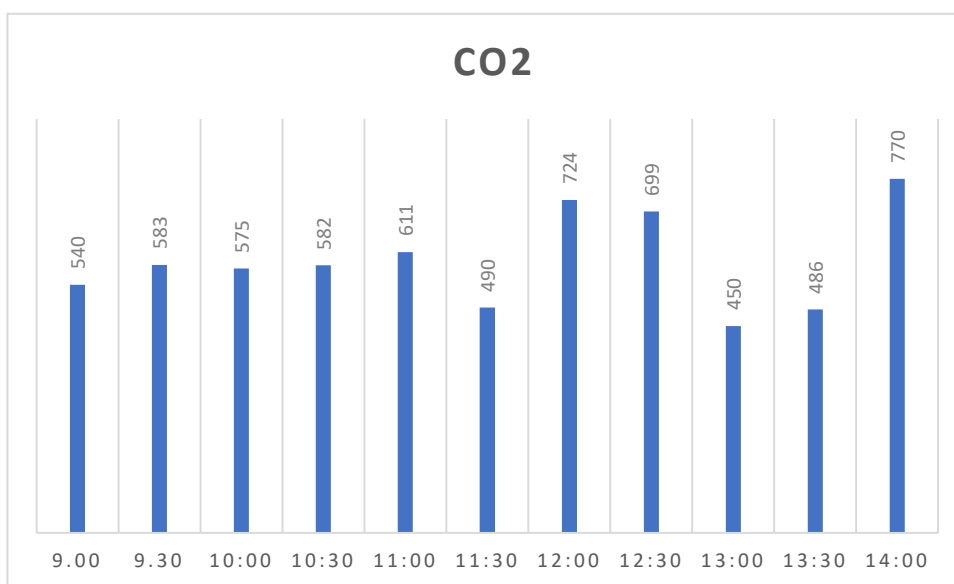
$$C_{\text{estado estable}} = \frac{\text{Generación de CO}_2 + \text{Caudal aire exterior objetivo} * C_{\text{exterior CO}_2} * 1 * 10^{-6}}{\text{Caudal aire exterior objetivo} * 1 * 10^{-6}}$$

Para ello introducimos los datos en el libro Excel que ha editado el CSIC para facilitar los cálculos y obtenemos el siguiente resultado:

C_{estado estable} del aula: 867 ppm (CO₂)

Las medidas obtenidas en el aula fueron las siguientes:

- ✓ Tras el incremento del inicio de la clase, las medidas se mantienen constantes, en una media de: **597 ppm (CO₂)**



Conclusión: La ventilación usada es adecuada.

Experiencia 2, realizada el día 2 de diciembre:

Aula de Educación Infantil 5 años A:

Condiciones de ventilación:

- ✓ Ventilación cruzada. Permanecen todas las ventanas cerradas excepto una y la puerta. Durante el recreo se mantienen abiertas tres ventanas.
- ✓ Alumnado: 22
- ✓ Docentes: 2
- ✓ Volumen del aula: Superficie 51,60 x 3 metros de altura = 154,8 m³
- ✓ Concentración de aire en el exterior: 420 ppm
- ✓ Generación de CO₂ = 22 alumno@s*0.186 lpm + 2 docentes*0.366 lpm = 4,092 +0,732lpm=4,824 lpm
- ✓ Renovaciones de aire por hora objetivo, ACH=5
- ✓ Caudal de aire exterior necesario: 5 * 154,8 = 774 m³/h = 12900 lpm

Tendríamos que aplicar ahora la fórmula siguiente:

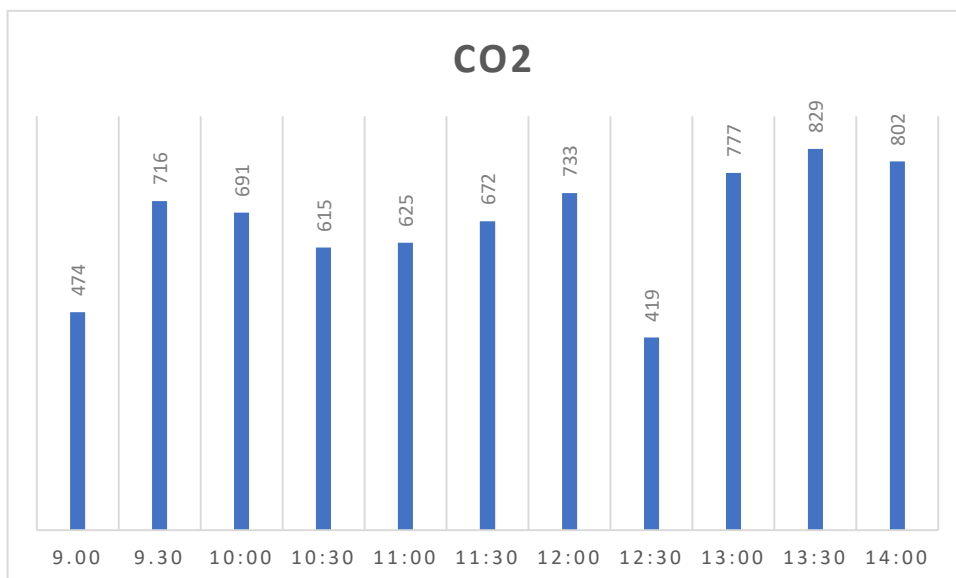
$$C_{\text{estado estable}} = \frac{\text{Generación de CO}_2 + \text{Caudal aire exterior objetivo} * C_{\text{exterior CO}_2} * 1 * 10^{-6}}{\text{Caudal aire exterior objetivo} * 1 * 10^{-6}}$$

Para ello introducimos los datos en el libro Excel que ha editado el CSIC para facilitar los cálculos y obtenemos el siguiente resultado:

C_{estado estable} del aula: 794 ppm (CO₂)

Las medidas obtenidas en el aula fueron las siguientes:

- ✓ Tras el incremento del inicio de la clase, las medidas se mantienen constantes, en una media de: **688 ppm (CO₂)**



Conclusión: La ventilación usada es adecuada.

Experiencia 3, realizada el día 2 de diciembre:

Aula de 6º A:

Condiciones de ventilación:

- ✓ Ventilación cruzada. Permanecen todas las ventanas cerradas excepto una y la puerta.
- ✓ Alumnado: 23
- ✓ Docentes: 2
- ✓ Volumen del aula: Superficie 46,30 x 3 metros de altura = 138,9 m³
- ✓ Concentración de aire en el exterior: 420 ppm
- ✓ Generación de CO₂ = 23 alumno@s*0.186 lpm + 2 docentes*0.366 lpm = 4,278 + 0,732lpm = 5,01 lpm
- ✓ Renovaciones de aire por hora objetivo, ACH=5
- ✓ Caudal de aire exterior necesario: 5 * 138,9 = 694,5 m³/h = 11619 lpm

Tendríamos que aplicar ahora la fórmula siguiente:

