

EVALUACIÓN DE LA VENTILACIÓN EN LOS EDIFICIOS DEL CAMPUS DE CIUDAD REAL

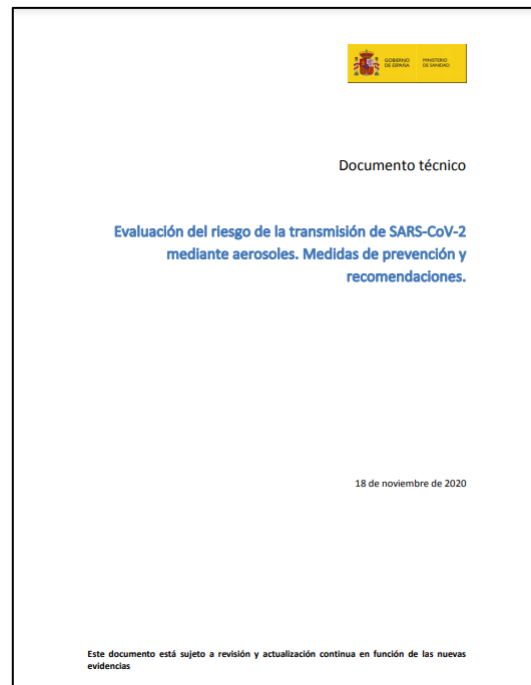


- Florentina Villanueva García.
Investigadora INCRECYT

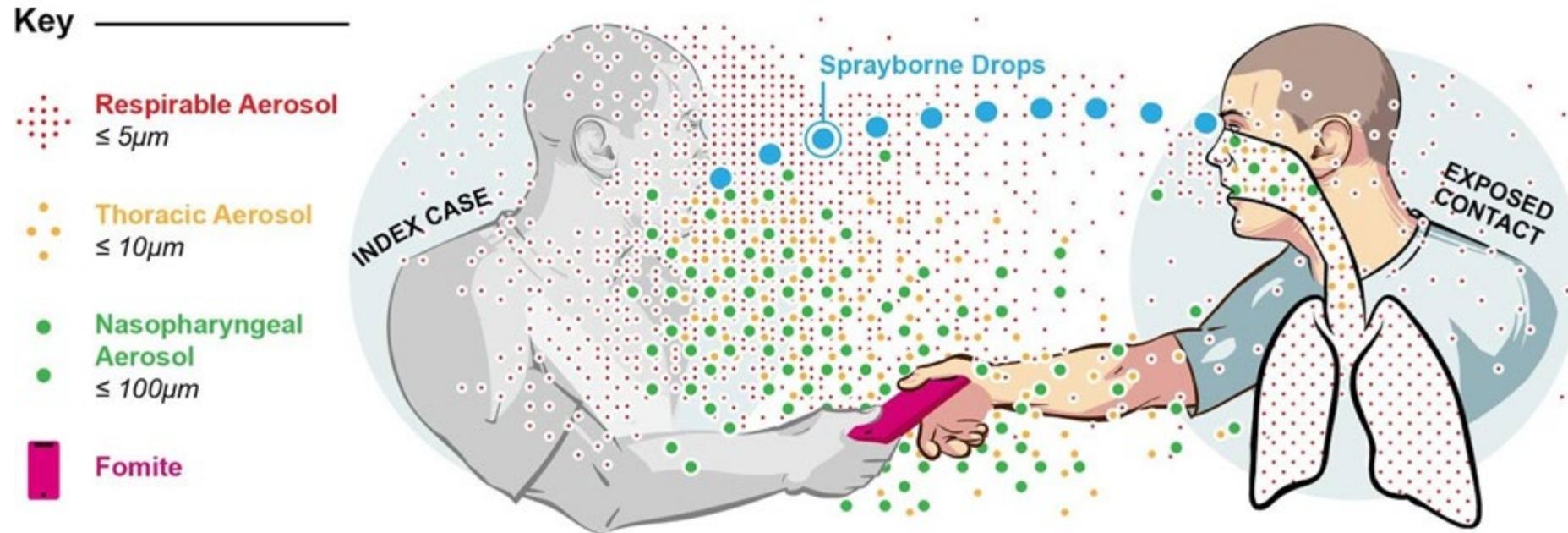
florentina.vgarcia@uclm.es

El **plan de mediciones** se ha diseñado teniendo en cuenta las recomendaciones de los siguientes documentos:

- *Evaluación del riesgo de la transmisión de SARS-CoV-2 mediante aerosoles. Medidas de prevención y recomendaciones.* Ministerio de Sanidad
- *Guía para la ventilación en aulas* elaborada por el CSIC-IDAEA y Mesura. Ministerio de Ciencia e Innovación.



Las tres formas posibles de contagio



Aerosol: partículas menores de $100\ \mu\text{m}$ capaces de permanecer en el aire suspendidas por un tiempo variable (segundos las mayores y horas las más pequeñas).



¿Cómo nos contagiamos?

- Inhalando aerosoles en proximidad cercana (hablando, 15 min.)
- Compartiendo el aire en una habitación
- Menos probable a través de superficies
- Si alguien te tose o te estornuda en la cara (poco probable)





Transmisión del SARS-CoV-2 por aerosoles

Objetivo

REDUCIR EL RIESGO REDUCIENDO LA CANTIDAD DE AEROSOL
POTENCIALMENTE INFECCIOSOS QUE PUEDAN SER INHALADOS

¿Cómo conseguimos el Objetivo?

- Exterior siempre preferible al interior, el riesgo de contagio es 20 veces inferior

REDUCCIÓN DE LA EMISIÓN

- Mascarilla bien ajustada
- Silencio y Volumen bajo

REDUCCIÓN DE LA EXPOSICIÓN

- Mascarilla bien ajustada
- Reducción del tiempo
- Distancia Interpersonal
- Ventilación y/o purificación

Medir CO₂
Medida indirecta
de la ventilación



¿Cuánto se debe AIREAR?

- Recomendación: **>5 Renovaciones/hora (ACH, *Air Changes per Hour*)**
 - Si 100 m^3 (aula 40 m^2) \rightarrow 5 ACH=500 m^3/h
- (otras, p.ej. 12.5-14 l/s/p)

BUILDING  FOR HEALTH

HARVARD
T.H. CHAN
SCHOOL OF PUBLIC HEALTH

TARGET IS AT LEAST 5 TOTAL AIR CHANGES PER HOUR



Guía para ventilación en aulas

Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua, IDAEA-CSIC
Mesura



Limites de CO₂ como indicador indirecto del riesgo de infección

El riesgo de infección (aerosoles) es proporcional a la concentración de CO₂:

- Se evalúa mediante la **diferencia** de CO₂ entre **interior y exterior** (ΔCO_2).
- Si $\Delta\text{CO}_2 > 0$, ya existe **riesgo**.

NIVELES DE CO ₂ (CO _{2,ext} ≈ 420 ppm)	ΔCO_2 int-ext	% del aire inhalado	Si se instala filtro HEPA	
≥ 1000 ppm	600 ppm	1,47%	límite	Límite de la OMS
≥ 900 ppm	500 ppm	1,21%	atención	Límite del RITE (IDA 2)
≥ 800 ppm	400 ppm	0,96%	admisible	-
≥ 700 ppm	300 ppm	0,71%	adecuado	-
< 700 ppm	300 ppm	0,71%	adecuado	Harvard/Guías IDAEA-CSIC-LIFTEC
< 550 ppm	150 ppm	0,33%	adecuado	Pasillos y ZZCC (espacios "aliviadero")



PROYECTO PILOTO UCLM

OBJETIVO:

Evaluar la ventilación de 14 edificios del campus de Ciudad Real clasificados en tres categorías TIPO A, TIPO B y Tipo C según el sistema de ventilación empleado.

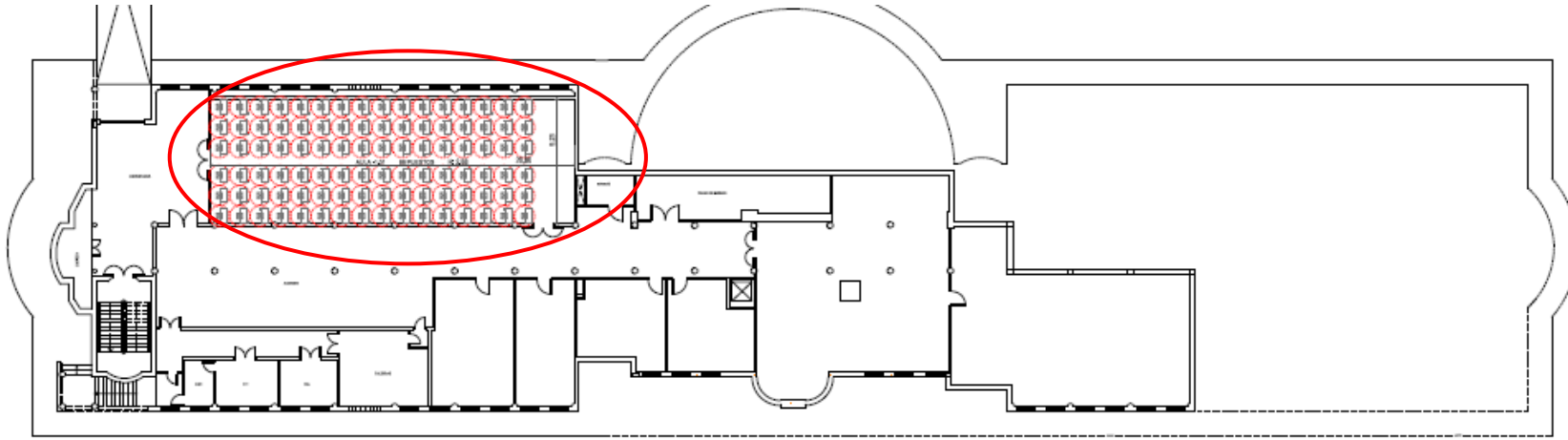
- **Tipo A:** Sistema de climatización por climatizador o rooftop con ventilación y renovación de aire ajustada al 100% mediante free-cooling. No necesita ventilación natural
- **Tipo B:** sistema climatización mediante fancoils o unidades splits y climatizador con ventilación por aire primario. Se requiere ventilación natural como mínimo durante 30 min (a primera hora, dos veces durante la jornada y a última hora)
- **Tipo C:** sistema de climatización mediante fancoils, splits o radiadores, sin aporte de ventilación forzada por aire primario exterior. Apertura continua de ventanas y puertas

RITE: IDA 2 para edificios Tipo A caudal de aire exterior: 12,5 l/s por persona

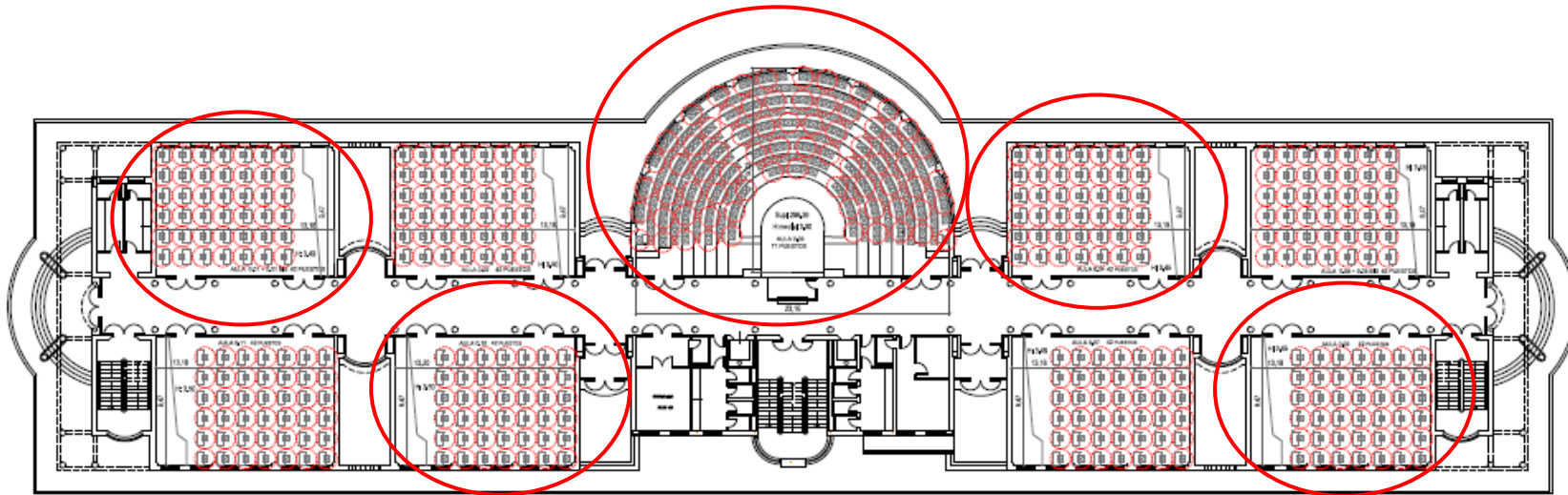
METODOLOGÍA:

- 162 aulas de un total de 190 repartidas en 14 edificios seleccionadas teniendo en cuenta la representatividad dentro del edificio y considerarse “aulas tipo” y por tanto similares a otras aulas con el mismo volumen y ocupación.
 - EDIFICIOS, AULAS A EVALUAR Y CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE VENTILACIÓN

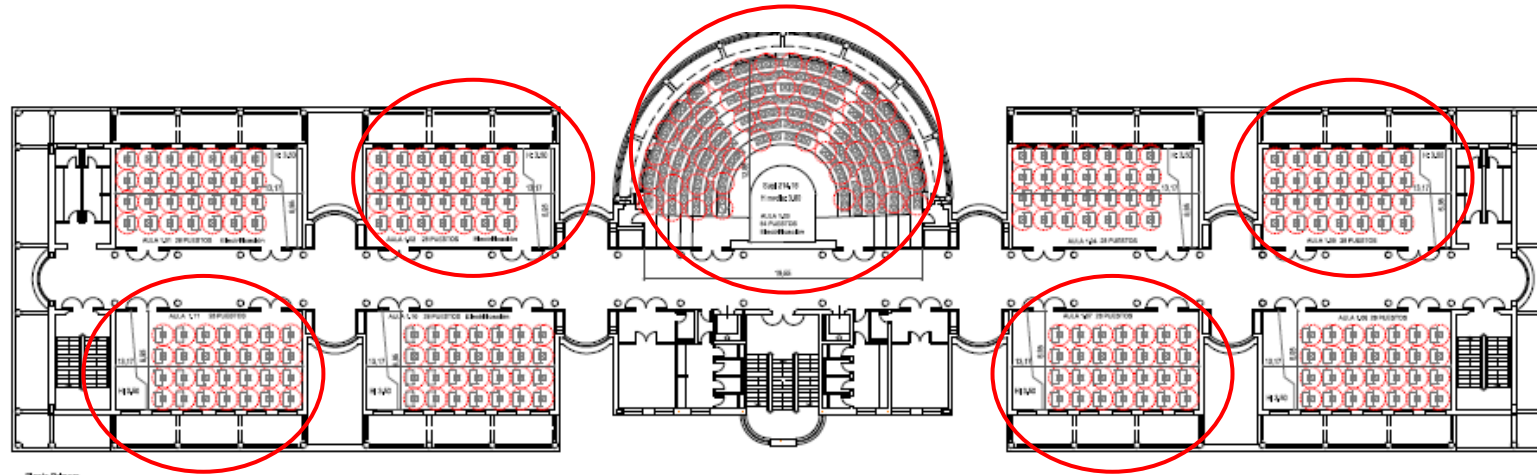
CODIGO	EDIFICIOS	numero de aulas totales	CLASIFICACIÓN AULAS
301	Fermín Caballero (INFORMÁTICA)	8	TIPO B Y C
301B	MODULO B	4	TIPO B
302	Facultad de Químicas	5	TIPO A
303	Juan de Mariana-Aulario Polivalente	18	TIPO A/sótano TIPO B
305	José Castillejo-Enfermería	9	TIPO C
306	Lorenzo Luzuriaga-Magisterio (EDUCACIÓN)	19	TIPO B Y C
309	Agronomos (ITA)	17	TIPO A,B,C
311	Edificio Storr Almadén	10	TIPO C
311D	Aulario Almadén	4	TIPO C
312	Facultad de Letras	11	TIPO A
313A	Rectorado Paraninfo	1	TIPO A
320	Facultad de Derecho	15	TIPO A Y B (seminarios)
322	IREC	1	
342	Facultad de Medicina	21	TIPO B
319	Edificio Politécnico	19	TIPO B Y C
TOTAL		TOTAL aulas	
15		162	



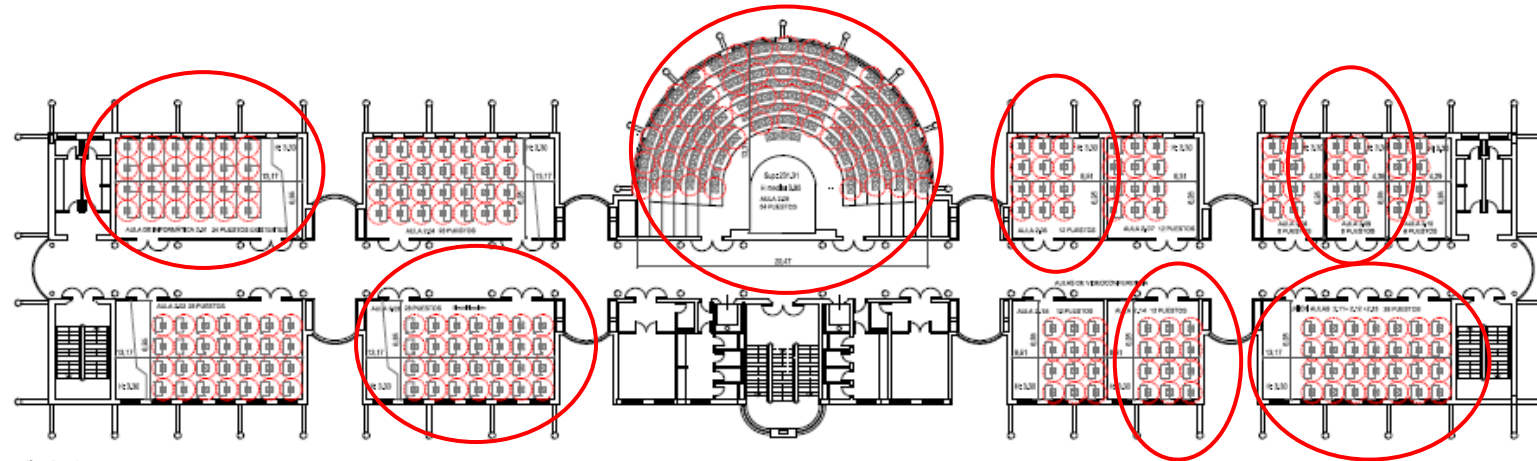
Planta Sótano



Planta Baja



Planta Primera



Planta Segunda

METODOLOGÍA:

MEDIDORES DE CO₂: ARANET4 PRO CON BASE STATION Y SOFTWARE

- Tecnología NDIR
- Intervalo de medición: 1 minuto
- Medida simultánea de temperatura y humedad relativa
- Precisión de la medición: CO₂ (0-2000 ppm \pm 50 ppm);
Temperatura: \pm 0,4°C; Humedad relativa: \pm 3 %.



Versión y fecha: 1.0, 27/02/2021

Guía sobre medidores de CO₂ disponibles en España

Florentina Villanueva^{1,2}, Elena Jiménez^{1,2}, José Manuel Felisi³, Tomás Garrido³, José Luis Jiménez⁴, Mila Ródenas⁵ y Amalia Muñoz⁵

¹ Instituto de Investigación en Combustión y Contaminación Atmosférica. Universidad de Castilla-La Mancha (ICCA-UCLM), Camino de Moledores, s/n. 13071 Ciudad Real.

² Parque Científico y Tecnológico de Castilla-La Mancha. P. Innovación, 1, 02006. Albacete.

³ Asociación Mesura, Valencia.

⁴ Departamento de Química y CIRES. Universidad de Colorado, Boulder (Colorado) CO 80309-0216. Estados Unidos.

⁵ Fundación CEAM. C/ Charles R. Darwin 14. Parque tecnológico 46980 Paterna, Valencia.