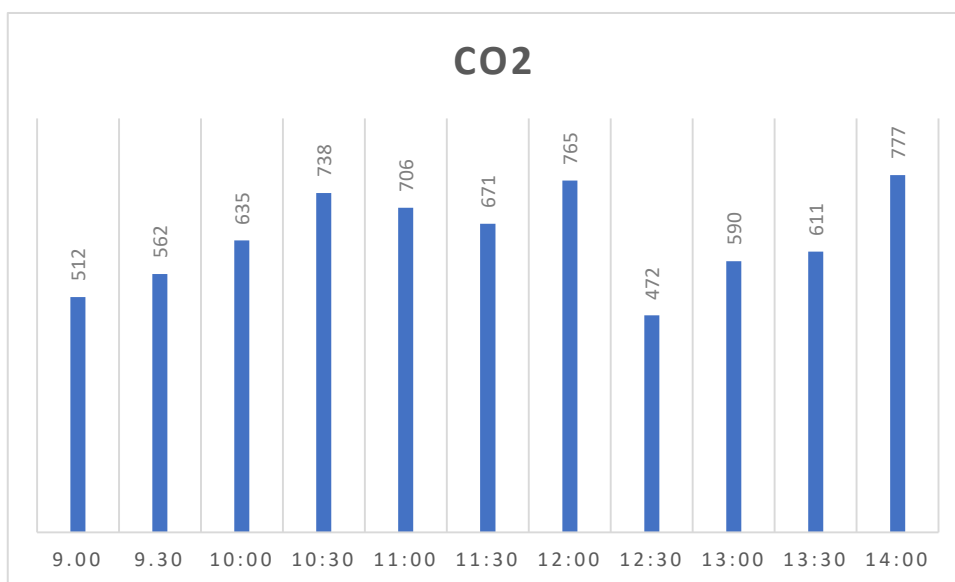
$$C_{\text{estado estable}} = \frac{\text{Generación de CO}_2 + \text{Caudal aire exterior objetivo} * C_{\text{exterior CO}_2} * 1 * 10^{-6}}{\text{Caudal aire exterior objetivo} * 1 * 10^{-6}}$$

Para ello introducimos los datos en el libro Excel que ha editado el CSIC para facilitar los cálculos y obtenemos el siguiente resultado:

C_{estado estable} del aula: 851 ppm (CO₂)

Las medidas obtenidas en el aula fueron las siguientes:

- ✓ Tras el incremento del inicio de la clase, las medidas se mantienen constantes, en una media de: **653 ppm (CO₂)**



Conclusión: La ventilación usada es adecuada.

Experiencia 4, realizada el día 3 de diciembre:

Aula de Educación Infantil 4 años B:

Condiciones de ventilación:

- ✓ Ventilación cruzada. Permanecen todas las ventanas cerradas excepto una y la puerta. Durante el recreo se mantienen abiertas tres ventanas.
- ✓ Alumnado: 25
- ✓ Docentes: 3
- ✓ Volumen del aula: Superficie 51,60 x 3 metros de altura = 154,8 m³
- ✓ Concentración de aire en el exterior: 420 ppm
- ✓ Generación de CO₂ = 25 alumno@s*0.186 lpm + 3 docentes*0.366 lpm = 4,65 + 1,098lpm=5,748 lpm
- ✓ Renovaciones de aire por hora objetivo, ACH=5
- ✓ Caudal de aire exterior necesario: 5 * 154,8 = 774 m³/h = 12900 lpm

Tendríamos que aplicar ahora la fórmula siguiente:

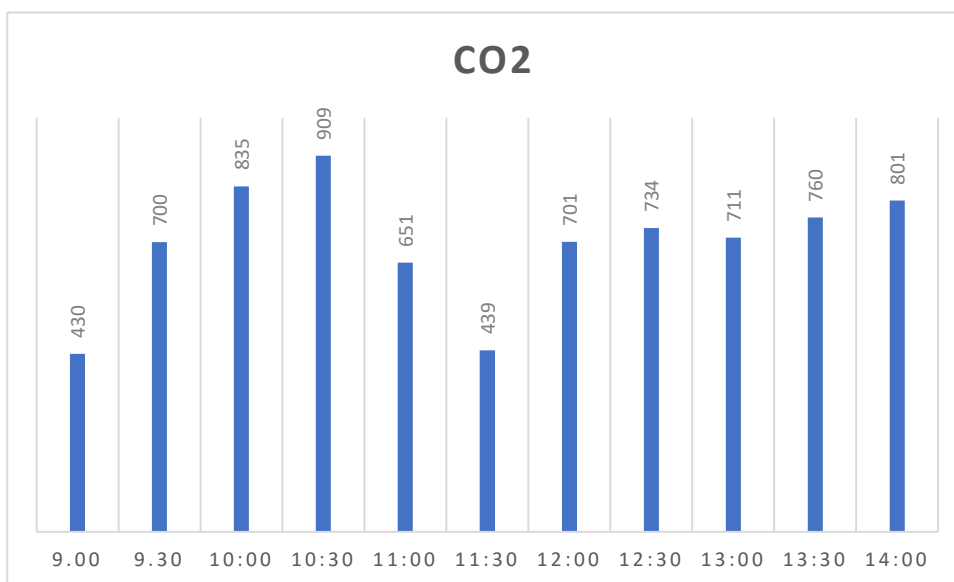
$$C_{\text{estado estable}} = \frac{\text{Generación de CO}_2 + \text{Caudal aire exterior objetivo} * C_{\text{exterior CO}_2} * 1 * 10^{-6}}{\text{Caudal aire exterior objetivo} * 1 * 10^{-6}}$$

Para ello introducimos los datos en el libro Excel que ha editado el CSIC para facilitar los cálculos y obtenemos el siguiente resultado:

C_{estado estable} del aula: 866 ppm (CO₂)

Las medidas obtenidas en el aula fueron las siguientes:

- ✓ Tras el incremento del inicio de la clase, las medidas se mantienen constantes, en una media de: **724 ppm (CO₂)**



Conclusión: La ventilación usada es adecuada.

Observaciones: En el periodo comprendido entre las 10:00 horas y las 10:30 se realiza una actividad motriz en el aula.

Experiencia 5, realizada el día 4 de diciembre:

Aula de 6º B:

Condiciones de ventilación:

- ✓ Ventilación cruzada. Permanecen todas las ventanas cerradas excepto una que permanece abierta solo hasta la mitad.
- ✓ Alumnado: 26
- ✓ Docentes: 2
- ✓ Volumen del aula: Superficie 46,30 x 3 metros de altura = 138,9 m³



- ✓ Concentración de aire en el exterior: 420 ppm
- ✓ Generación de CO₂ = 26 alumno@s*0.186 lpm +2 docentes*0.366 lpm = 4,836 +0,732lpm = 5,568 lpm
- ✓ Renovaciones de aire por hora objetivo, ACH=5
- ✓ Caudal de aire exterior necesario: 5 * 138,9 = 694,5 m3/h = 11619lpm

Tendríamos que aplicar ahora la fórmula siguiente:

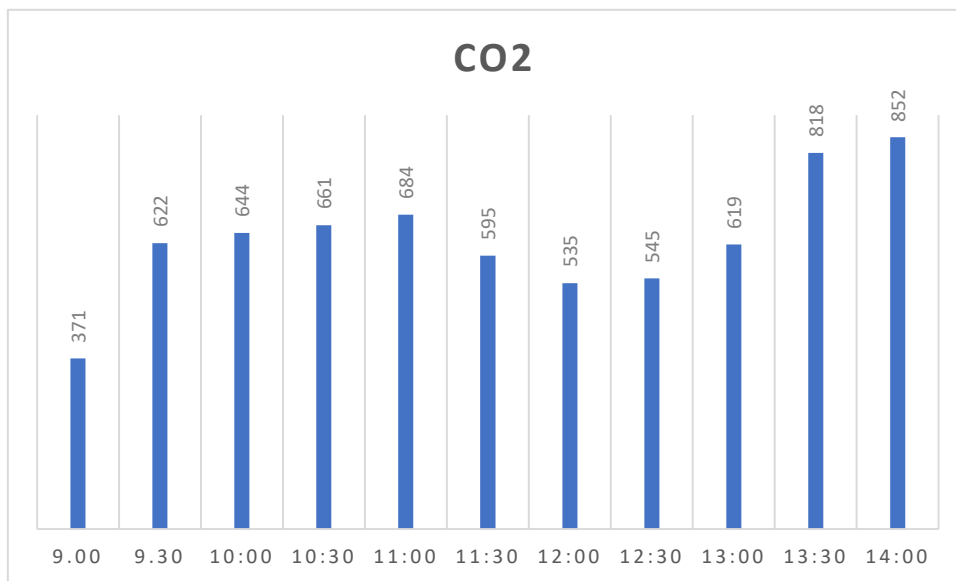
$$C_{\text{estado estable}} = \frac{\text{Generación de CO}_2 + \text{Caudal aire exterior objetivo} * C_{\text{exterior CO}_2} * 1 * 10^{-6}}{\text{Caudal aire exterior objetivo} * 1 * 10^{-6}}$$

Para ello introducimos los datos en el libro Excel que ha editado el CSIC para facilitar los cálculos y obtenemos el siguiente resultado:

C_{estado estable} del aula: 899 ppm (CO₂)

Las medidas obtenidas en el aula fueron las siguientes:

- ✓ Tras el incremento del inicio de la clase, las medidas se mantienen constantes, en una media de: **657,5 ppm (CO₂)**



Conclusión: La ventilación usada es adecuada.

Experiencia 6, realizada el día 4 de diciembre:

Aula de Educación Infantil 4 años A:

Condiciones de ventilación:

- ✓ Ventilación cruzada. Permanecen todas las ventanas cerradas excepto una que permanece abierta solo hasta la mitad.
- ✓ Alumnado: 25



- ✓ Docentes: 3
- ✓ Volumen del aula: Superficie 60,75 x 3 metros de altura = 182,5 m³
- ✓ Concentración de aire en el exterior: 420 ppm
- ✓ Generación de CO₂ = 25 alumno@s*0.186 lpm +3 docentes*0.366 lpm = 4,836 +0,732lpm = 5,568 lpm
- ✓ Renovaciones de aire por hora objetivo, ACH=5
- ✓ Caudal de aire exterior necesario: 5 * 182,5 = 912,5 m³/h = 15118 lpm

Tendríamos que aplicar ahora la fórmula siguiente:

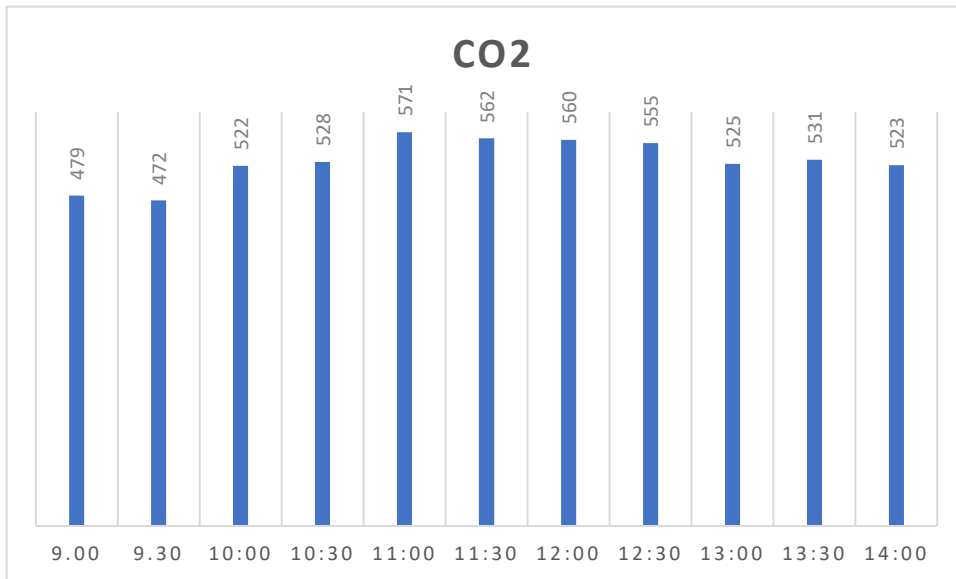
$$C_{\text{estado estable}} = \frac{\text{Generación de CO}_2 + \text{Caudal aire exterior objetivo} * C_{\text{exterior CO}_2} * 1 * 10^{-6}}{\text{Caudal aire exterior objetivo} * 1 * 10^{-6}}$$

Para ello introducimos los datos en el libro Excel que ha editado el CSIC para facilitar los cálculos y obtenemos el siguiente resultado:

C_{estado estable} del aula: 798 ppm (CO₂)

Las medidas obtenidas en el aula fueron las siguientes:

- ✓ Tras el incremento del inicio de la clase, las medidas se mantienen constantes, en una media de: **535 ppm (CO₂)**



Conclusión: La ventilación usada es adecuada.

Experiencia 7, realizada el día 9 de diciembre:

Aula de 5º B:

Condiciones de ventilación:

- ✓ Ventilación cruzada. Permanecen todas las ventanas cerradas excepto una y la puerta.



- ✓ Alumnado: 25
- ✓ Docentes: 2
- ✓ Volumen del aula: Superficie 46,30 x 3 metros de altura = 138,9 m³
- ✓ Concentración de aire en el exterior: 420 ppm
- ✓ Generación de CO₂ = 25 alumno@s*0.186 lpm + 2 docentes*0.366 lpm = 4,65 + 0,732lpm = 5,382 lpm
- ✓ Renovaciones de aire por hora objetivo, ACH=5
- ✓ Caudal de aire exterior necesario: 5 * 138,9 = 694,5 m3/h = 11619 lpm

Tendríamos que aplicar ahora la fórmula siguiente:

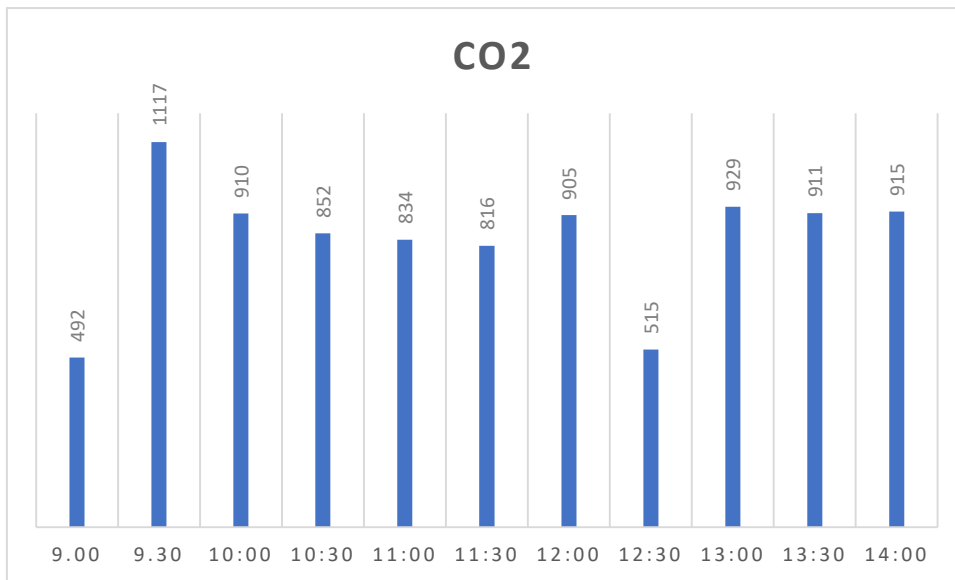
$$C_{\text{estado estable}} = \frac{\text{Generación de CO}_2 + \text{Caudal aire exterior objetivo} * C_{\text{exterior CO}_2} * 1 * 10^{-6}}{\text{Caudal aire exterior objetivo} * 1 * 10^{-6}}$$

Para ello introducimos los datos en el libro Excel que ha editado el CSIC para facilitar los cálculos y obtenemos el siguiente resultado:

C_{estado estable} del aula: 883 ppm (CO₂)

Las medidas obtenidas en el aula fueron las siguientes:

- ✓ Tras el incremento del inicio de la clase, las medidas se mantienen constantes, en una media de: **870 ppm (CO₂)**



Conclusión: La ventilación usada es adecuada. Aunque se pueden observar picos de CO₂ que entran dentro del 20% de desviación del valor objetivo que nos dice el C.S.I.C que es razonable asumir.