Twitter: @FloriVilla3 @EJimenez_UCLM @felisi2punto0 @TomsGarridoPre1 @jlcolorado @Mila_Rodenas @amaliaceam

Contacto: Florentina.VGarcia@uclm.es; Elena.Jimenez@uclm.es; jmfelisi@gmail.com, tgarridoper@gmail.com; jose.jimenez@colorado.edu; mila@ceam.es; amalia@ceam.es

- **Link a este documento:** <https://bit.ly/medidoresCO2>;
- **Link English version:** <https://bit.ly/monitorsCO2>



<https://bit.ly/medidoresCO2>

ANÁLISIS DE DATOS:

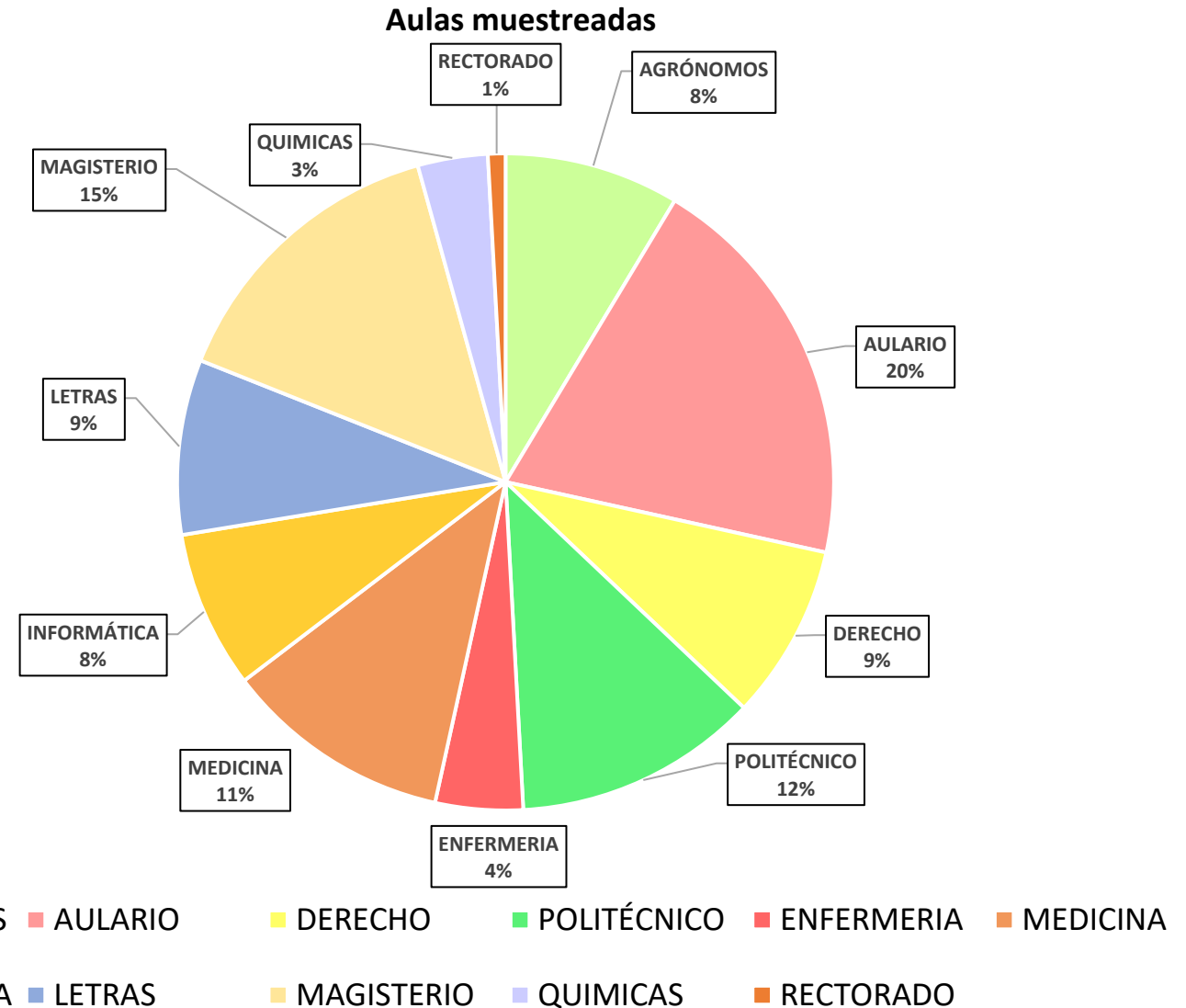
Obtenemos la siguiente información:

- Evolución del CO_2 en el aula en función de la ocupación y la apertura de ventanas en aquellos edificios que requieran ventilación natural. En los de tipo A se ha evaluado si el aporte de aire exterior es suficiente para mantener los niveles de CO_2 exhalados por los alumnos y el docente por debajo del recomendado en función de las renovaciones de aire por hora (ACH) establecidas. Para ello se ha seguido el procedimiento descrito en la Guía de ventilación de las aulas publicada por el CSIC.
- Cálculo del CO_2 en el estado estable teniendo en cuenta los ACH objetivo que se calcularán en función del volumen del aula y la ocupación y ACH recomendados en la guía de ventilación de Harvard que son 5-6.
- Recomendaciones y establecimiento de un nuevo protocolo de ventilación en aquellas aulas de Tipo B o Tipo C en las que sea necesario

Total: 116 (a falta de muestrear en Almadén)

RESULTADOS:

CODIGO	EDIFICIOS	numero de aulas totales	Número de aulas medidas
301	Fermín Caballero (INFORMÁTICA)	8	5
301B	MODULO B	4	4
302	Facultad de Químicas	5	4
303	Juan de Mariana-Aulario Polivalente	18	23
305	José Castillejo-Enfermería	9	5
306	Lorenzo Luzuriaga-Magisterio (EDUCACIÓN)	19	17
309	Agronomos (ITA)	17	11
311	Edificio Storr Almadén	10	-
311D	Aulario Almadén	4	-
312	Facultad de Letras	11	10
313A	Rectorado Paraninfo	1	1
320	Facultad de Derecho	15	10
322	IREC	1	-
342	Facultad de Medicina	21	13
319	Edificio Politécnico	19	14
TOTAL		TOTAL aulas	TOTAL aulas
15		162	116

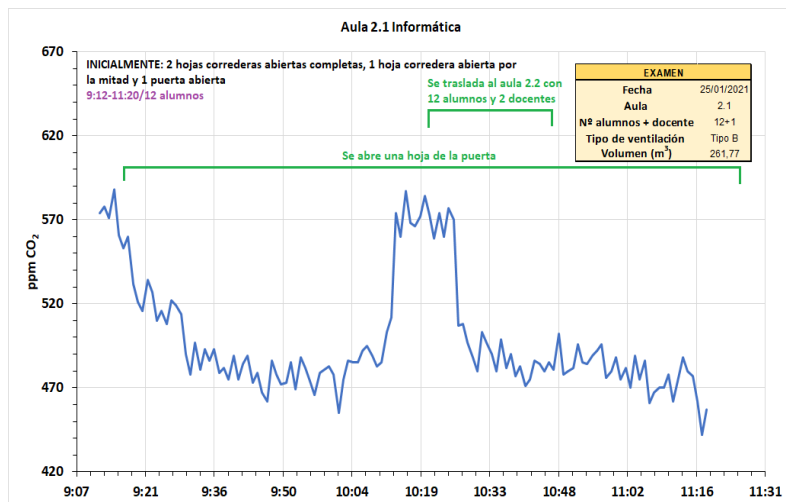
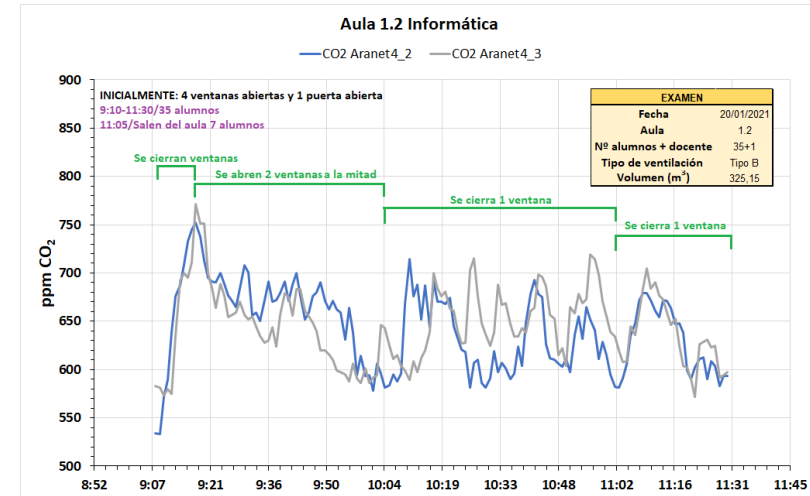
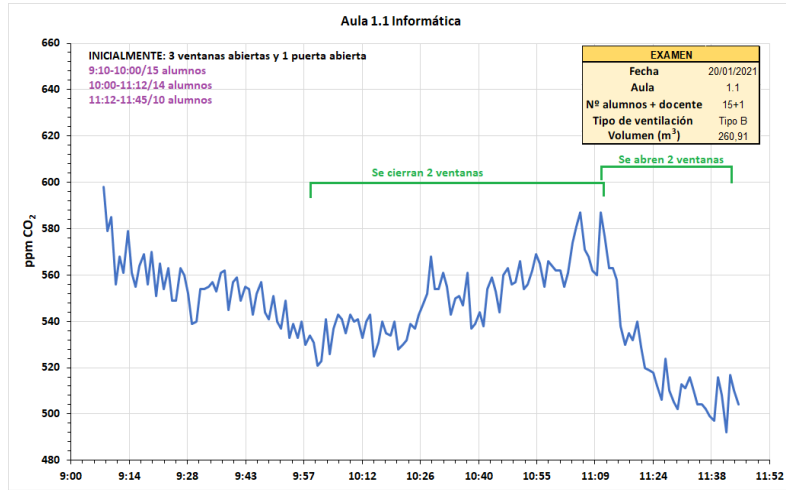




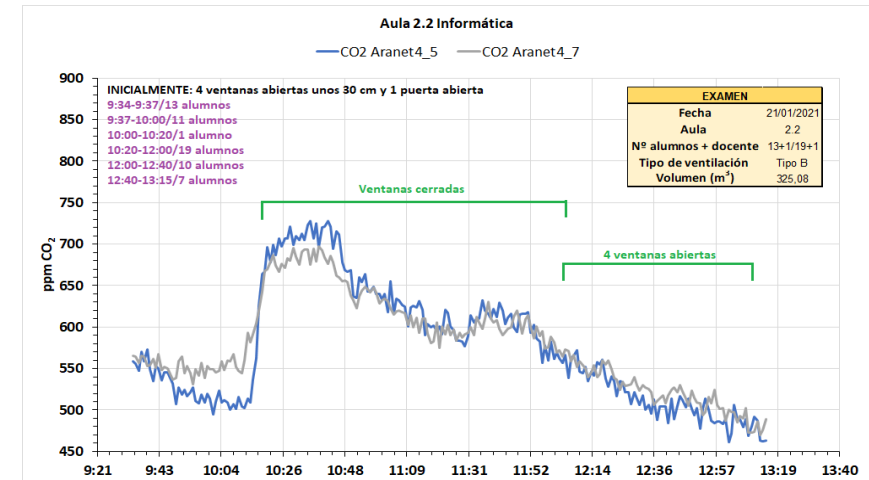
INFORMÁTICA MODULO B

RESULTADOS:

TIPO B EXÁMENES



Ventanas siempre abiertas excepto en aula 2.2 pero se sigue manteniendo una buena ventilación



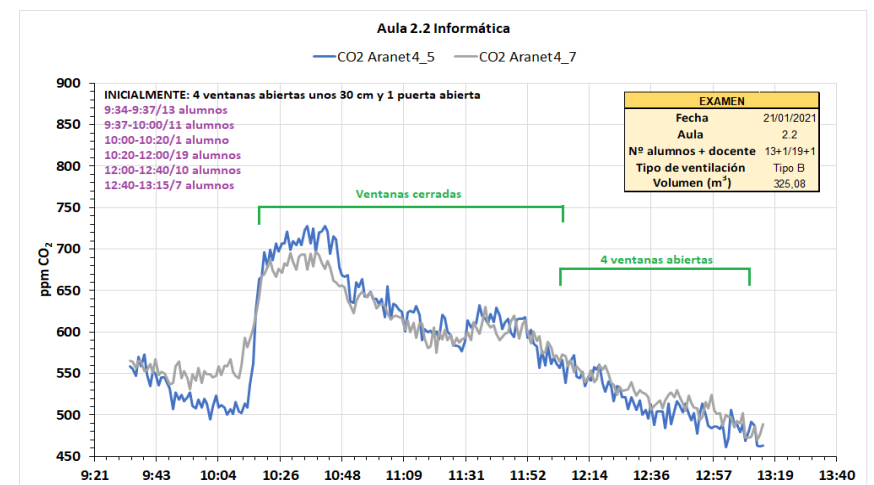
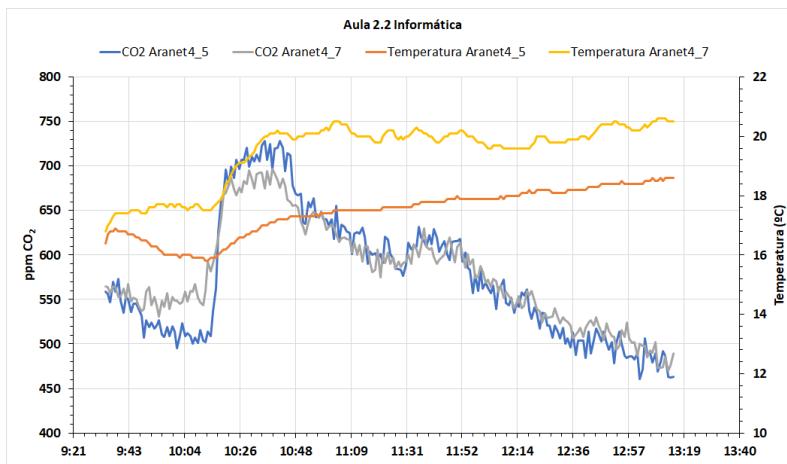
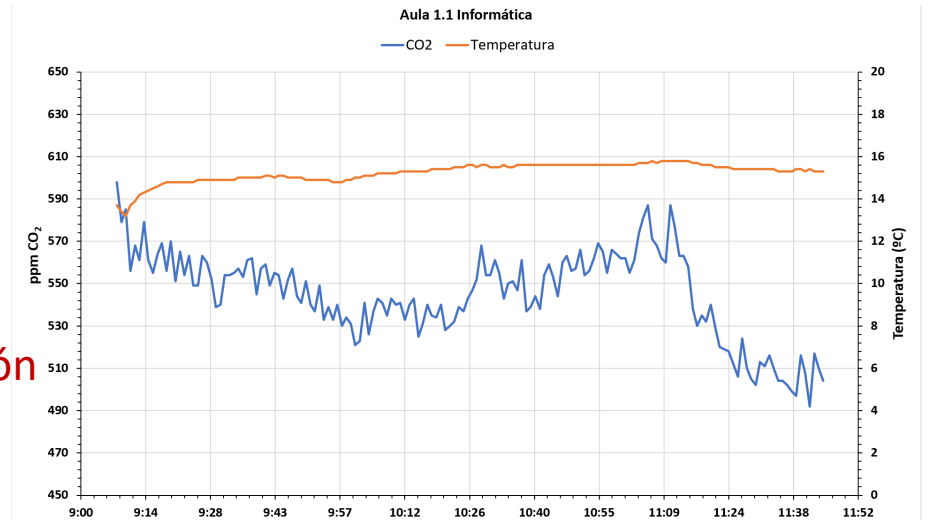
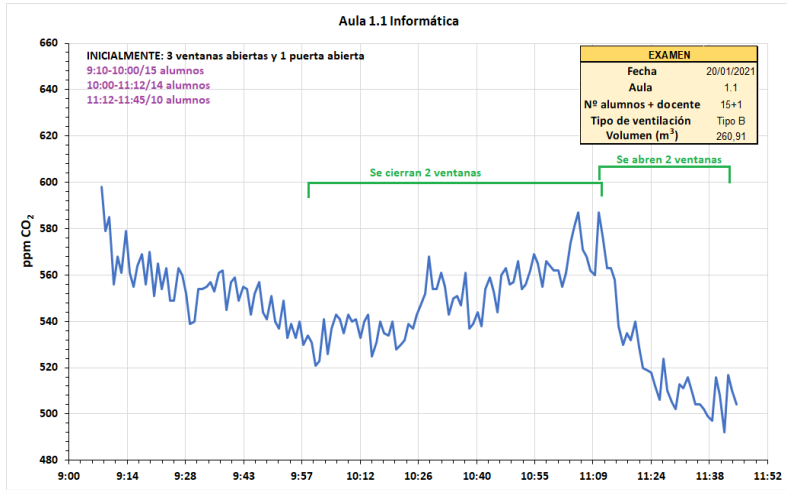