Experiencia 8, realizada el día 9 de diciembre:

Aula de Educación Infantil 3 años B:

Condiciones de ventilación:

- ✓ Ventilación cruzada. Permanecen todas las ventanas cerradas excepto una y la puerta. Durante el recreo se mantienen abiertas tres ventanas.
- ✓ Alumnado: 21
- ✓ Docentes: 3
- ✓ Volumen del aula: Superficie 51,60 x 3 metros de altura = 154,8 m³
- ✓ Concentración de aire en el exterior: 420 ppm
- ✓ Generación de CO₂ = 21 alumno@s*0.186 lpm +3 docentes*0.366 lpm =3,906 +1,098lpm=5,004 lpm
- ✓ Renovaciones de aire por hora objetivo, ACH=5
- ✓ Caudal de aire exterior necesario: 5 * 154,8 = 774 m³/h = 12900 lpm

Tendríamos que aplicar ahora la fórmula siguiente:

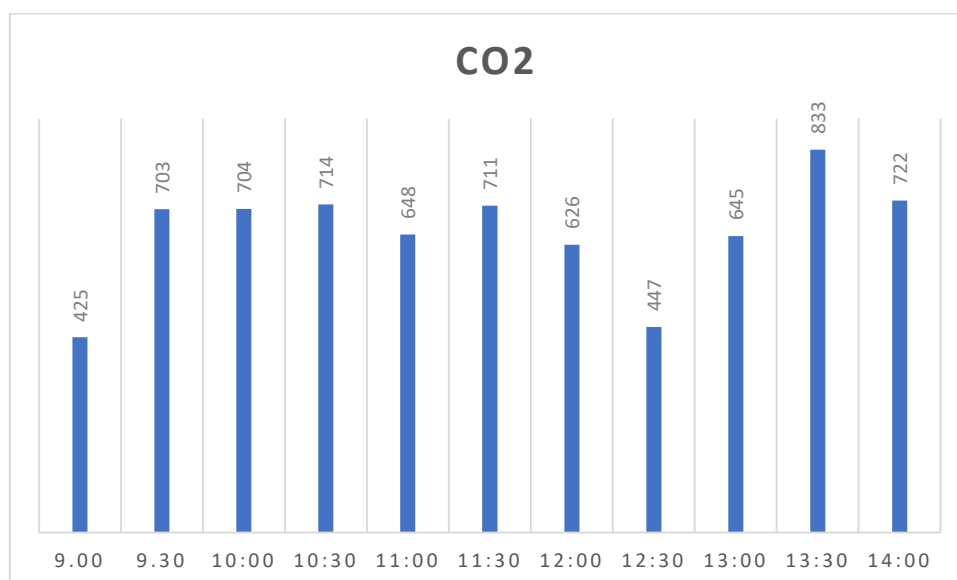
$$C_{\text{estado estable}} = \frac{\text{Generación de CO}_2 + \text{Caudal aire exterior objetivo} * C_{\text{exterior CO}_2} * 1 * 10^{-6}}{\text{Caudal aire exterior objetivo} * 1 * 10^{-6}}$$

Para ello introducimos los datos en el libro Excel que ha editado el CSIC para facilitar los cálculos y obtenemos el siguiente resultado:

C_{estado estable} del aula: 808 ppm (CO₂)

Las medidas obtenidas en el aula fueron las siguientes:

- ✓ Tras el incremento del inicio de la clase, las medidas se mantienen constantes, en una media de: **675 ppm (CO₂)**



Conclusión: La ventilación usada es adecuada.

B) EXPERIMENTO: MEDICIONES SIN VENTILACIÓN CRUZADA:

Experiencia 9, realizada el día 24 de noviembre:

Aula de 1º A:

Condiciones de ventilación:

- ✓ Ventilación cada hora. Permanecen todas las ventanas cerradas y se abren 15 minutos cada hora. Durante el recreo se abren todas las ventanas.
- ✓ Alumnado: 24
- ✓ Docentes: 3
- ✓ Volumen del aula: Superficie 51,60 x 3 metros de altura = 154,8 m³
- ✓ Concentración de aire en el exterior: 420 ppm
- ✓ Generación de CO₂ = 24 alumno@s*0.186 lpm +3 docentes*0.366 lpm = 4,464 +1,098lpm = 5,562lpm
- ✓ Renovaciones de aire por hora objetivo, ACH=5
- ✓ Caudal de aire exterior necesario: 5 * 154,8 = 774 m³/h = 12900 lpm

Tendríamos que aplicar ahora la fórmula siguiente:

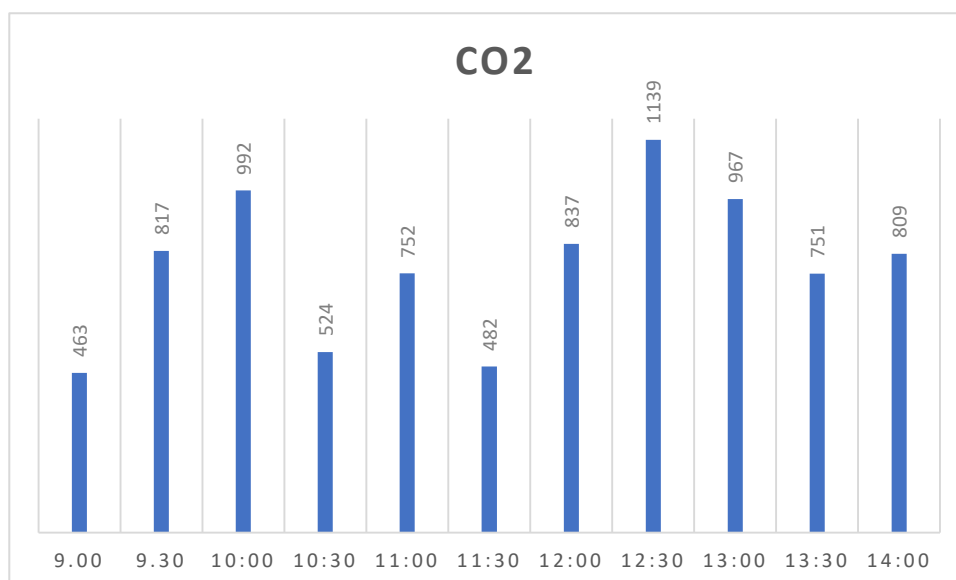
$$C_{\text{estado estable}} = \frac{\text{Generación de CO}_2 + \text{Caudal aire exterior objetivo} * C_{\text{exterior CO}_2} * 1 * 10^{-6}}{\text{Caudal aire exterior objetivo} * 1 * 10^{-6}}$$

Para ello introducimos los datos en el libro Excel que ha editado el CSIC para facilitar los cálculos y obtenemos el siguiente resultado:

C_{estado estable} del aula: 823 ppm (CO₂)

Las medidas obtenidas en el aula fueron las siguientes:

- ✓ Tras el incremento del inicio de la clase, las medidas se mantienen en una media de: **807 ppm (CO₂)**



Conclusión: La ventilación usada es adecuada. La media de las medidas tomadas (807), está por debajo del $C_{\text{estado estable}}$ (823). No obstante, se observan picos de medidas superiores al $C_{\text{estado estable}}$, que entran dentro del 20% de desviación del valor objetivo que nos dice el C.S.I.C que es razonable asumir.