INFORMÁTICA MODULO B

TIPO B EXÁMENES



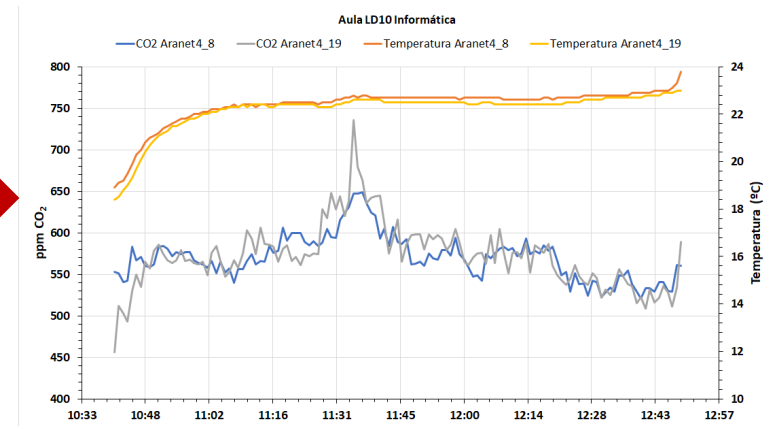
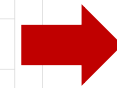
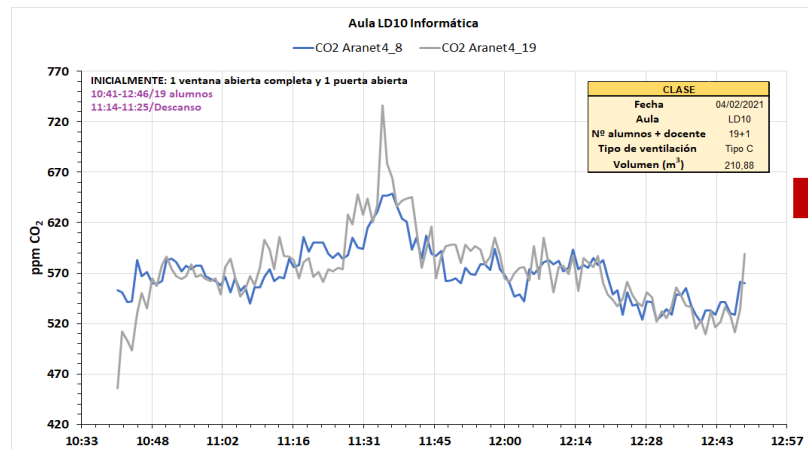
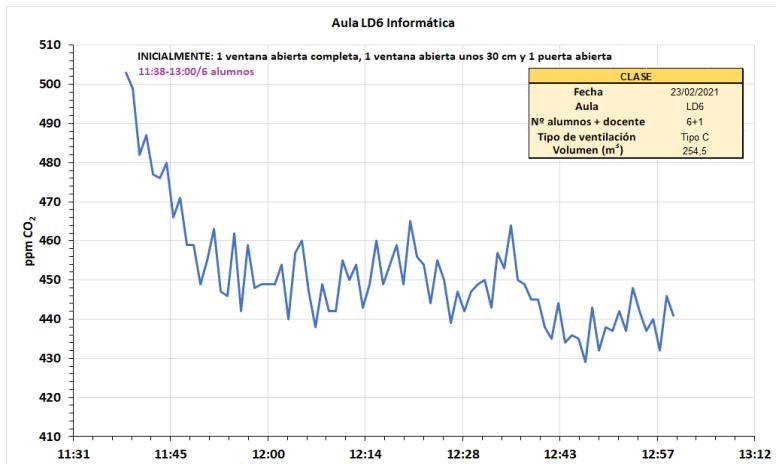
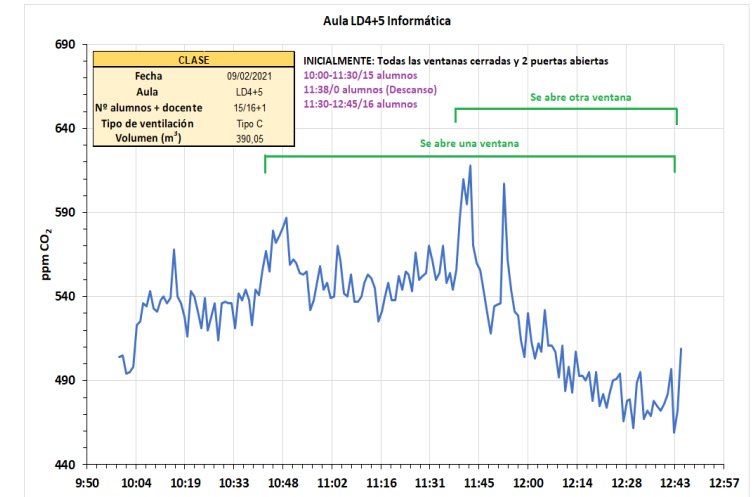
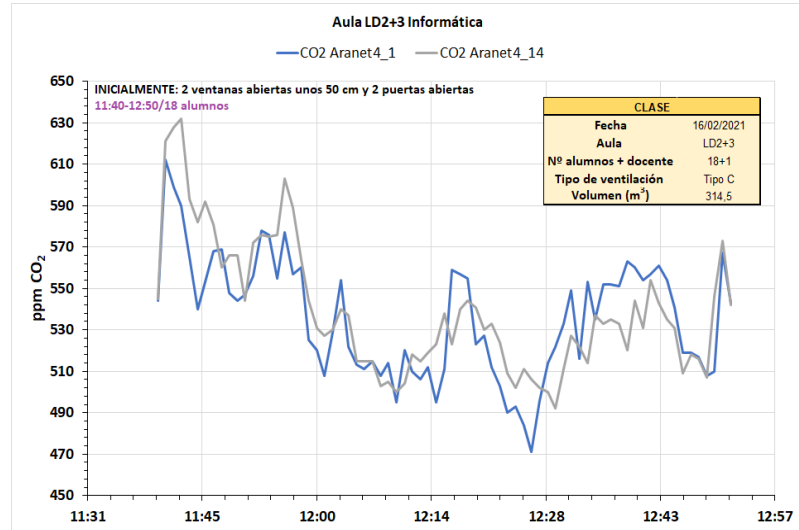
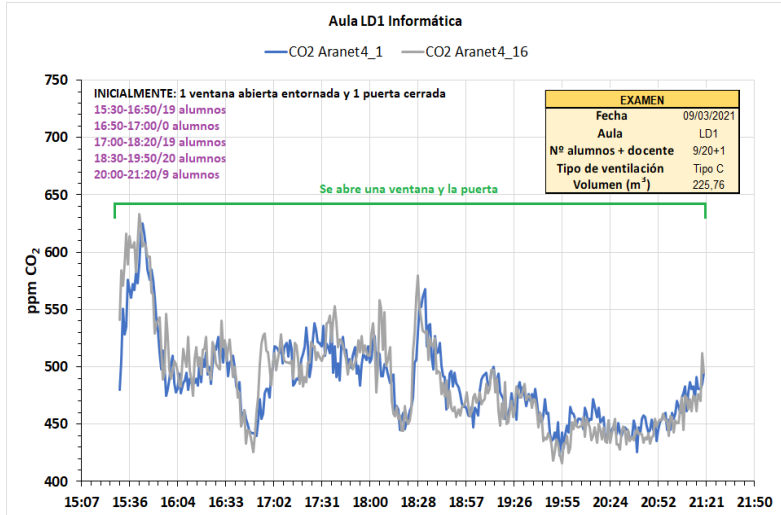
Demasiada ventilación
Tbaja





INFORMÁTICA EDIFICIO FERMIN CABALLERO

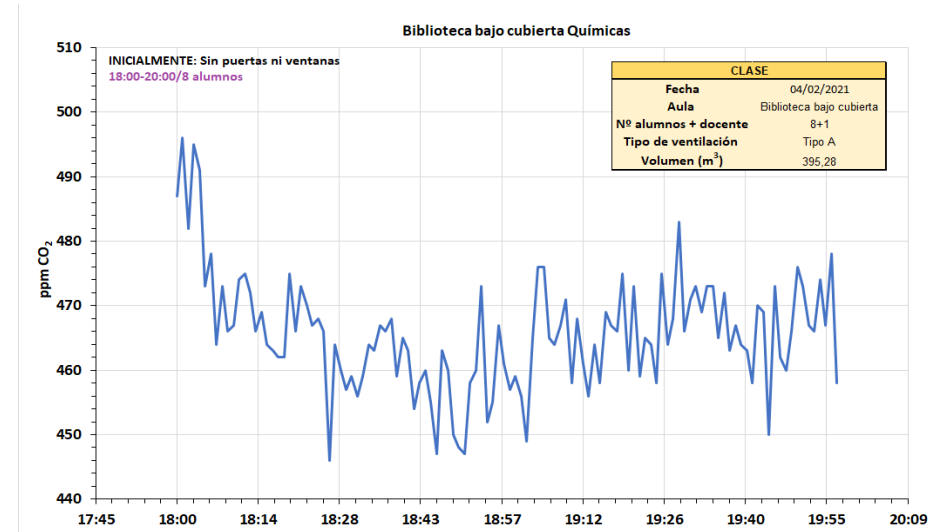
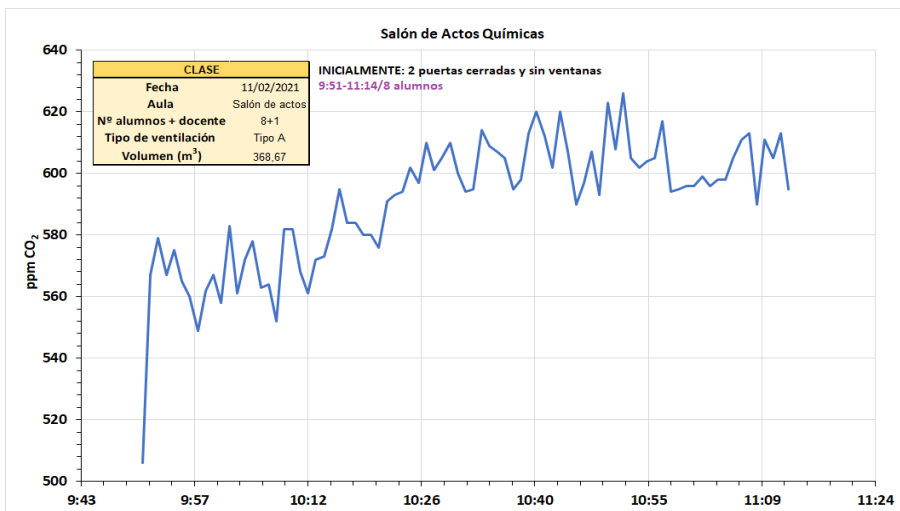
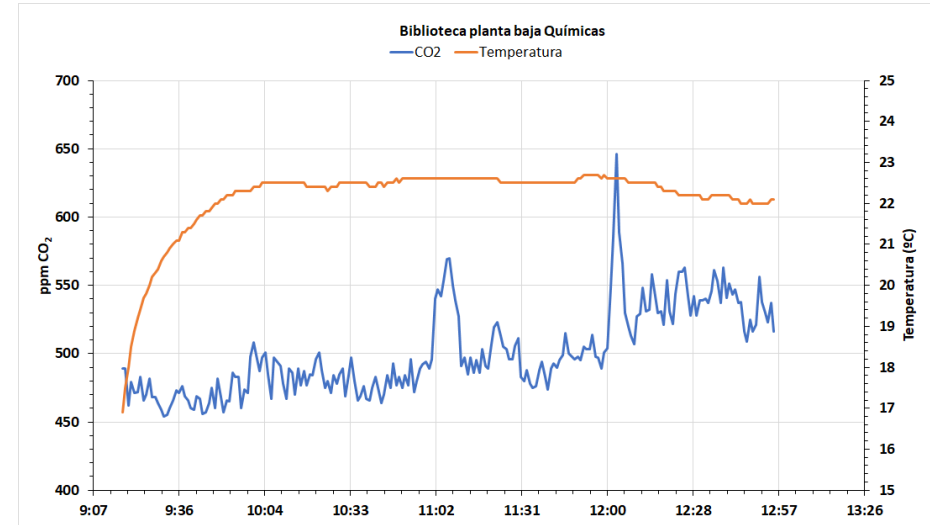
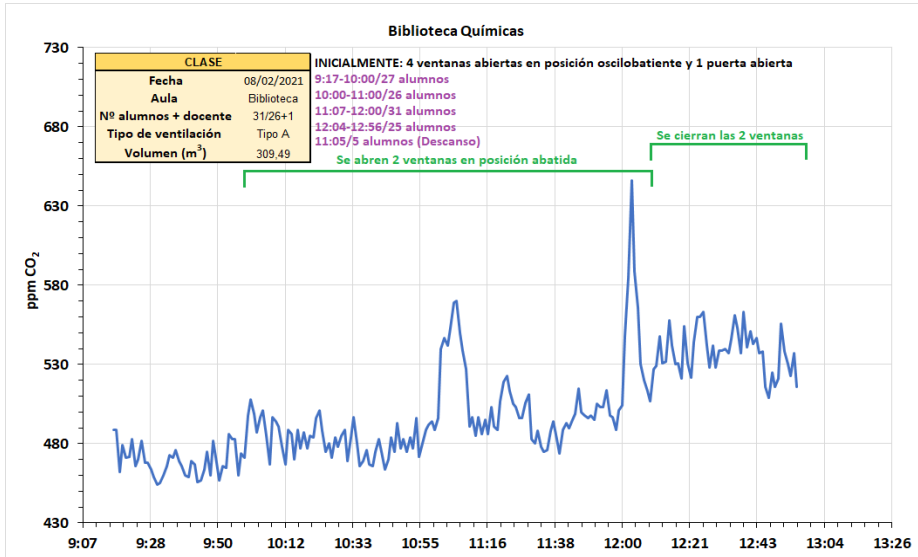
TIPO C





FACULTAD DE QUÍMICAS

TIPO A

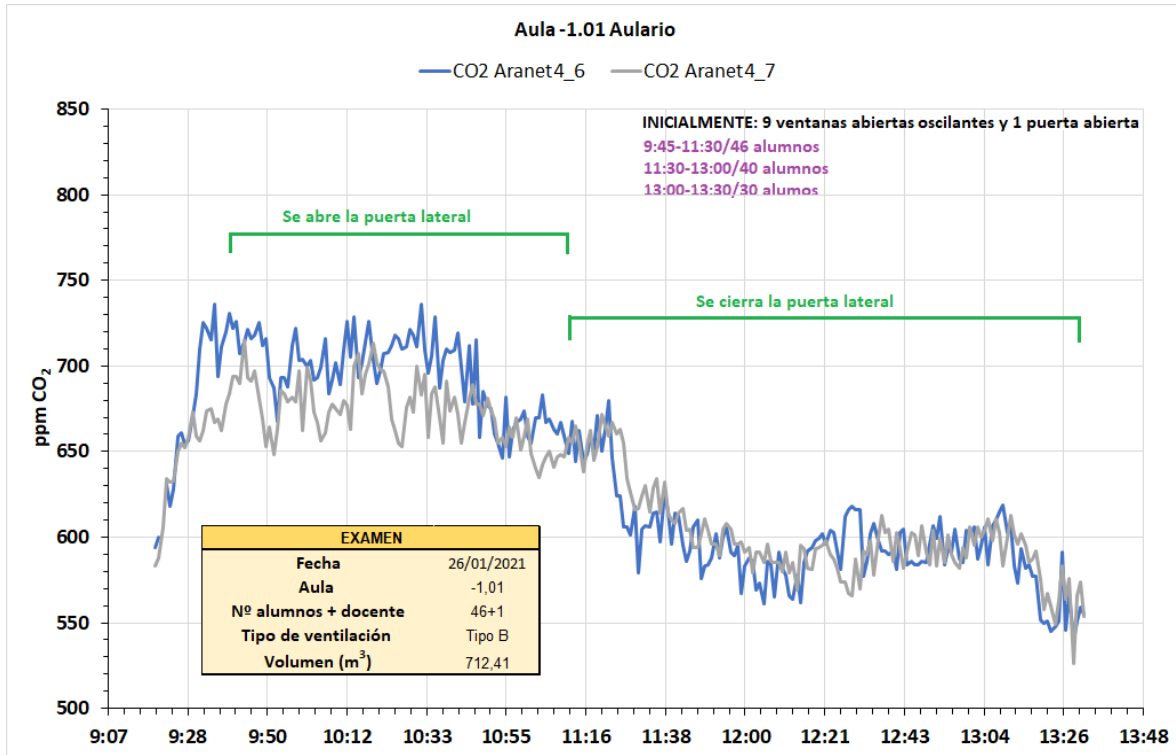




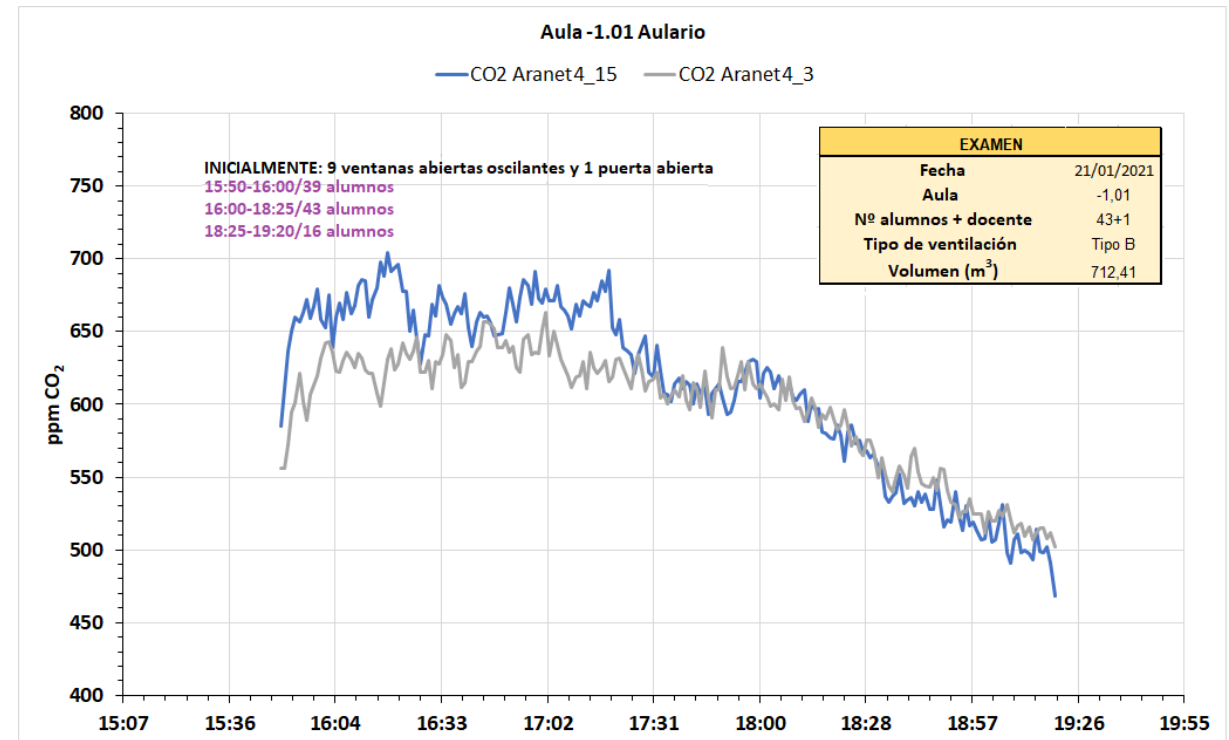
23 aulas evaluadas

AULARIO POLIVALENTE

SOTANO TIPO B/ EXÁMENES



$T_{\text{promedio}} = 20.2 \text{ } ^\circ\text{C}$



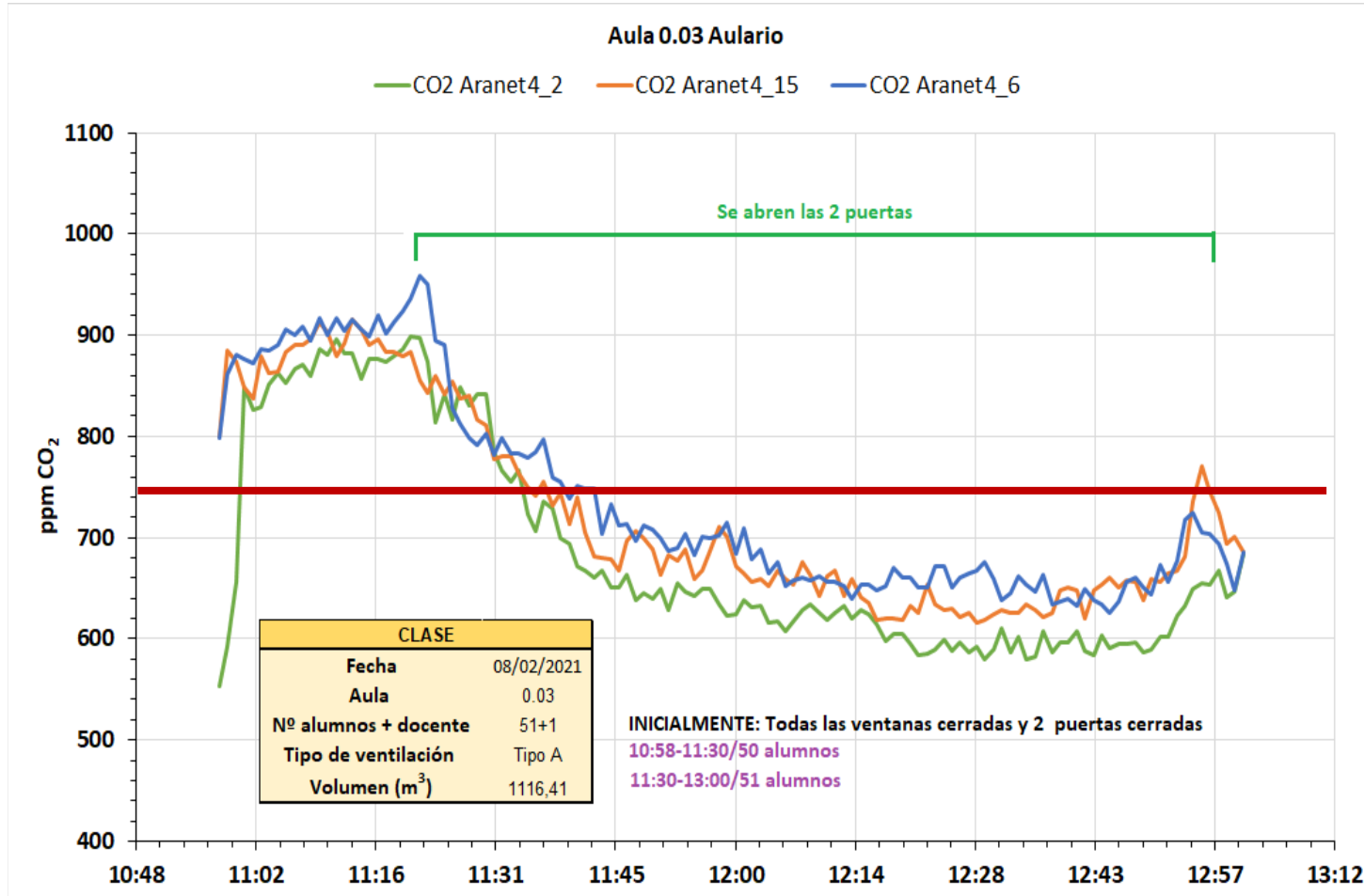
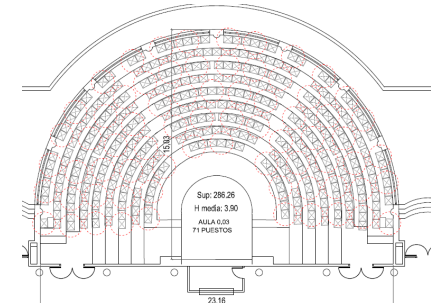
$T_{\text{promedio}} = 19.7 \text{ } ^\circ\text{C}$

Nº de puestos: 96 puestos



AULARIO POLIVALENTE

PLANTA BAJA TIPO A



$T_{\text{promedio}} = 19.3 \text{ } ^\circ\text{C}$

12,5 l/ps \rightarrow ACH = 2.1

CO₂ estable (52 personas) = 785 ppm

14 l/ps \rightarrow ACH = 2.3

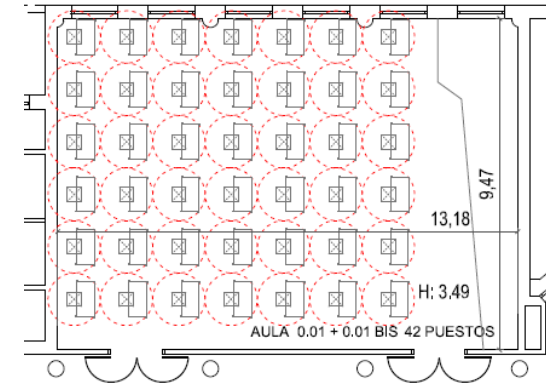
CO₂ estable (52 personas) = 745 ppm

Revisión del sistema de ventilación:
Sustitución de las correas de los ventiladores que estaban reduciendo un 60 % el caudal



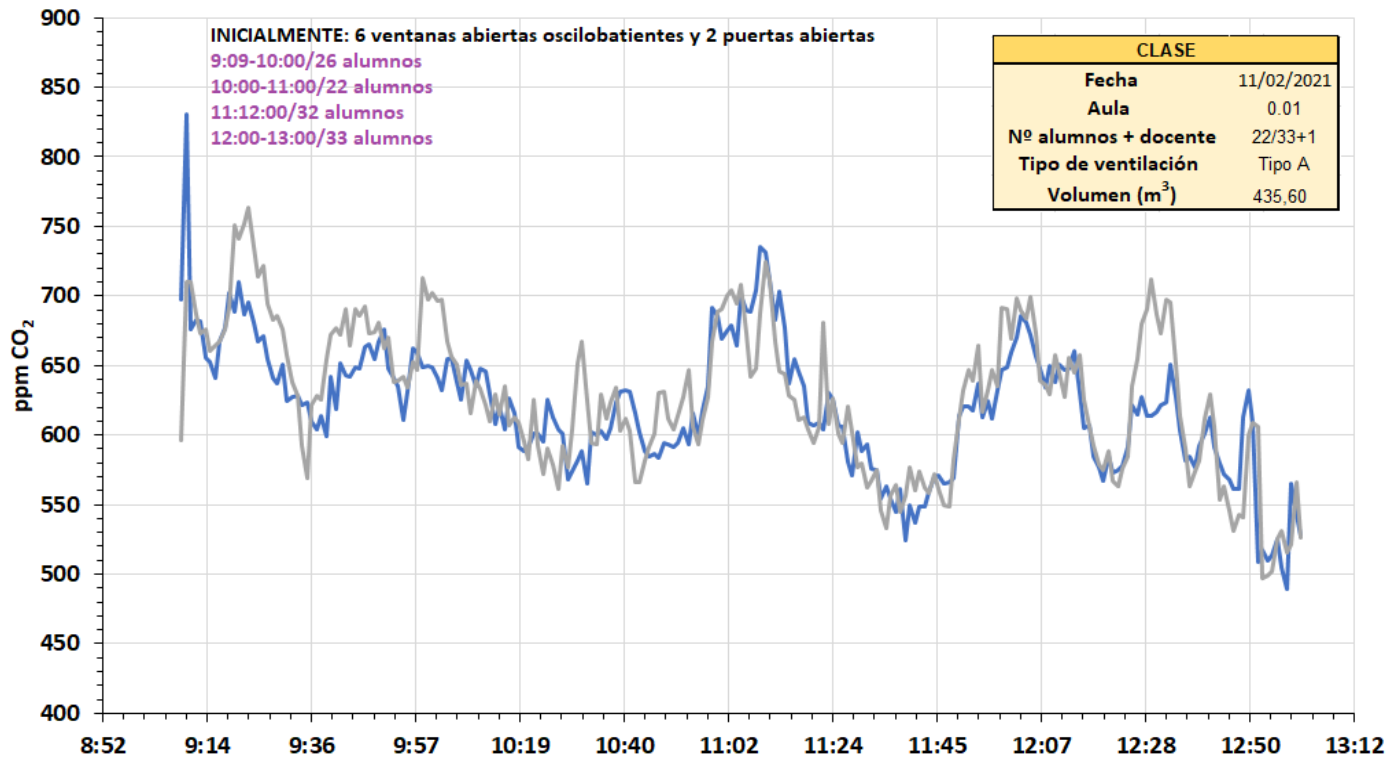
AULARIO POLIVALENTE

PLANTA BAJA TIPO A



Aula 0.01 Aulario

— CO2 Aranet4_19 — CO2 Aranet4_15



$T_{\text{promedio}} = 22.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

12,5 l/ps \rightarrow ACH = 3.5

CO₂ estable (34 personas) = 786 ppm

14 l/ps \rightarrow ACH = 3.9

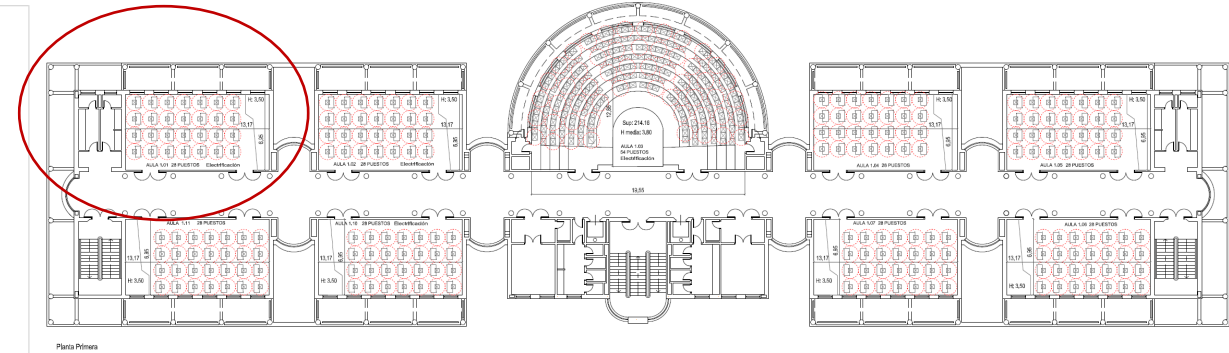
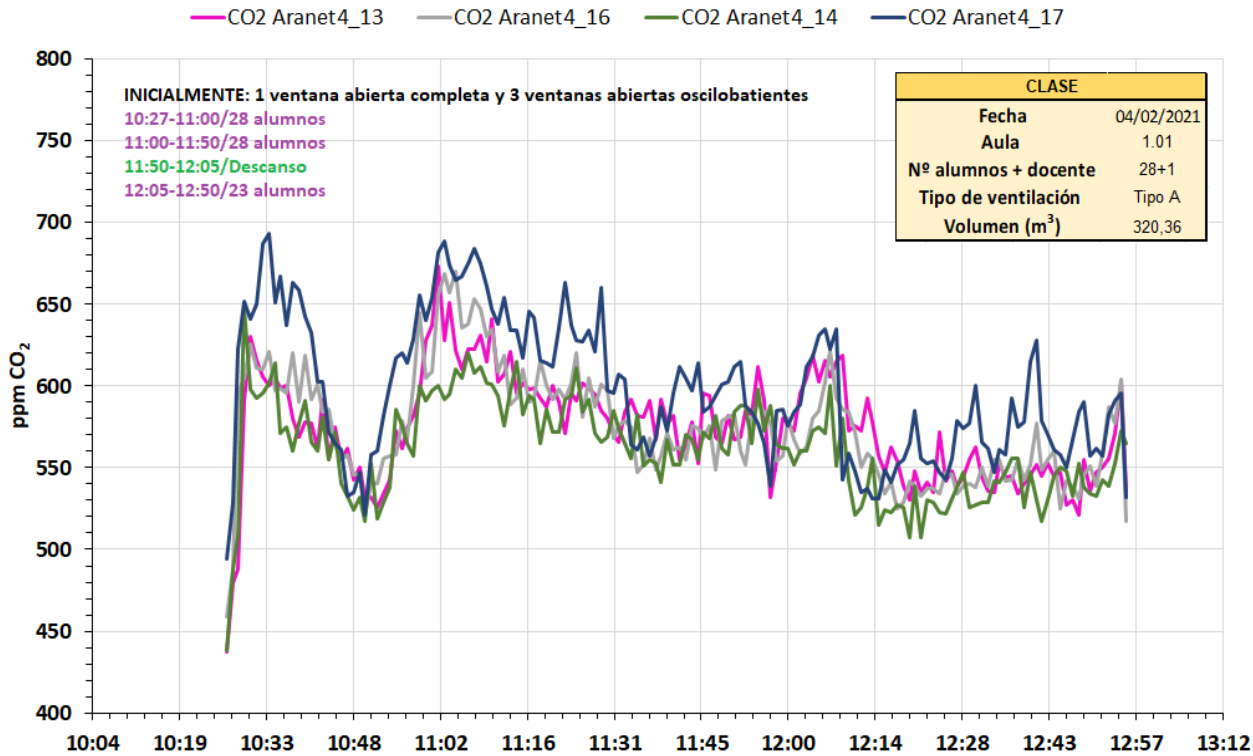
CO₂ estable (34 personas) = 747 ppm



AULARIO POLIVALENTE

PLANTA PRIMERA TIPO A

Aula 1.01 Aulario



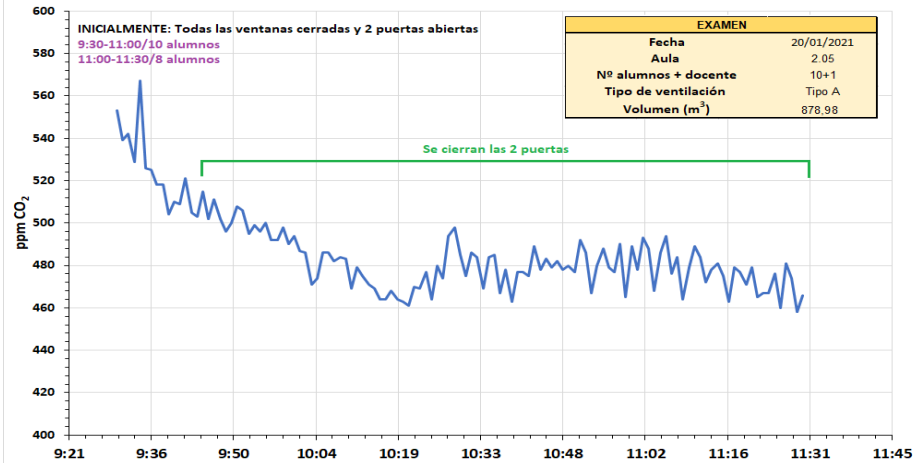
4 medidores distribuidos por el aula para comprobar que la ventilación está distribuida de manera uniforme

$T_{\text{promedio}} = 22.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$

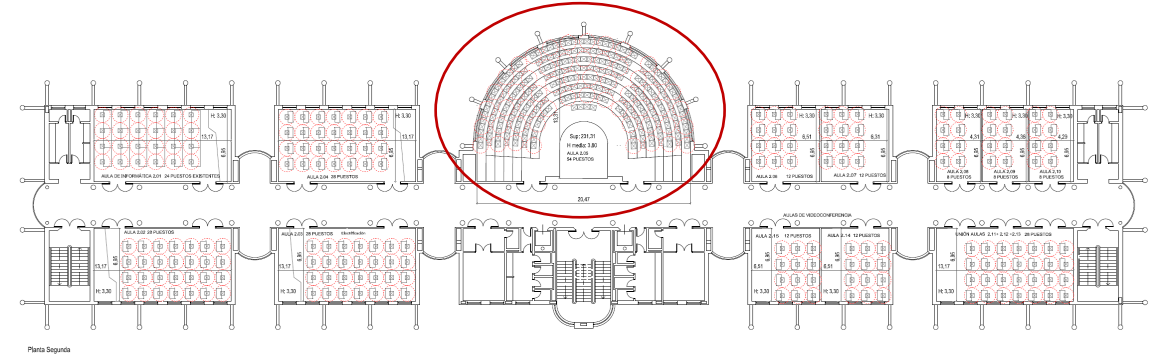
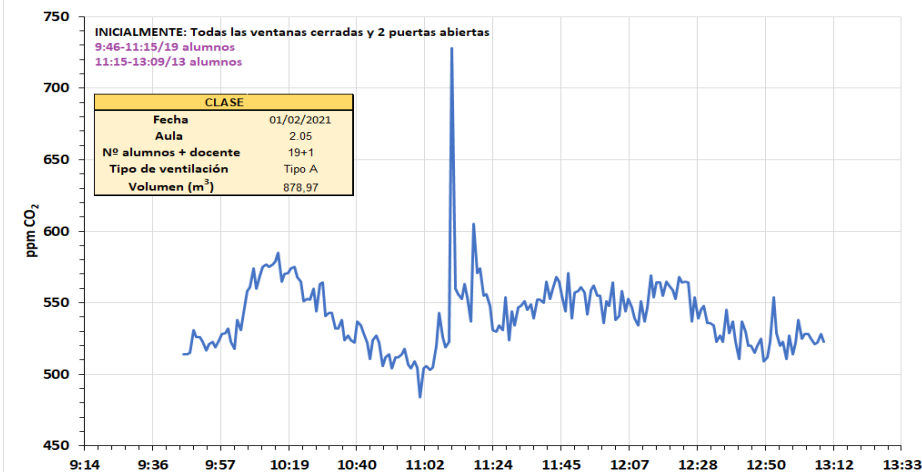
AULARIO POLIVALENTE

PLANTA SEGUNDA TIPO A

Aula 2.05 Aulario



Aula 2.05 Aulario



Capacidad: 54 puestos

AULARIO:

Todas las aulas con ventanas oscilobatientes abiertas y las 2 puertas abiertas.

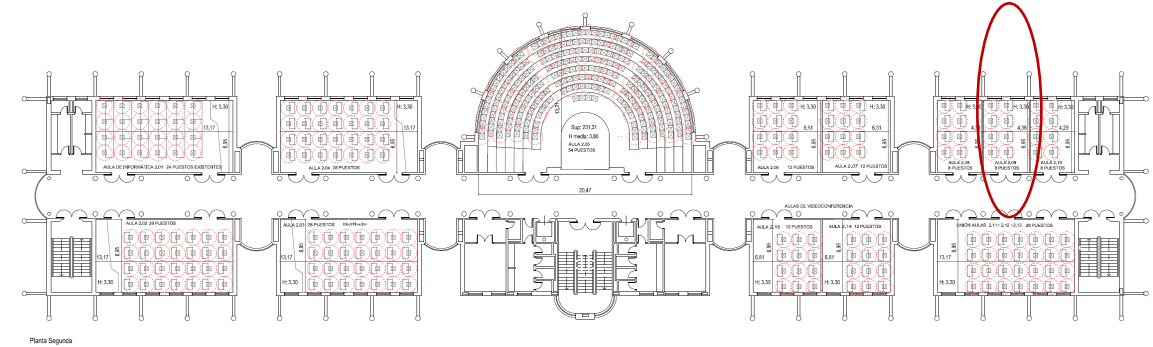
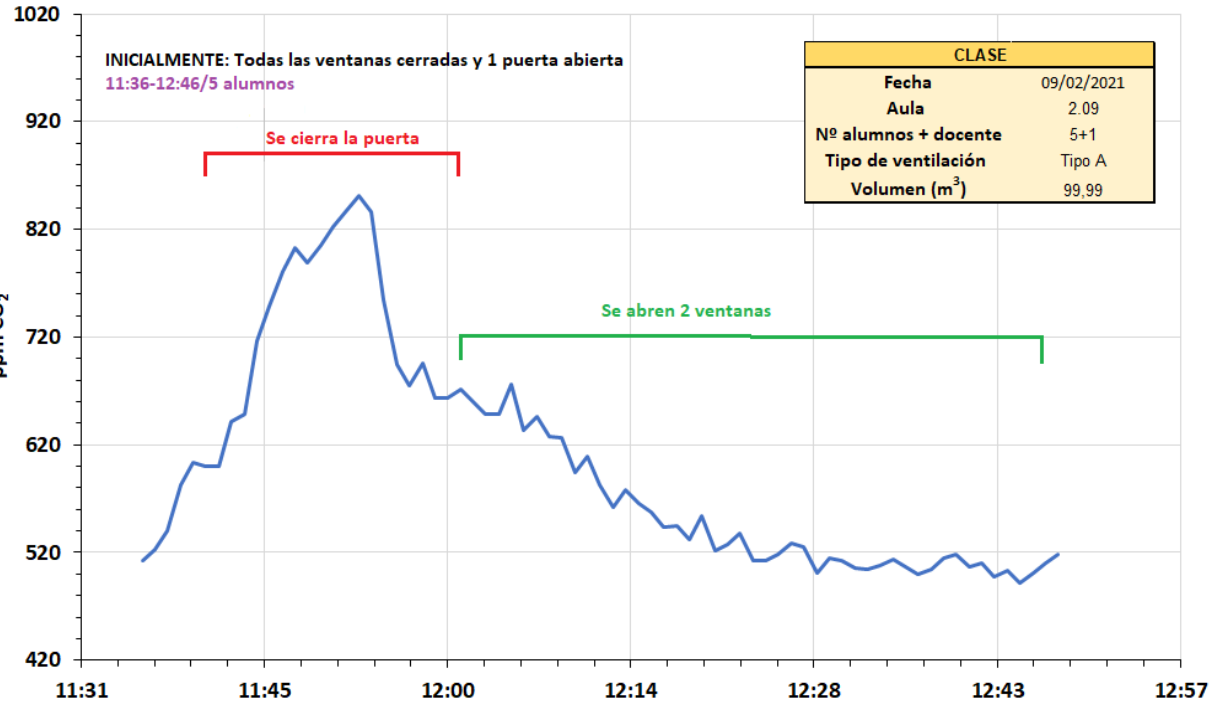
Si se reduce el aforo evidentemente el CO₂ es menor y con todo cerrado el aporte del sistema de ventilación es más que suficiente