Experiencia 10, realizada el día 26 de noviembre:

Aula de 1º B:

Condiciones de ventilación:

- ✓ Ventilación cada hora. Permanecen todas las ventanas cerradas y se abren 15 minutos cada hora. Durante el recreo se abren todas las ventanas
- ✓ Alumnado: 25
- ✓ Docentes: 3
- ✓ Volumen del aula: Superficie 51,60 x 3 metros de altura = 154,8 m³
- ✓ Concentración de aire en el exterior: 420 ppm
- ✓ Generación de CO₂ = 25 alumno@s*0.186 lpm + 3 docentes*0.366 lpm = 4,65 + 1,098lpm=5,748 lpm
- ✓ Renovaciones de aire por hora objetivo, ACH=5
- ✓ Caudal de aire exterior necesario: 5 * 154,8 = 774 m³/h = 12900 lpm

Tendríamos que aplicar ahora la fórmula siguiente:

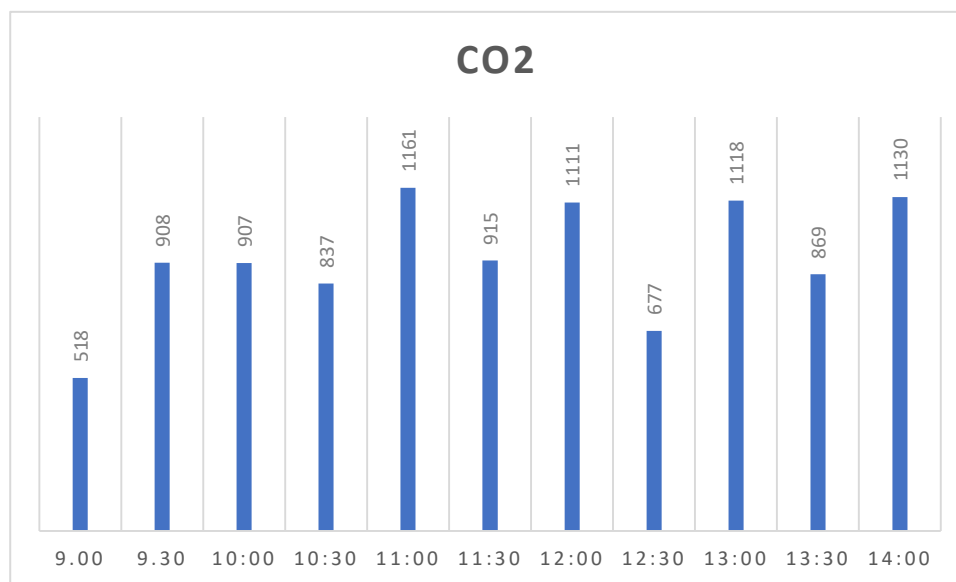
$$C_{\text{estado estable}} = \frac{\text{Generación de CO}_2 + \text{Caudal aire exterior objetivo} * C_{\text{exterior CO}_2} * 1 * 10^{-6}}{\text{Caudal aire exterior objetivo} * 1 * 10^{-6}}$$

Para ello introducimos los datos en el libro Excel que ha editado el CSIC para facilitar los cálculos y obtenemos el siguiente resultado:

$C_{\text{estado estable}}$ del aula: 866 ppm (CO₂)

Las medidas obtenidas en el aula fueron las siguientes:

- ✓ Tras el incremento del inicio de la clase, las medidas se mantienen en una media de: **963 ppm (CO₂)**



Conclusión: La ventilación usada no es adecuada, hubiese sido necesario un pequeño incremento de ventilación.

Observaciones: Durante el periodo de recreo estaba lloviendo, con lo cual el alumnado permaneció en la clase durante las cinco horas lectivas.

Experiencia 11, realizada el día 27 de noviembre:

Aula de 2º A:

Condiciones de ventilación:

- ✓ Ventilación cada hora. Permanecen todas las ventanas cerradas y se abren 15 minutos cada hora. Durante el recreo se abren todas las ventanas
- ✓ Alumnado: 19
- ✓ Docentes: 2
- ✓ Volumen del aula: Superficie 51,60 x 3 metros de altura = 154,8 m³
- ✓ Concentración de aire en el exterior: 420 ppm
- ✓ Generación de CO₂ = 19 alumno@s*0.186 lpm + 2 docentes*0.366 lpm = 3,534 +0,732lpm = 4,226 lpm
- ✓ Renovaciones de aire por hora objetivo, ACH=5
- ✓ Caudal de aire exterior necesario: 5 * 154,8 = 774 m³/h = 12900 lpm

Tendríamos que aplicar ahora la fórmula siguiente:

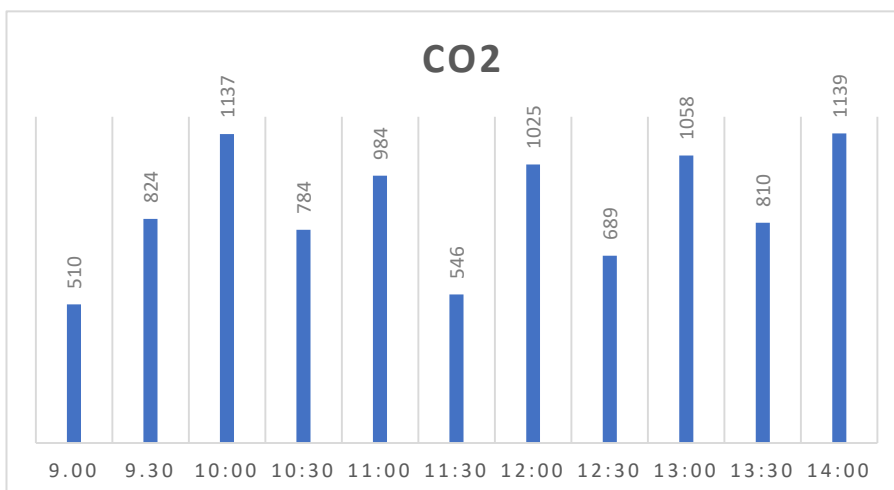
$$C_{\text{estado estable}} = \frac{\text{Generación de CO}_2 + \text{Caudal aire exterior objetivo} * C_{\text{exterior CO}_2} * 1 * 10^{-6}}{\text{Caudal aire exterior objetivo} * 1 * 10^{-6}}$$

Para ello introducimos los datos en el libro Excel que ha editado el CSIC para facilitar los cálculos y obtenemos el siguiente resultado:

C_{estado estable} del aula: 751 ppm (CO₂)

Las medidas obtenidas en el aula fueron las siguientes:

- ✓ Tras el incremento del inicio de la clase, las medidas se mantienen en una media de: **899 ppm (CO₂)**



Conclusión: La ventilación usada no es adecuada, hubiese sido necesario un pequeño incremento de ventilación.

Observaciones: Durante el periodo de recreo estaba lloviendo, con lo cual el alumnado permaneció en la clase durante las cinco horas lectivas.