AULARIO POLIVALENTE

PLANTA SEGUNDA TIPO A

Aula 2.09 Aulario



Capacidad: 8 puestos

$$T_{\text{promedio}} = 21 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$12,5 \text{ l/ps} \rightarrow \text{ACH} = 2.7$$

$$\text{CO}_2 \text{ estable (6 personas)} = 804 \text{ ppm}$$

$$14 \text{ l/ps} \rightarrow \text{ACH} = 3$$

$$\text{CO}_2 \text{ estable (6 personas)} = 763 \text{ ppm}$$

Recomendación aulas TIPO A: Dejar puertas abiertas



TIPO C

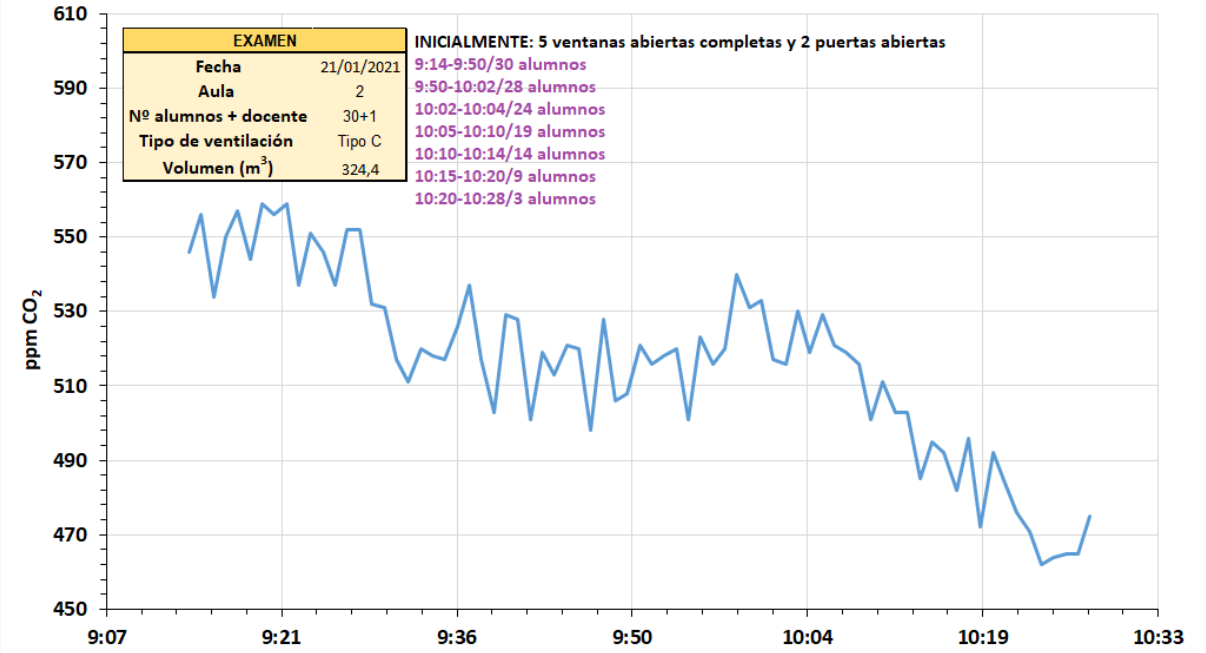
ENFERMERÍA

Aula 1 Enfermería



$T_{\text{promedio}} = 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Aula 2 Enfermería



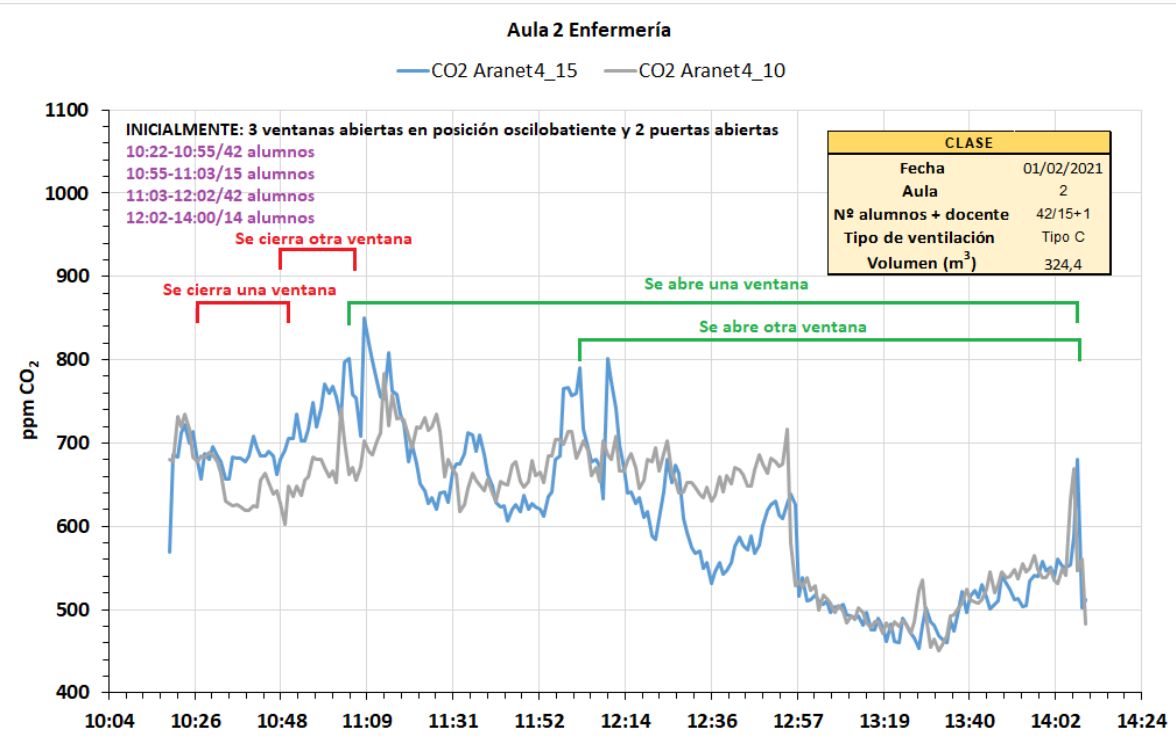
$T_{\text{promedio}} = 17.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$

- Deamasiada ventilación, temperatura baja
- Con un medidor de CO₂ se puede controlar la apertura de ventanas para no pasar demasiado frío

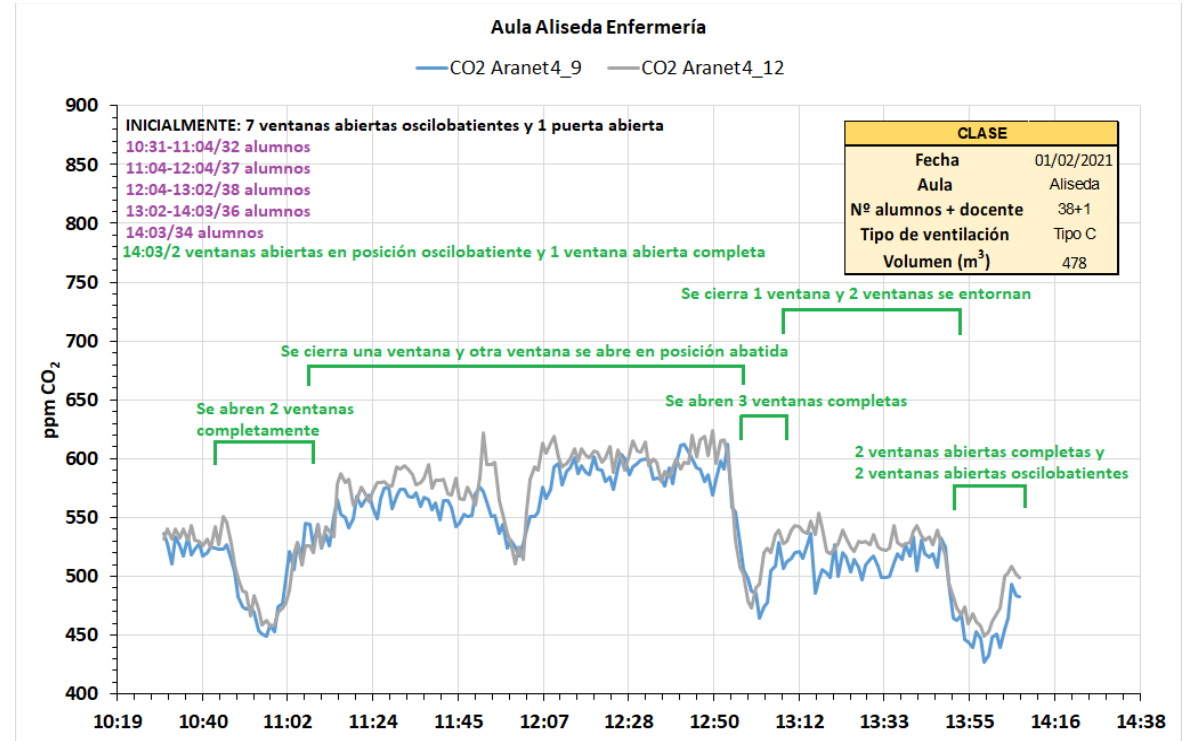


TIPO C

ENFERMERÍA



$T_{\text{promedio}} = 20.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$



$T_{\text{promedio}} = 19.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$

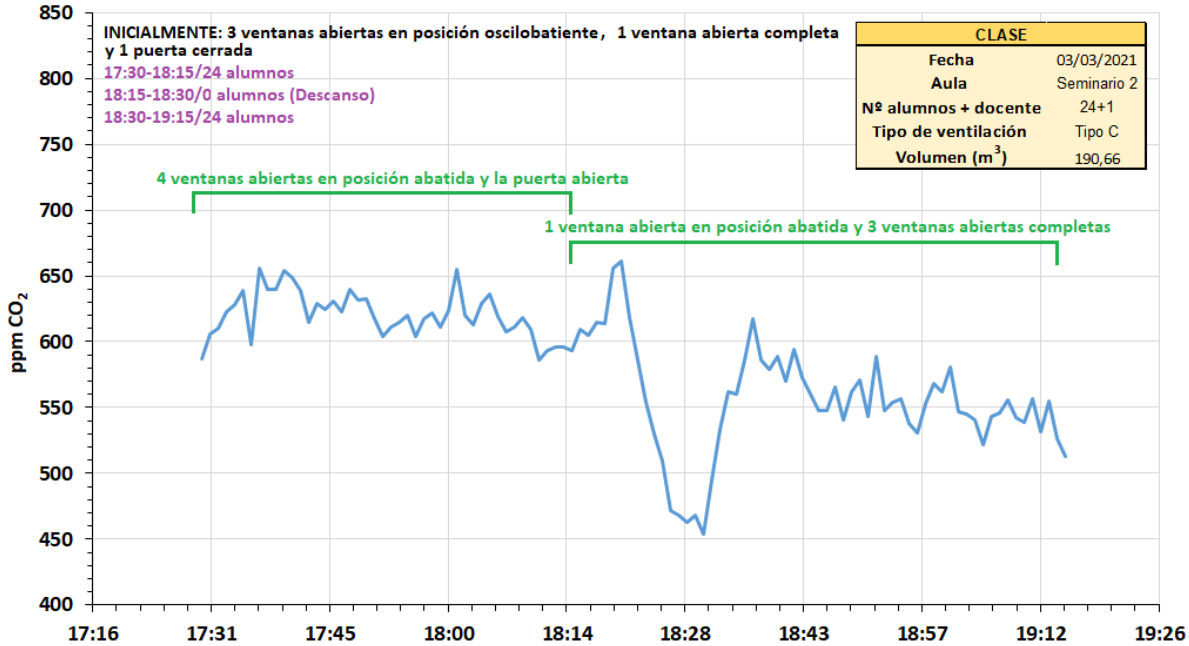
No es necesario abrir y cerrar tanto: ventilación cruzada, continua y distribuida desde el principio



TIPO C

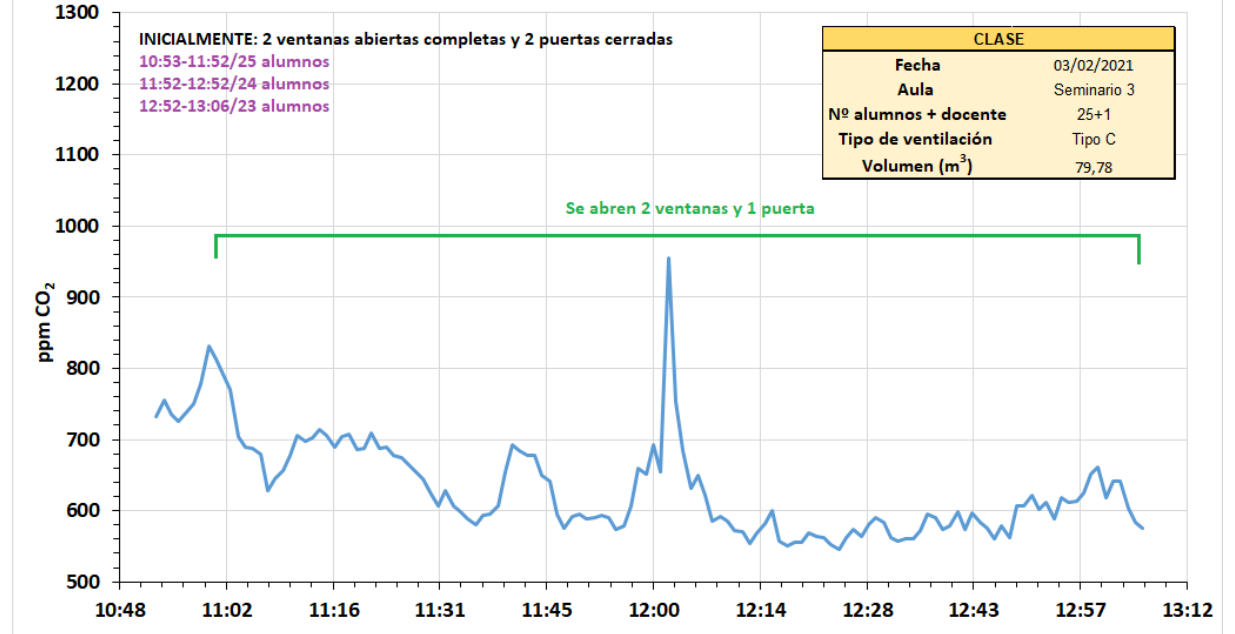
ENFERMERÍA

Seminario 2 Enfermería



T_{promedio}= 20.2 °C

Seminario 3 Enfermería



T_{promedio}= 21 °C

En general, buena ventilación y buena temperatura



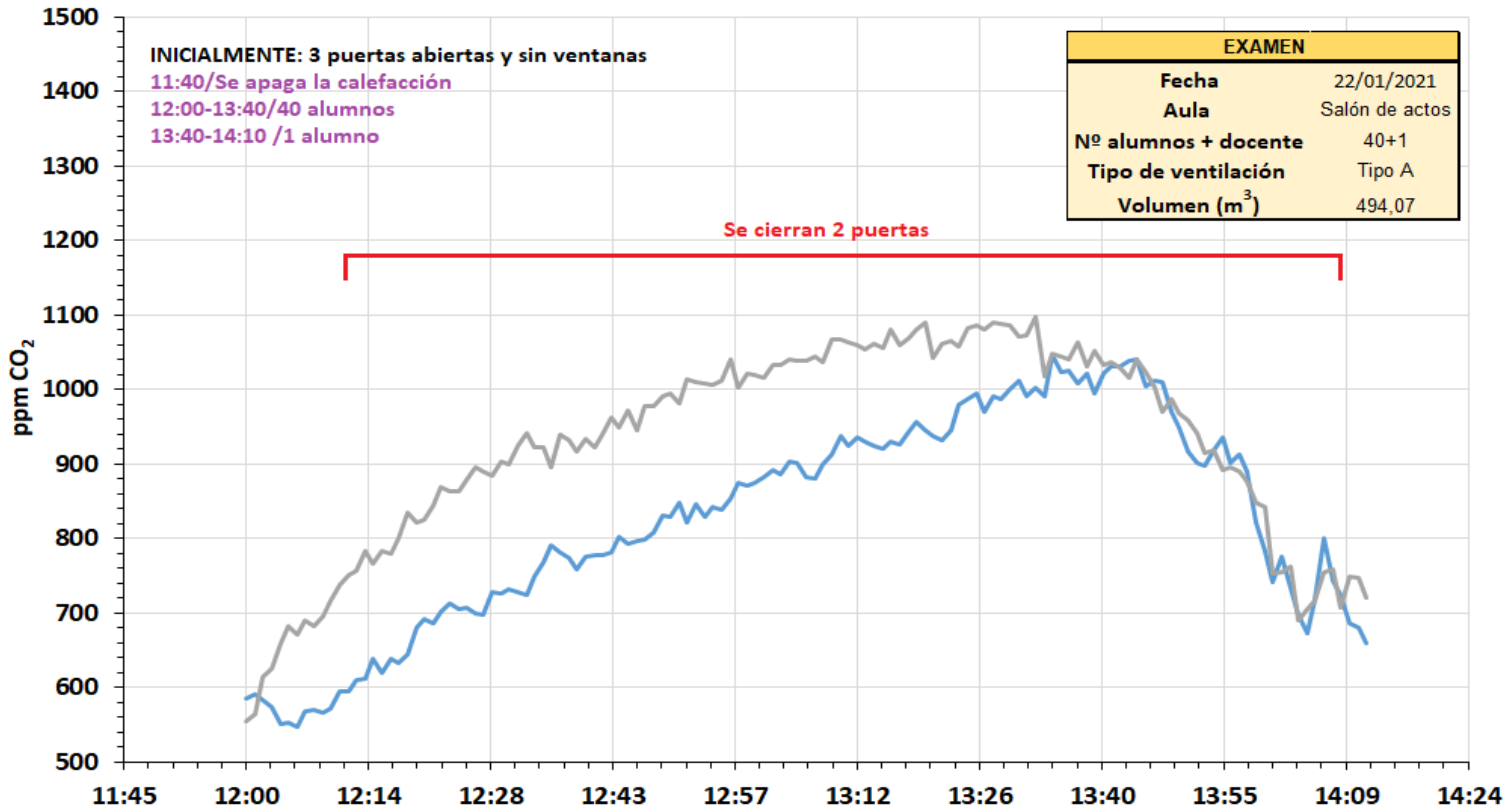
17 aulas evaluadas

FACULTAD DE EDUCACIÓN-MAGISTERIO

TIPO A

Salón de actos Magisterio

— CO2 Aranet4_1 — CO2 Aranet4_2

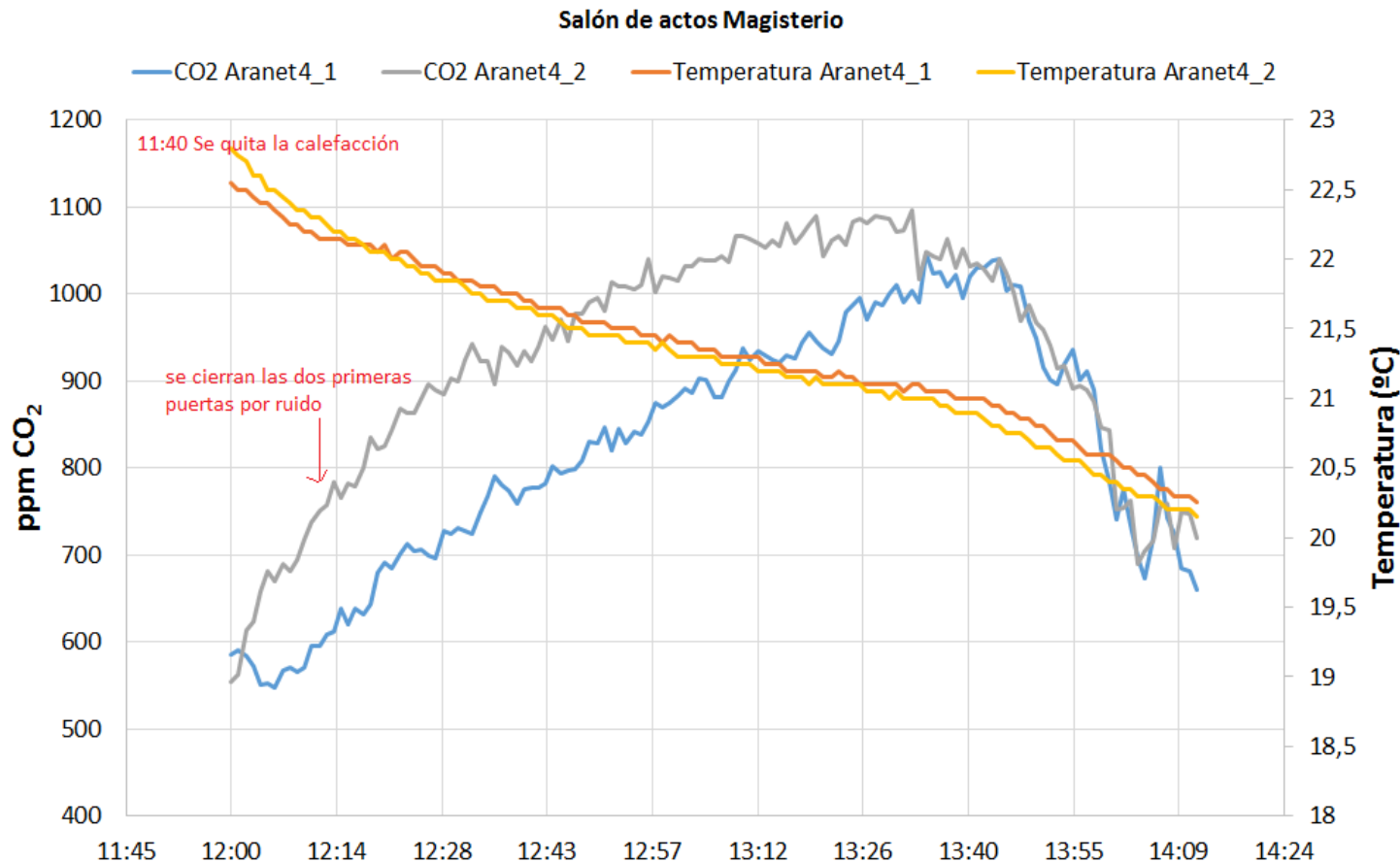




17 aulas evaluadas

FACULTAD DE EDUCACIÓN-MAGISTERIO

TIPO A



SALÓN DE ACTOS:

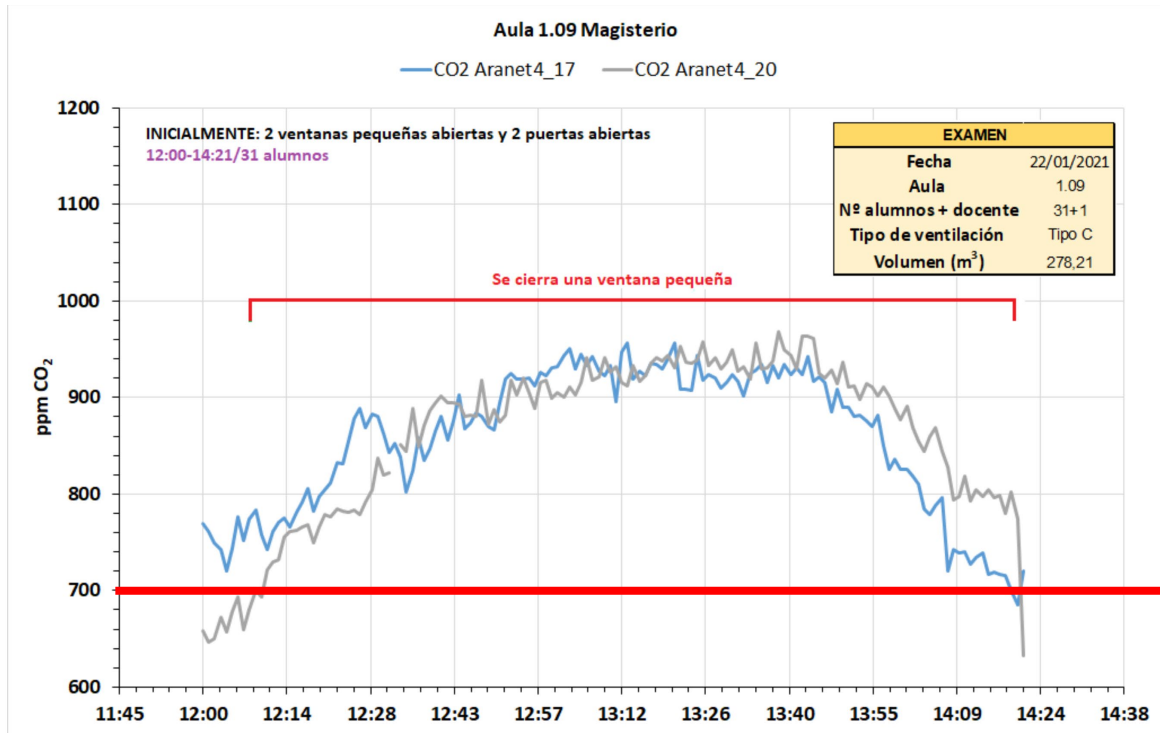
- Sistema de ventilación funciona junto al sistema de climatización
- Si se apaga la calefacción se corta el suministro de aire exterior.

14 l/ps → ACH = 5.3

CO₂ estable (41 personas) = 746 ppm

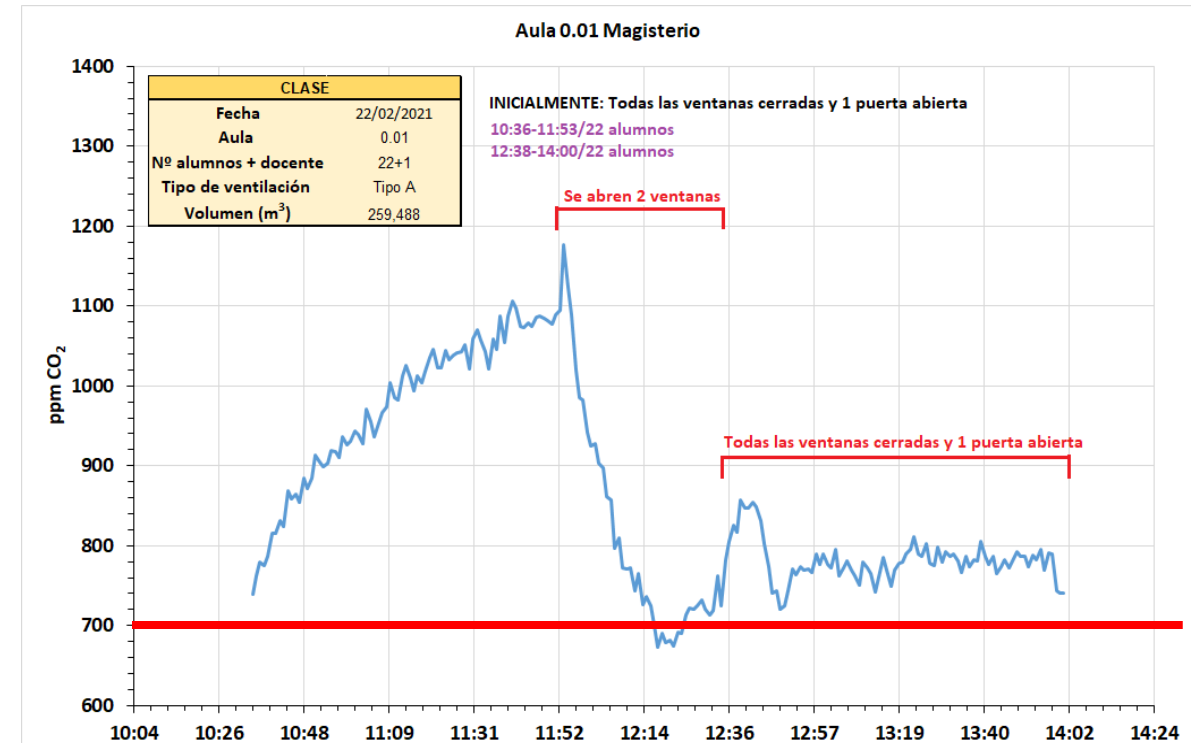
FACULTAD DE EDUCACIÓN-MAGISTERIO

TIPO C



$T_{\text{promedio}} = 20.4 \text{ } ^\circ\text{C}$

¿TIPO A?

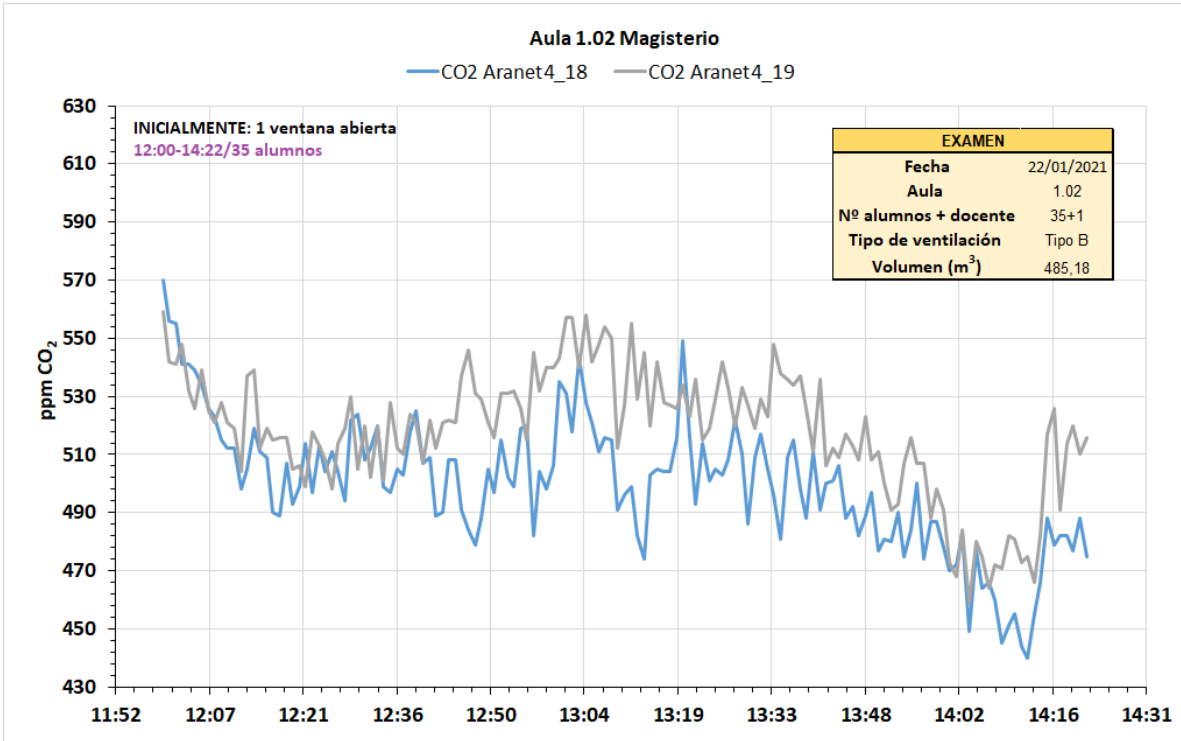


Problema: clasificación sistemas de ventilación



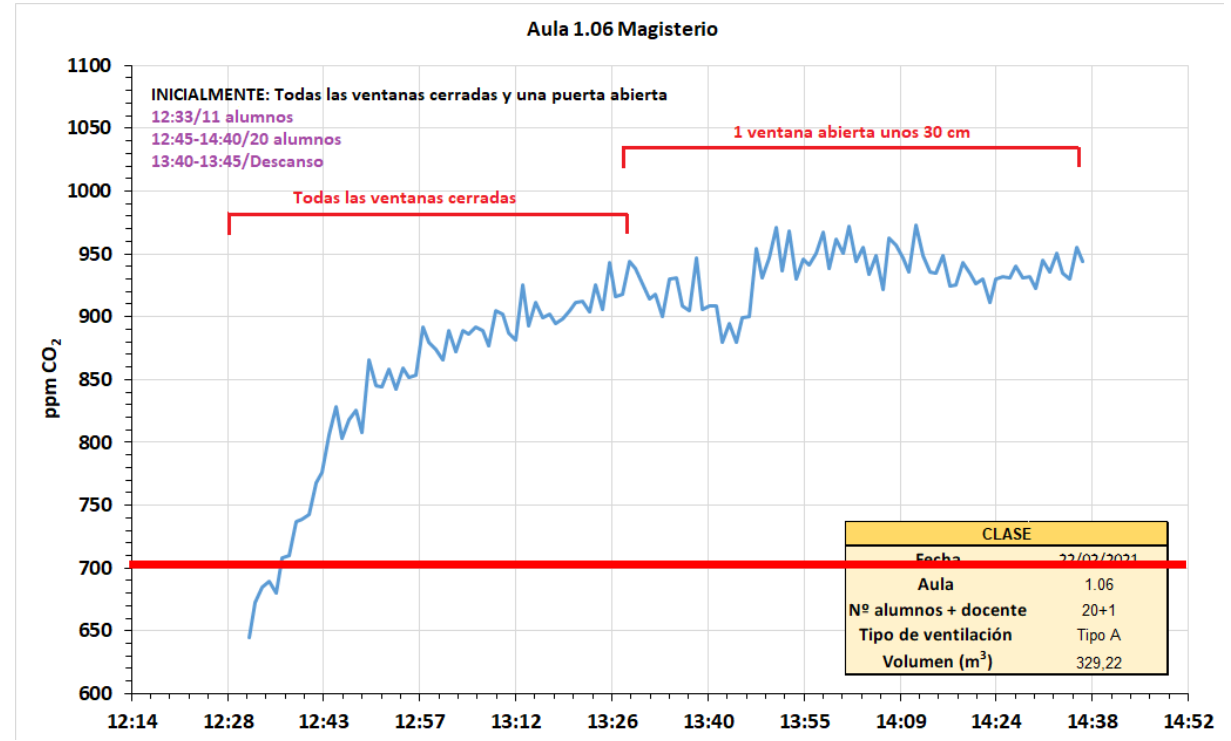
FACULTAD DE EDUCACIÓN-MAGISTERIO

TIPO B



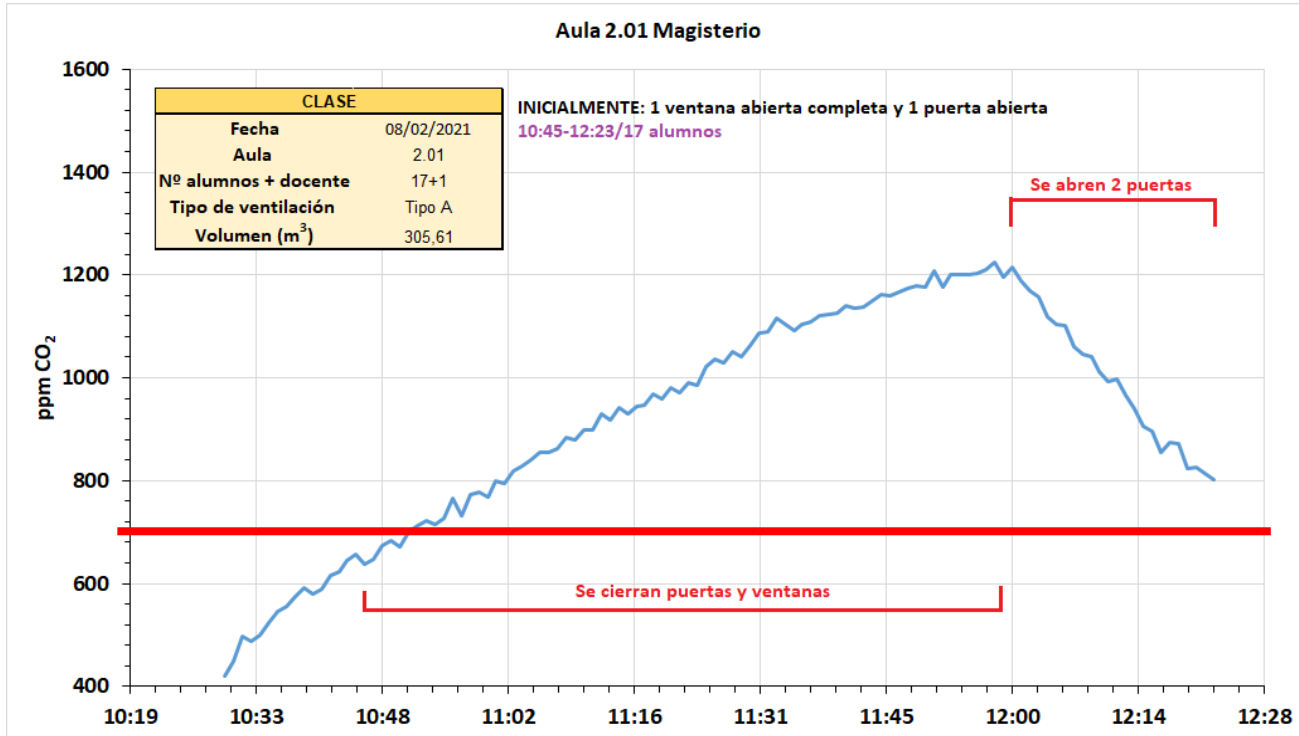
T_{promedio} = 17.3 °C

¿TIPO A?

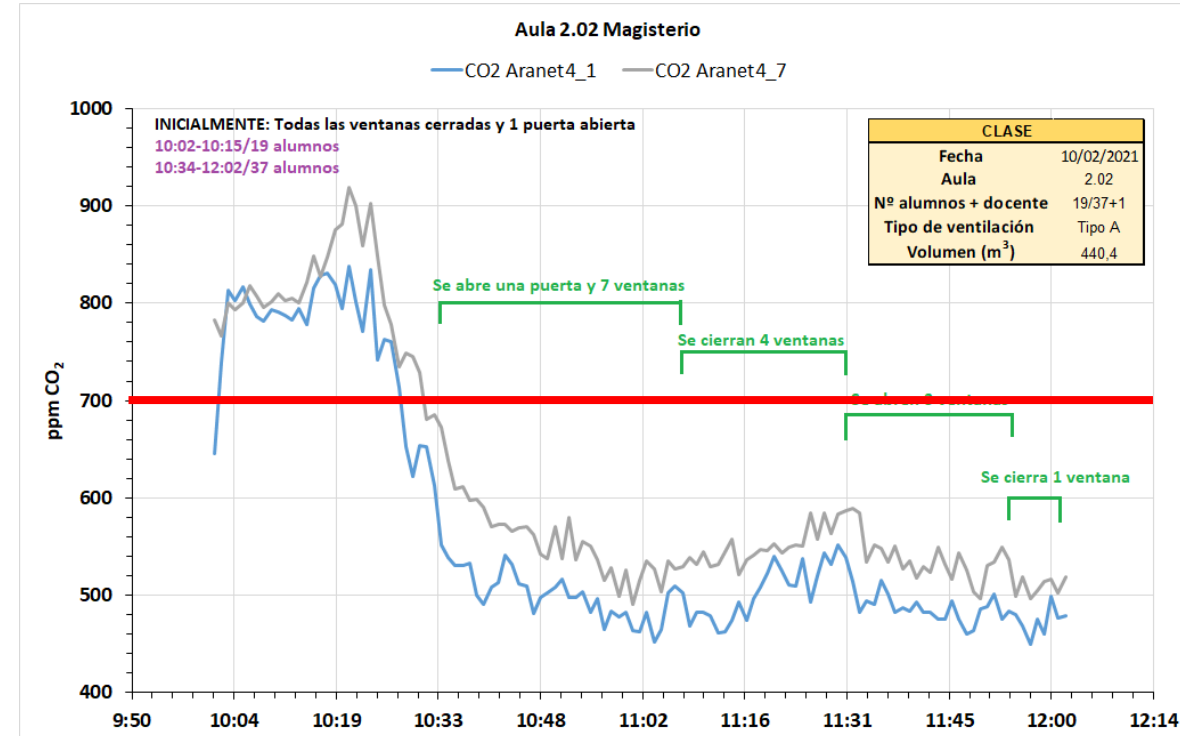




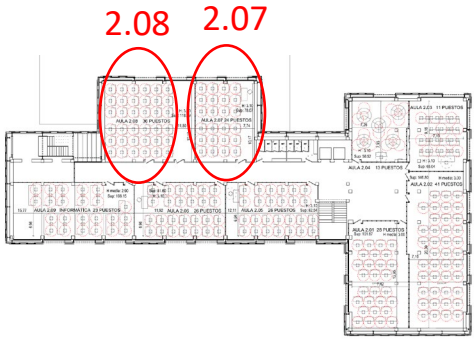
¿TIPO A?



¿TIPO A?