Experiencia 12, realizada el día 30 de noviembre:

Aula de 2º B:

Condiciones de ventilación:

- ✓ Ventilación cada hora. Permanecen todas las ventanas cerradas y se abren 15 minutos cada hora. Durante el recreo se abren todas las ventanas
- ✓ Alumnado: 20
- ✓ Docentes: 2
- ✓ Volumen del aula: Superficie 60,75 x 3 metros de altura = 182,5 m³
- ✓ Concentración de aire en el exterior: 420 ppm
- ✓ Generación de CO₂ = 20 alumno@s*0.186 lpm + 2 docentes*0.366 lpm = 3,72 + 0,732lpm = 4,452lpm
- ✓ Renovaciones de aire por hora objetivo, ACH=5
- ✓ Caudal de aire exterior necesario: 5 * 182,5 = 774 m³/h = 15188 lpm

Tendríamos que aplicar ahora la fórmula siguiente:

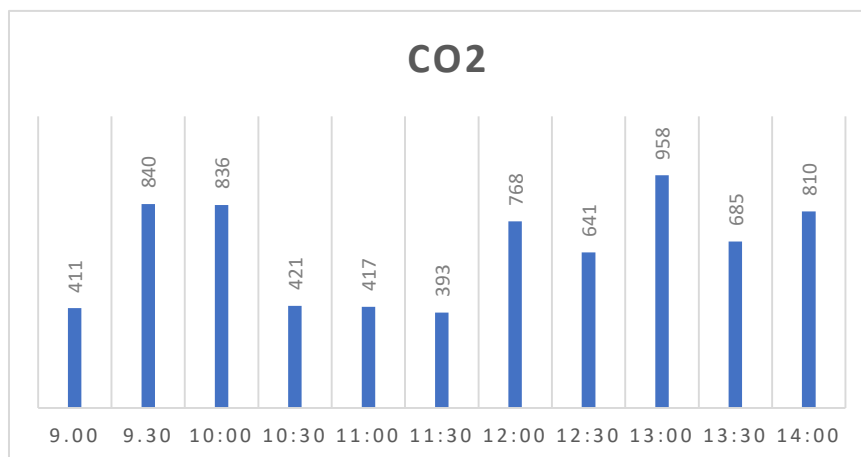
$$C_{\text{estado estable}} = \frac{\text{Generación de CO}_2 + \text{Caudal aire exterior objetivo} * C_{\text{exterior CO}_2} * 1 * 10^{-6}}{\text{Caudal aire exterior objetivo} * 1 * 10^{-6}}$$

Para ello introducimos los datos en el libro Excel que ha editado el CSIC para facilitar los cálculos y obtenemos el siguiente resultado:

C_{estado estable} del aula: 713 ppm (CO₂)

Las medidas obtenidas en el aula fueron las siguientes:

- ✓ Tras el incremento del inicio de la clase, las medidas se mantienen en una media de: **676,9 ppm (CO₂)**



Conclusión: La ventilación usada es adecuada. La media de las medidas tomadas (676,9), está por debajo del $C_{\text{estado estable}}$ (713). No obstante, se observan picos de medidas superiores al $C_{\text{estado estable}}$, que entran dentro del 20% de desviación del valor objetivo que nos dice el C.S.I.C que es razonable asumir.

Experiencia 13, realizada el día 1 de diciembre:

Aula de 4º A:

Condiciones de ventilación:

- ✓ Ventilación cada hora. Permanecen todas las ventanas cerradas y se abren 15 minutos cada hora. Durante el recreo se abren todas las ventanas
- ✓ Alumnado: 25
- ✓ Docentes: 2
- ✓ Volumen del aula: Superficie 48,20 x 3 metros de altura = 144,6 m³
- ✓ Concentración de aire en el exterior: 420 ppm
- ✓ Generación de CO₂ = 25 alumno@s*0.186 lpm + 2 docentes*0.366 lpm = 4,65 + 0,732lpm = 5,382 lpm
- ✓ Renovaciones de aire por hora objetivo, ACH=5
- ✓ Caudal de aire exterior necesario: 5 * 144,6 = 723 m³/h = 12054lpm

Tendríamos que aplicar ahora la fórmula siguiente:

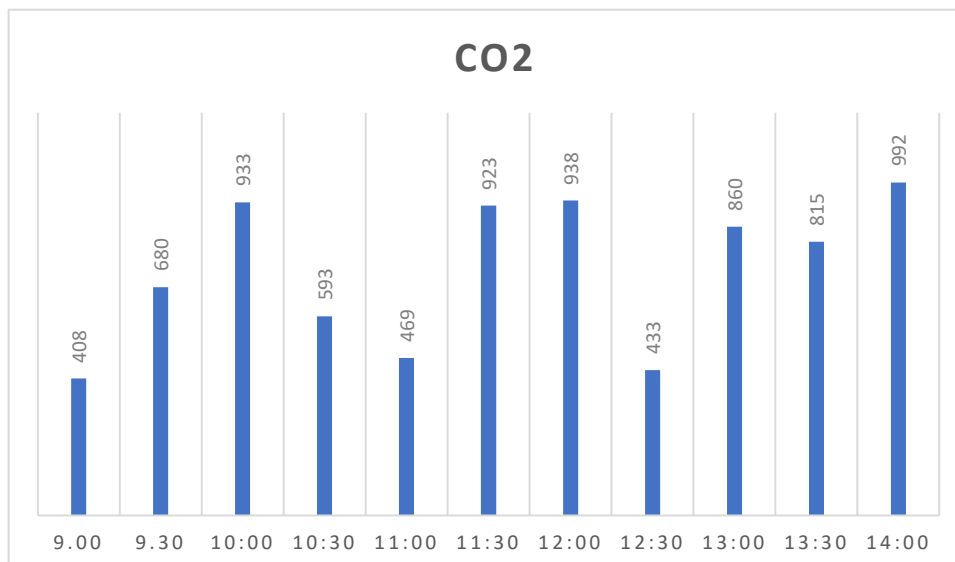
$$C_{\text{estado estable}} = \frac{\text{Generación de CO}_2 + \text{Caudal aire exterior objetivo} * C_{\text{exterior CO}_2} * 1 * 10^{-6}}{\text{Caudal aire exterior objetivo} * 1 * 10^{-6}}$$

Para ello introducimos los datos en el libro Excel que ha editado el CSIC para facilitar los cálculos y obtenemos el siguiente resultado:

$C_{\text{estado estable}}$ del aula: 864 ppm (CO₂)

Las medidas obtenidas en el aula fueron las siguientes:

- ✓ Tras el incremento del inicio de la clase, las medidas se mantienen en una media de: **763,6 ppm (CO₂)**



Conclusión: La ventilación usada es adecuada. La media de las medidas tomadas (763,6), está por debajo del $C_{\text{estado estable}}$ (864).. No obstante, se observan picos de medidas superiores al $C_{\text{estado estable}}$, que entran dentro del 20% de desviación del valor objetivo que nos dice el C.S.I.C que es razonable asumir.

Experiencia 14, realizada el día 1 de diciembre:

Aula de Educación Infantil 5 años B:

Condiciones de ventilación:

- ✓ Ventilación cada hora. Permanecen todas las ventanas cerradas y se abren 15 minutos cada hora. Durante el recreo se abren todas las ventanas
- ✓ Alumnado: 23
- ✓ Docentes: 1
- ✓ Volumen del aula: Superficie 54,50 x 3 metros de altura = 163,5 m³
- ✓ Concentración de aire en el exterior: 420 ppm
- ✓ Generación de CO₂ = 23 alumno@s*0.186 lpm +2 docentes*0.366 lpm = 4,278 +0,732lpm = 5,382 lpm
- ✓ Renovaciones de aire por hora objetivo, ACH=5
- ✓ Caudal de aire exterior necesario: 5 * 163,5 = 817,5 m3/h = 13600 lpm

Tendríamos que aplicar ahora la fórmula siguiente:

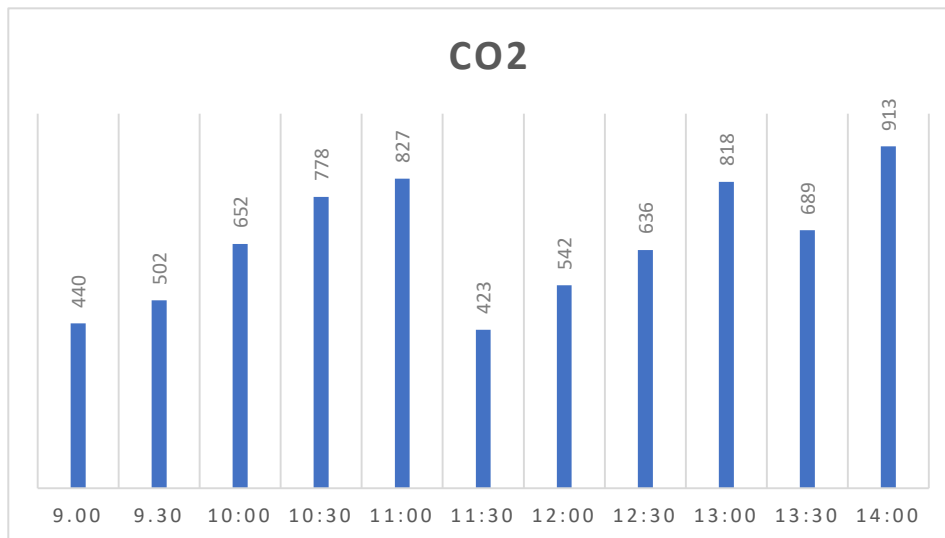
$$C_{\text{estado estable}} = \frac{\text{Generación de CO}_2 + \text{Caudal aire exterior objetivo} * C_{\text{exterior CO}_2} * 1 * 10^{-6}}{\text{Caudal aire exterior objetivo} * 1 * 10^{-6}}$$

Para ello introducimos los datos en el libro Excel que ha editado el CSIC para facilitar los cálculos y obtenemos el siguiente resultado:

$C_{\text{estado estable}}$ del aula: 761 ppm (CO₂)

Las medidas obtenidas en el aula fueron las siguientes:

- ✓ Tras el incremento del inicio de la clase, las medidas se mantienen en una media de: **678,6 ppm (CO₂)**



Conclusión: La ventilación usada es adecuada. La media de las medidas tomadas (678,6), está por debajo del $C_{\text{estado estable}}$ (761). No obstante, se observan picos de medidas superiores al $C_{\text{estado estable}}$, que entran dentro del 20% de desviación del valor objetivo que nos dice el C.S.I.C que es razonable asumir.

Observaciones: A las 10:00 se dejó sin abrir las ventanas, durante los 15 minutos que correspondían, para analizar la evolución de las medidas en esta nueva situación.

3. CONDICIONES AMBIENTALES EN ESPACIOS INTERIORES. TEMPERATURA Y HUMEDAD

HUMEDAD RELATIVA:

La temperatura y la humedad relativa (HR) podrían considerarse factores de riesgo modificables en la transmisión de SARS-CoV-2.

A temperaturas interiores típicas, una HR superior al 40% es perjudicial para la supervivencia de muchos virus, incluidos los coronavirus estacionales humanos (CoV) y el virus de la gripe. Una HR más elevada disminuye la dispersión en el aire al mantener gotas más grandes que contienen partículas virales, lo que hace que se depositen en las superficies más rápidamente.

En el otro extremo, una HR superior al 60% podría promover el crecimiento de moho, lo que induce efectos potencialmente perjudiciales para la salud.

Por todo lo expuesto, se puede decir que la HR ideal en ambientes interiores estaría entre el 40% al 60%. Estas condiciones pueden ayudar a limitar la propagación y supervivencia del SARS-CoV-2 en estos espacios, al tiempo que se minimiza el riesgo de crecimiento de moho y se mantienen las barreras mucosas hidratadas e intactas de las personas.

En las mediciones realizadas los datos de Humedades Relativas tomados han estado comprendidos entre los parámetros idóneos (40 % y 60 %), excepto los días 24 de noviembre (32,72 % HR) y el día 3 de diciembre (34,09 %).

TEMPERATURA:

La temperatura aconsejada por la OMS en ambientes interiores es de 21 grados. En los días que se han tomado datos, la temperatura ambiente de las aulas ha oscilado entre los 19,2 °C y los 22,08 °C.

Diremos, además, que en la percepción de la sensación térmica de un espacio influyen, también dos factores asociados a las personas:

- a) **La actividad metabólica**, cuya unidad es el “**met**”. Siendo **1 met** la cantidad de energía (oxígeno) que el cuerpo utiliza cuando se está sentado relajado, por ejemplo, leyendo un libro.
- b) **El grado de vestimenta**, cuya unidad es el “**clo**”. El nombre procede del inglés *cloth*, vestimenta. “Clo” es el valor de aislamiento de las prendas que utilizamos a diario. La unidad se define como el aislamiento térmico necesario para mantener la temperatura estable y cómoda a la piel durante 8 horas, cuando una persona está en reposo a una temperatura de 20 °C, con una humedad relativa del 50% y sin influencia de la radiación solar.

En concreto una vestimenta de invierno ligera: Camisa de manga larga, pantalón, jersey, calcetines gruesos y zapatos, se considera con un valor 1 clo.

En pleno invierno, como estamos ahora, se debería incrementar al menos hasta 1,5 clo, aumentando el número de prendas o bien la protección térmica de las mismas.

Por último añadir, que para determinar la temperatura de confort, el Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE) especifica, que para una actividad metabólica entre 1 y 1,2 met, esencialmente sedentaria (Debemos tener en cuenta que un trabajo mental en escritorio como el que realizan los niños supera estos valores), y una humedad relativa al 50% la temperatura operativa en la que se consigue un número de usuarios satisfechos con el bienestar térmico de alrededor del 95%, es la que se recoge en la siguiente gráfica:

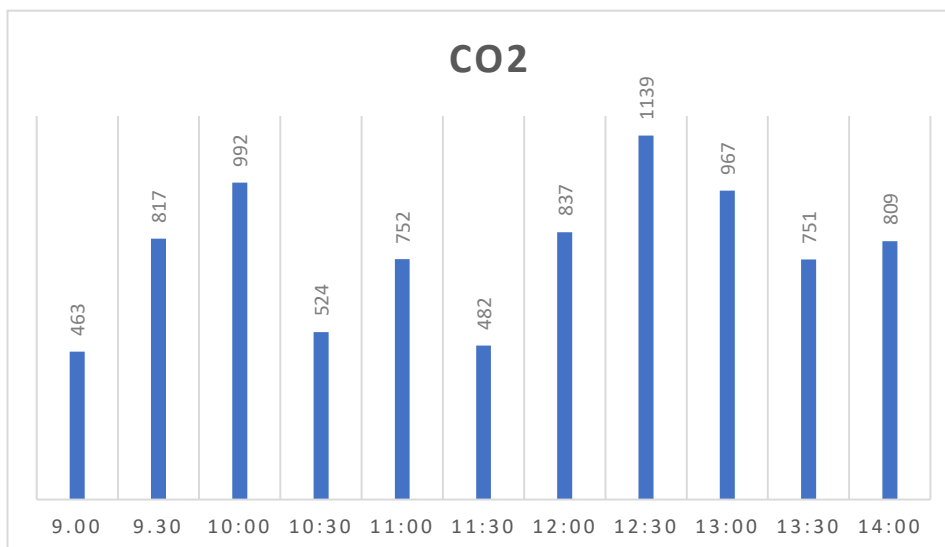
Estación	Grado de vestimenta (clo)	Temperatura operativa (°C)	Tolerancia (°C)
Invierno	≈ 1,0	22,0	± 2,0
Verano	≈ 0,5	24,5	± 1,5

Y finalizamos este apartado con lo recogido en el informe técnico del Ministerio de Sanidad que expresa que en situaciones de alta transmisión comunitaria de SARS-CoV2, se debe priorizar la ventilación natural frente las condiciones termo- higrométricas necesarias para el confort térmico o a los requerimientos de eficiencia energética, hasta donde sea razonable.