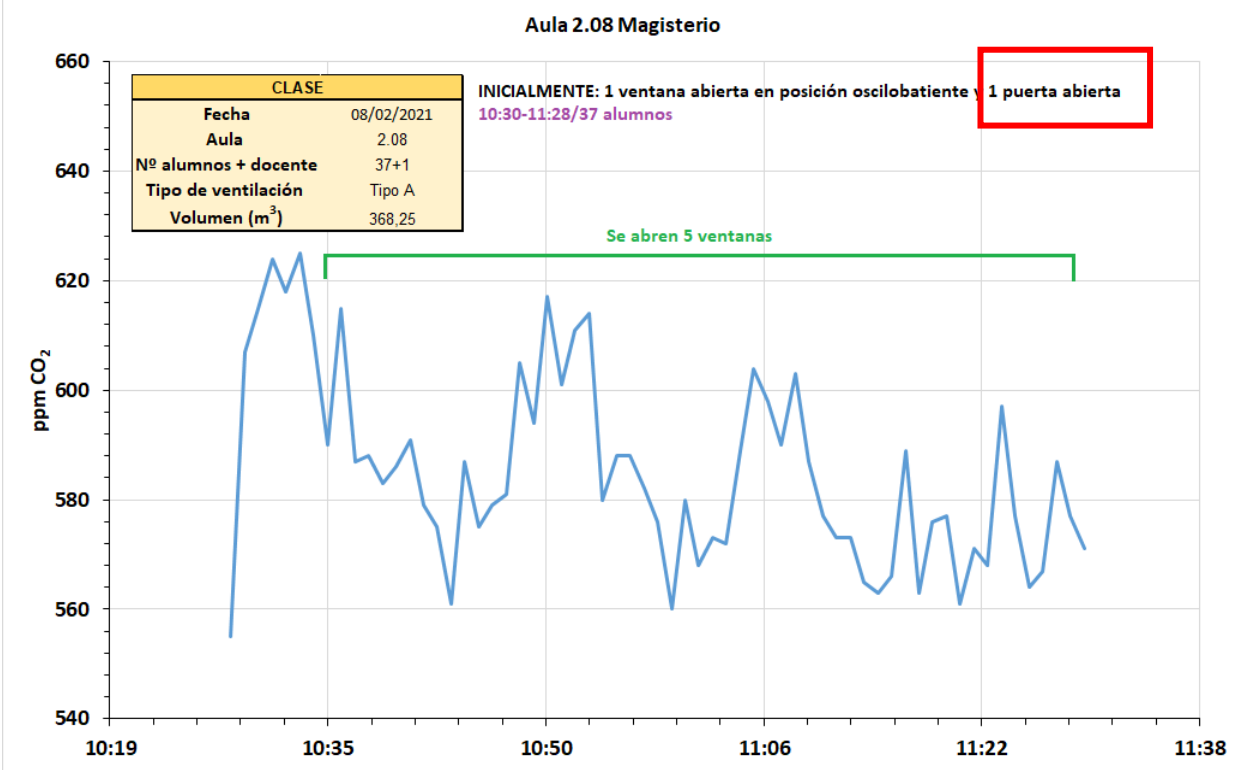
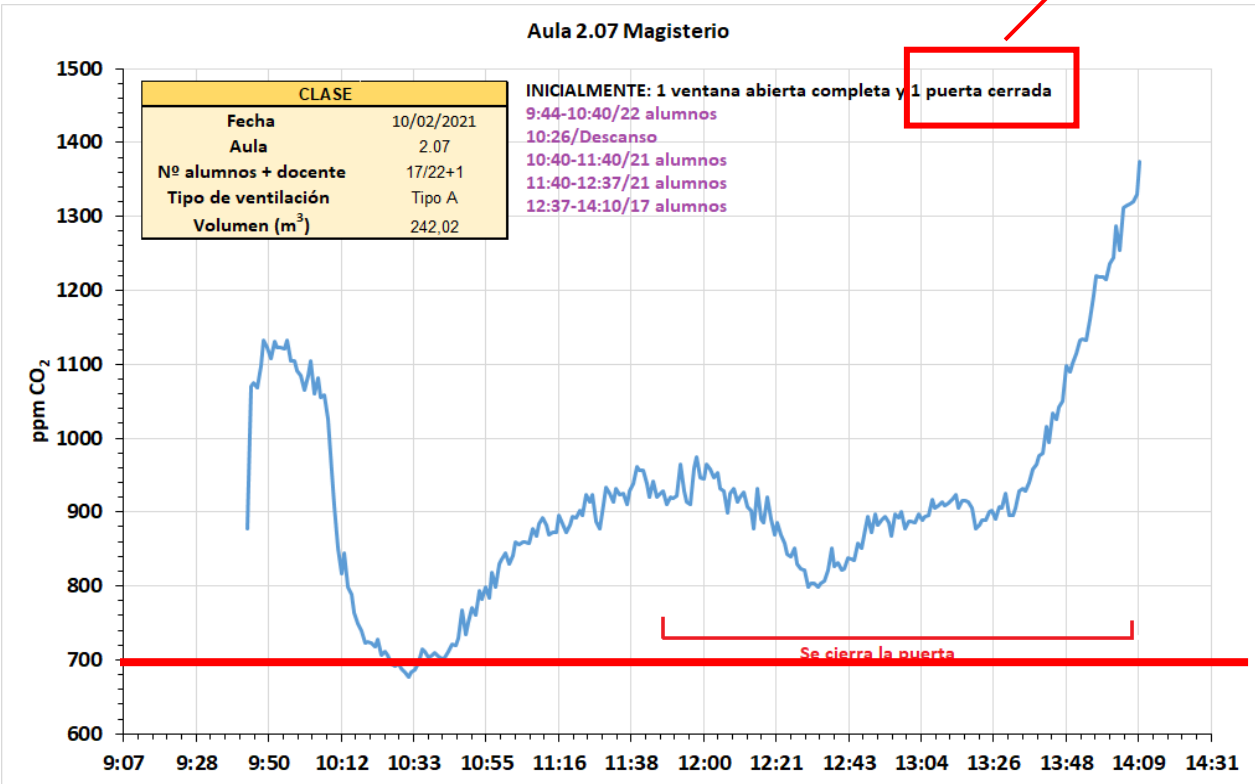
FACULTAD DE EDUCACIÓN-MAGISTERIO



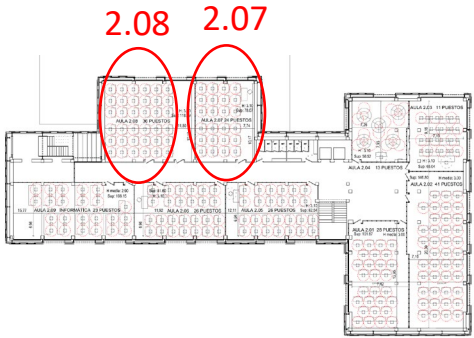
¿TIPO A?

Puerta cerrada, no hay ventilación cruzada

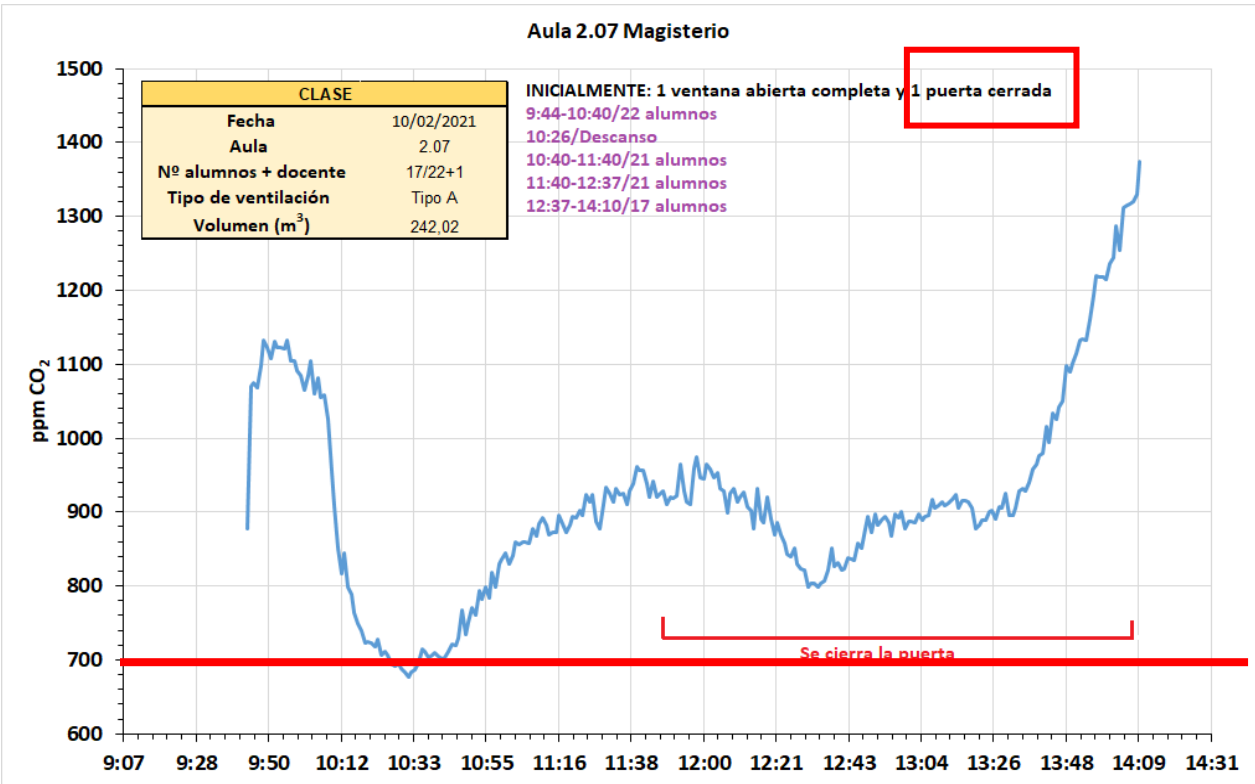
¿TIPO A?



FACULTAD DE EDUCACIÓN-MAGISTERIO



¿TIPO A?



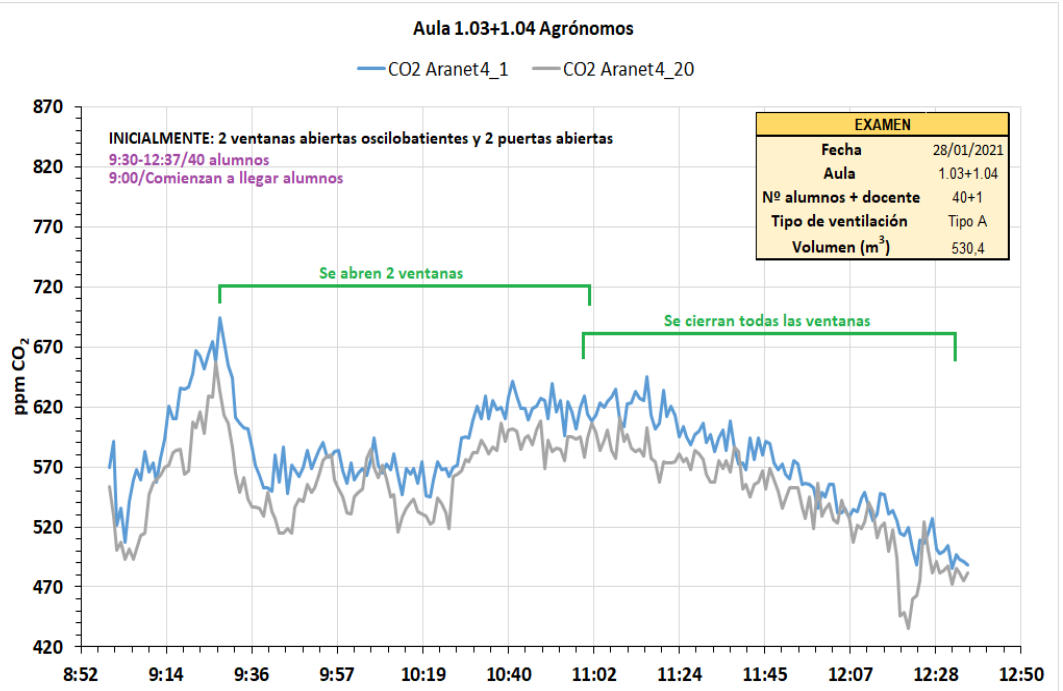
- OBRAS EN EL EDIFICIO
- NO FUNCIONABA EL SISTEMA DE VENTILACIÓN
- LUEGO SISTEMA DE VENTILACIÓN APAGADO. SE DA INDICACIONES DE COMO FUNCIONA A LOS CONSERJES
- SE DECIDE INSTALAR UN PILOTO DE LUZ VERDE EN CADA AULA PARA QUE EL PROFESOR SEPA CUANDO ESTÁ FUNCIONANDO LA VENTILACIÓN.



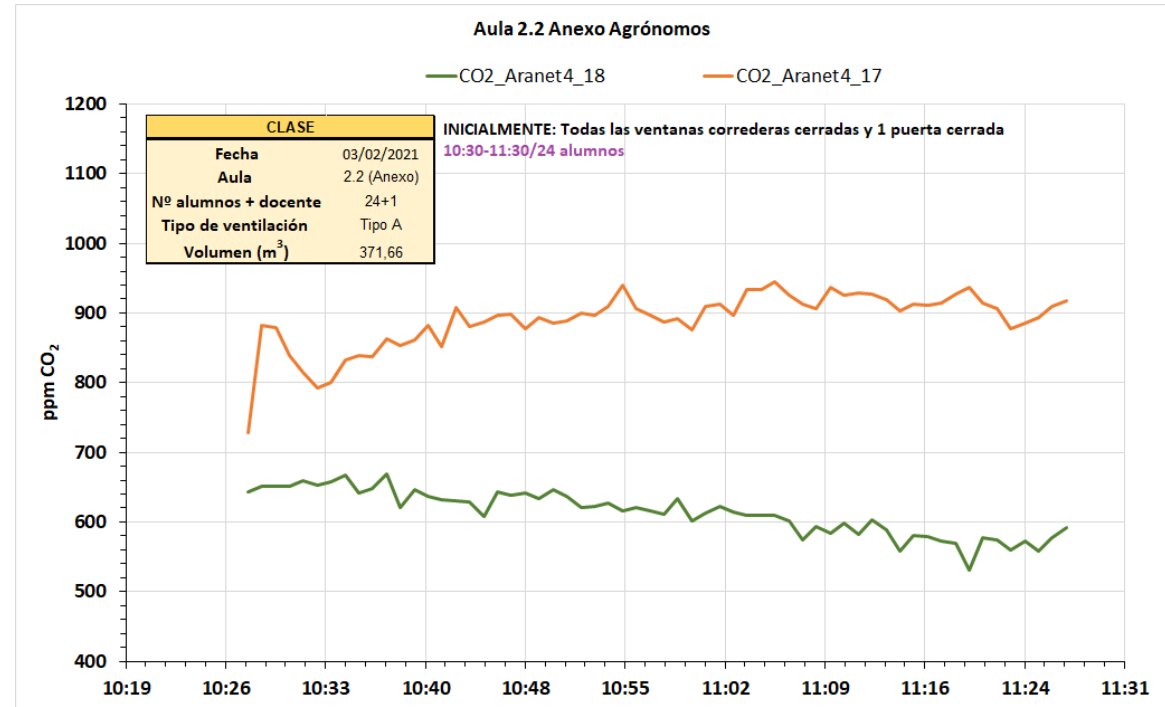
11 aulas evaluadas

AGRONOMOS

TIPO A



T_{promedio} = 24.7 °C



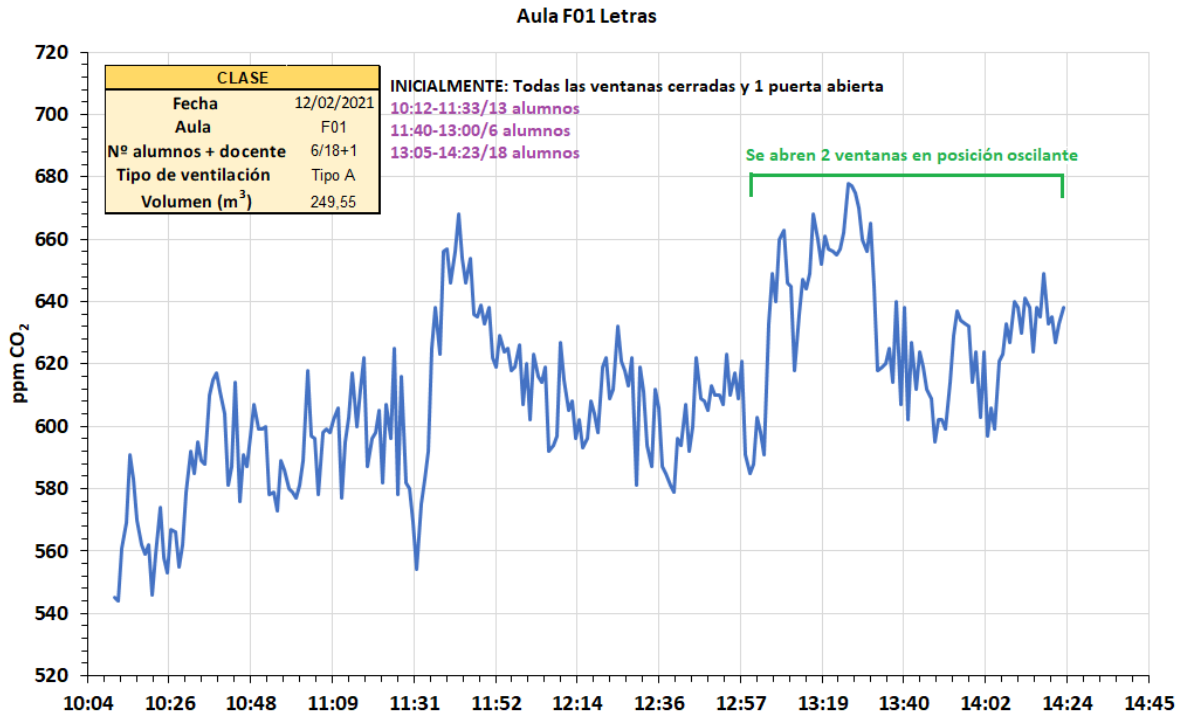
Distribución desigual de la ventilación
Mejor ventilación en la parte delantera del aula