4. OTROS ASPECTOS INTERESANTES DE LAS MEDICIONES REALIZADAS.

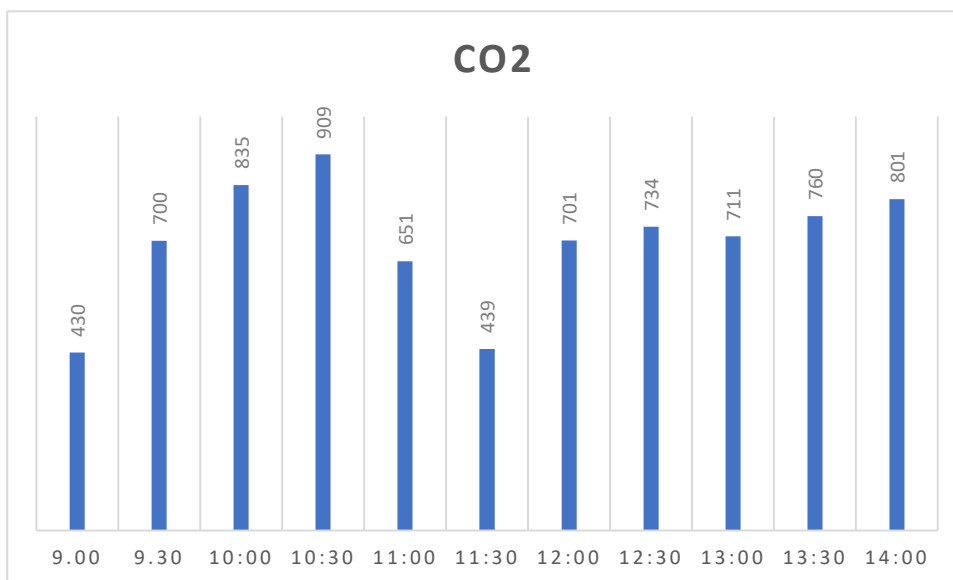
A) ¿Qué sucede si cerramos la puerta del aula? Experimento realizado SIN ventilación cruzada.

Como se puede observar en la gráfica, la puerta se cerró a las 12:10 horas para realizar una actividad de inglés, y rápidamente subieron los valores de CO₂ hasta alcanzar los 1139 ppm, una vez abierta la puerta aun estando las ventanas cerradas, bajó el nivel de CO₂ hasta 967 ppm.



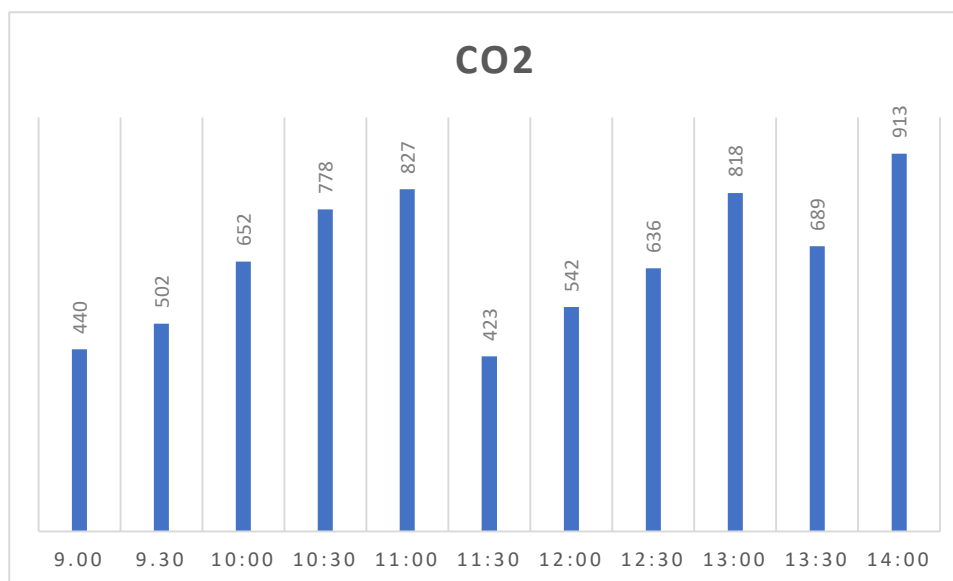
B) ¿Qué sucede si realizamos una actividad motriz dentro del aula? Experimento realizado CON ventilación cruzada.

En esta jornada se realizó una actividad motriz dentro del aula a las 10:30 horas y los valores subieron hasta los 909 ppm, encontrándose el aula en situación de ventilación cruzada.



C) ¿Qué sucede, si en el experimento 2, no ventilamos durante 15 minutos cada hora? Experimento realizado SIN ventilación cruzada.

En los experimentos en los que se ventilaba durante 15 minutos a la hora se puede observar que, si este proceso se deja de realizar, los niveles de CO₂ crecen de forma paulatina. En la gráfica podemos observar que a las 10 horas se dejó sin ventilar durante los 15 minutos que correspondían.



5. CONCLUSIONES:

Tal y como establecen los estudios técnicos del Ministerio, la misión de la **ventilación** es el desplazamiento y/o la dilución del CO₂ exhalado tras la respiración, y lo que es más importante en la situación actual, el desplazamiento/dilución de los aerosoles potencialmente infectivos que haya suspendidos en el aire. Considerando a la ventilación natural como la primera opción, ya que permite la entrada de aire limpio al aula, que supone renovación real del aire. Por ello, y a tenor de los resultados obtenidos en las mediciones llevadas a cabo en el Centro:

- La **ventilación cruzada** será la que se llevará a cabo en nuestro centro, adaptándola a las diferentes situaciones climatológicas, ya que ha resultado ser la más efectiva para controlar la calidad del aire, pues en todos los experimentos se ha mantenido el nivel de CO₂ en concentraciones inferiores al **Control de estado estable**:
 - ✓ Días con poco viento o nulo: Una ventana abierta y puerta contraria abierta.
 - ✓ Días con viento medio: Media ventana abierta y puerta contraria abierta.
 - ✓ Días con viento fuerte: Diez centímetros de ventana abierta y puerta contraria abierta.
- La humedad relativa durante el invierno, en los periodos sin lluvias, se controlará con medios mecánicos (recipientes de agua en los radiadores).
- La temperatura del interior se controlará:
 - a) Ajustando el nivel de apertura de la ventana y puerta del aula y las puertas exteriores en los días más fríos, tal y como hemos detallado anteriormente.
 - b) Apoyándonos en el sistema de calefacción del centro.
 - c) Adecuando la vestimenta del alumnado y profesorado al valor de invierno de 1,5 clo.
 - ✓ Un 1,5 clo se consigue con ropa interior de algodón con alto valor térmico con mangas largas y el máximo largo en las piernas (0,16), camisa o polo (0,25), jersey grueso (0,35), pantalones normales (0,25) chaleco (0,35), calcetines de lana con alto valor térmico (0,10) y zapatos o botas de invierno (0,10).



- El profesorado tendrá en cuenta que siempre que se realice una actividad motriz dentro del aula, deberá de ir acompañada de aumento del flujo de ventilación durante su realización.
- El profesorado que necesite cerrar la puerta del aula para realizar con garantías de éxito una actividad concreta, deberá aumentar el flujo de ventilación mediante la apertura de ventanas el tiempo de realización de la actividad.