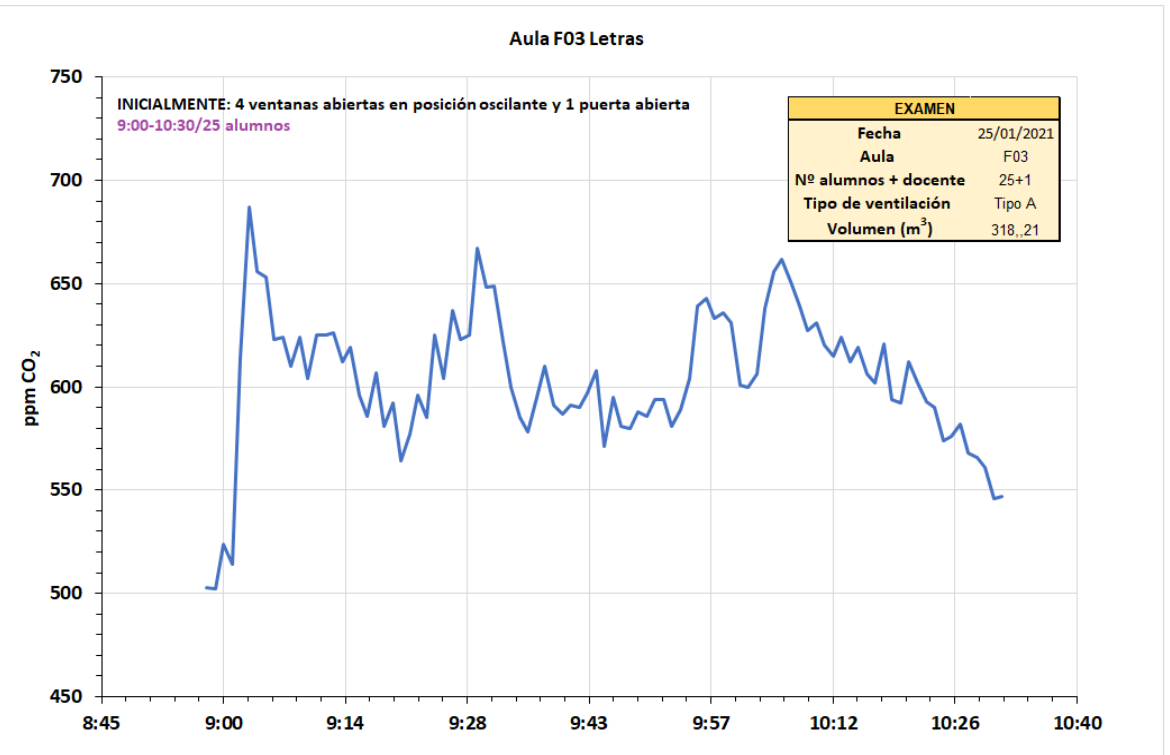
10 aulas evaluadas

FACULTAD DE LETRAS

TIPO A



T_{promedio} = 22.3 °C



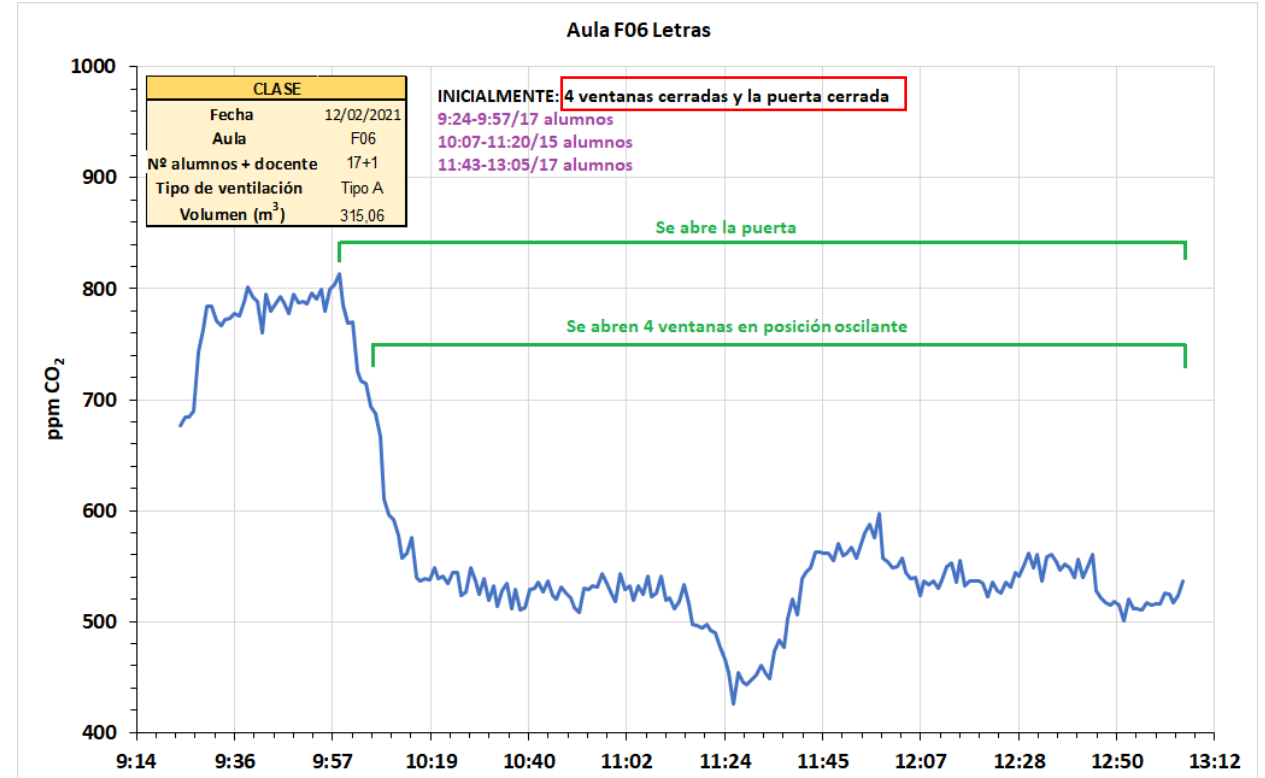
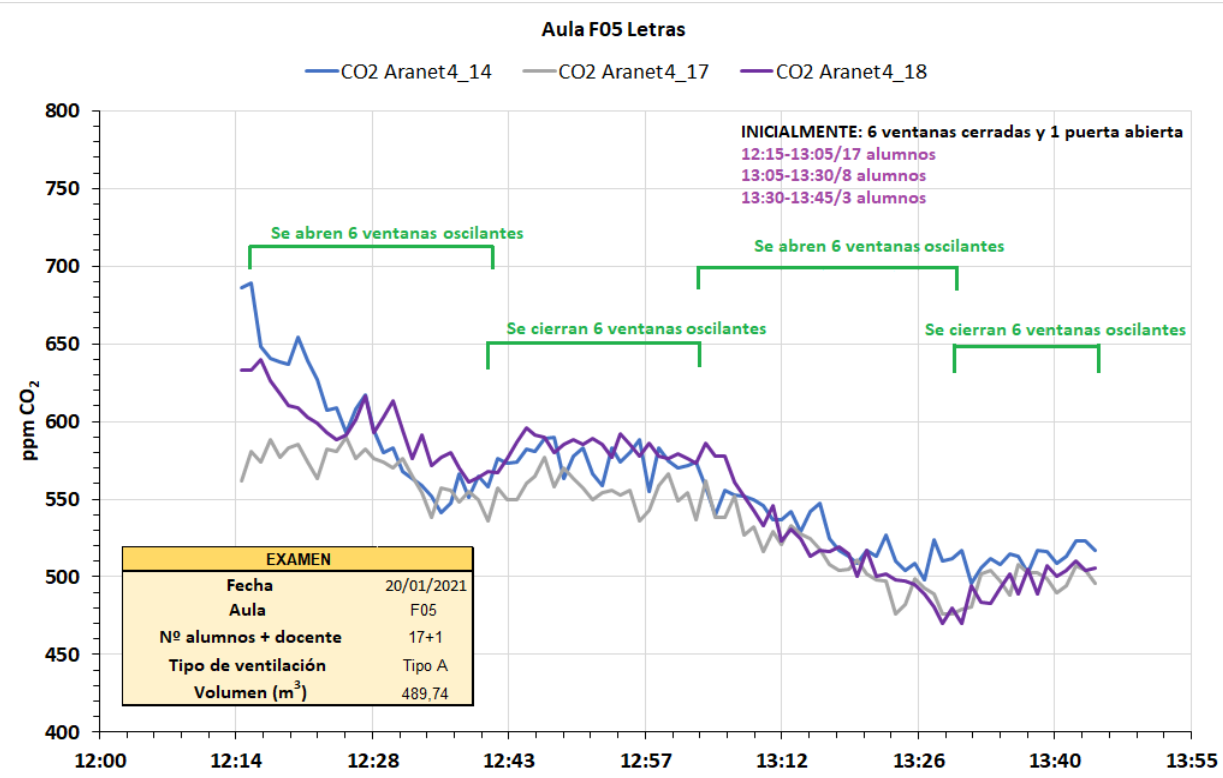
T_{promedio} = 19.7 °C



10 aulas evaluadas

FACULTAD DE LETRAS

TIPO A

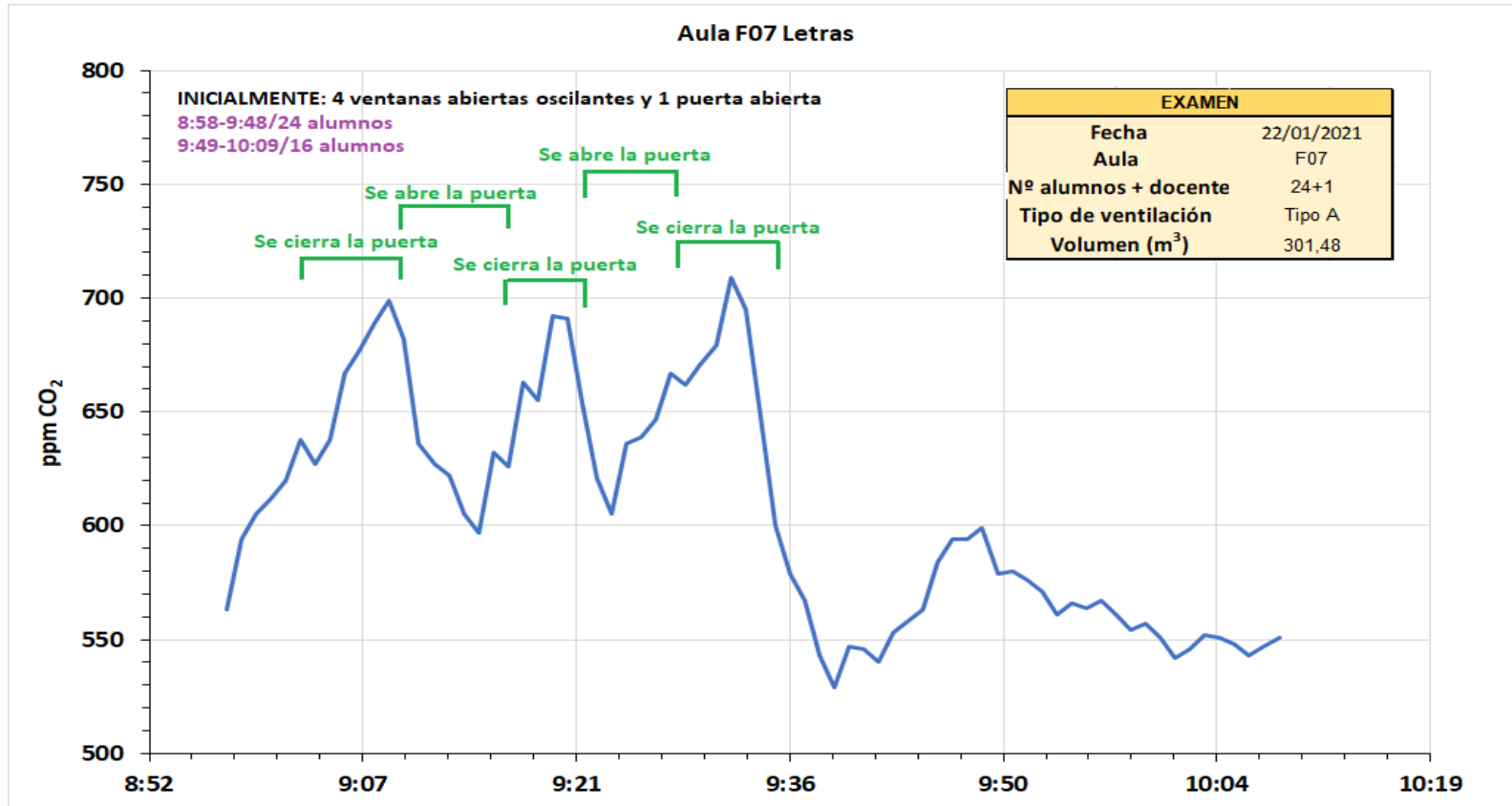




10 aulas evaluadas

FACULTAD DE LETRAS

TIPO A



SISTEMA DE VENTILACIÓN
TIPO A:

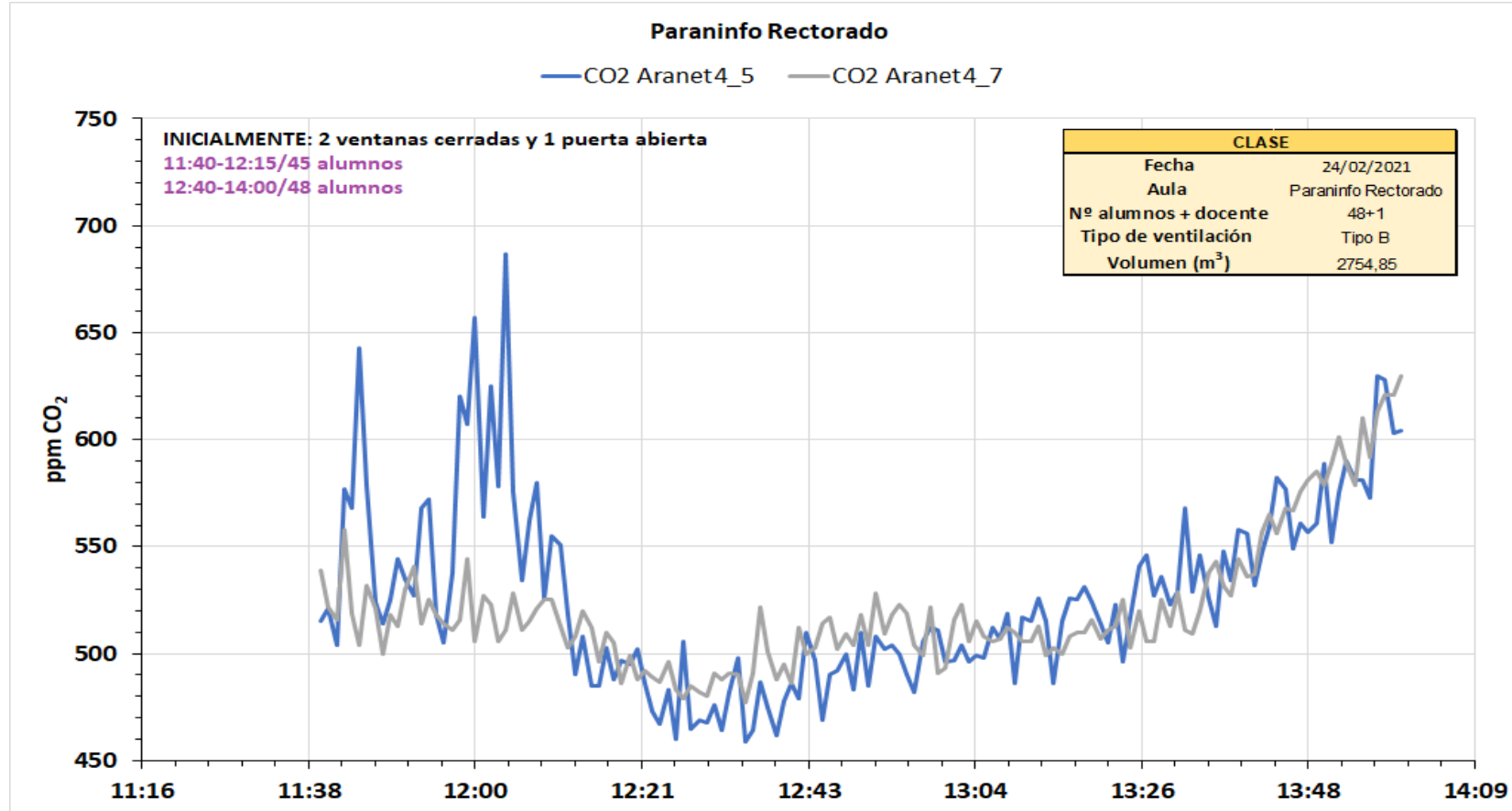
MANTENER PUERTAS
ABIERTAS

Cambio en la concentración de CO₂ con la apertura y cierre de puerta



RECTORADO - PARANINFO

TIPO B



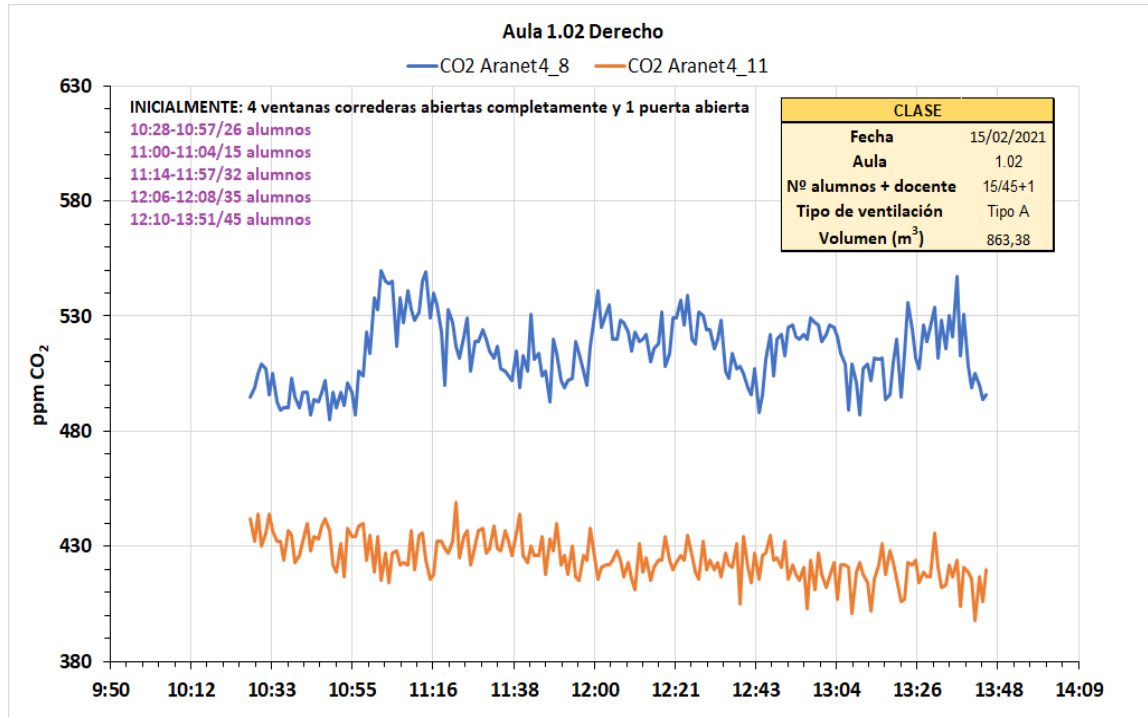
Nº Puestos: 66



10 aulas evaluadas

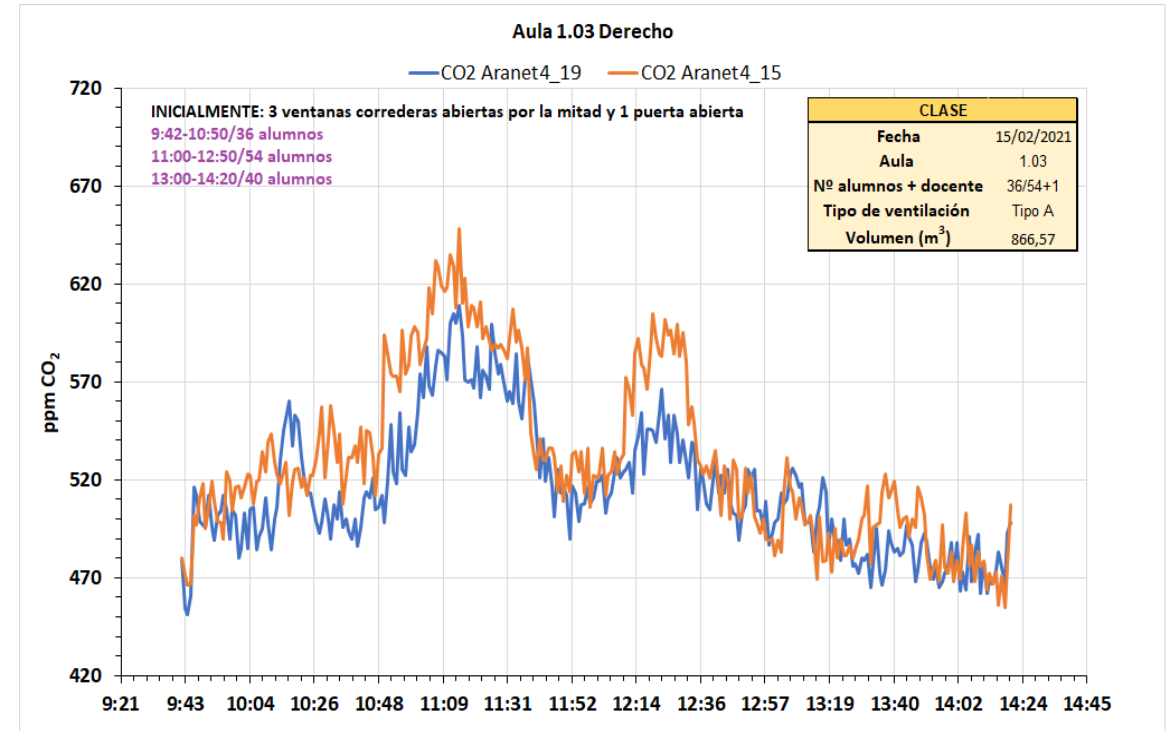
FACULTAD DE DERECHO

TIPO A



Nº Puestos: 72

T_{promedio} = 19 °C



Nº Puestos: 72

T_{promedio} = 22.5 °C

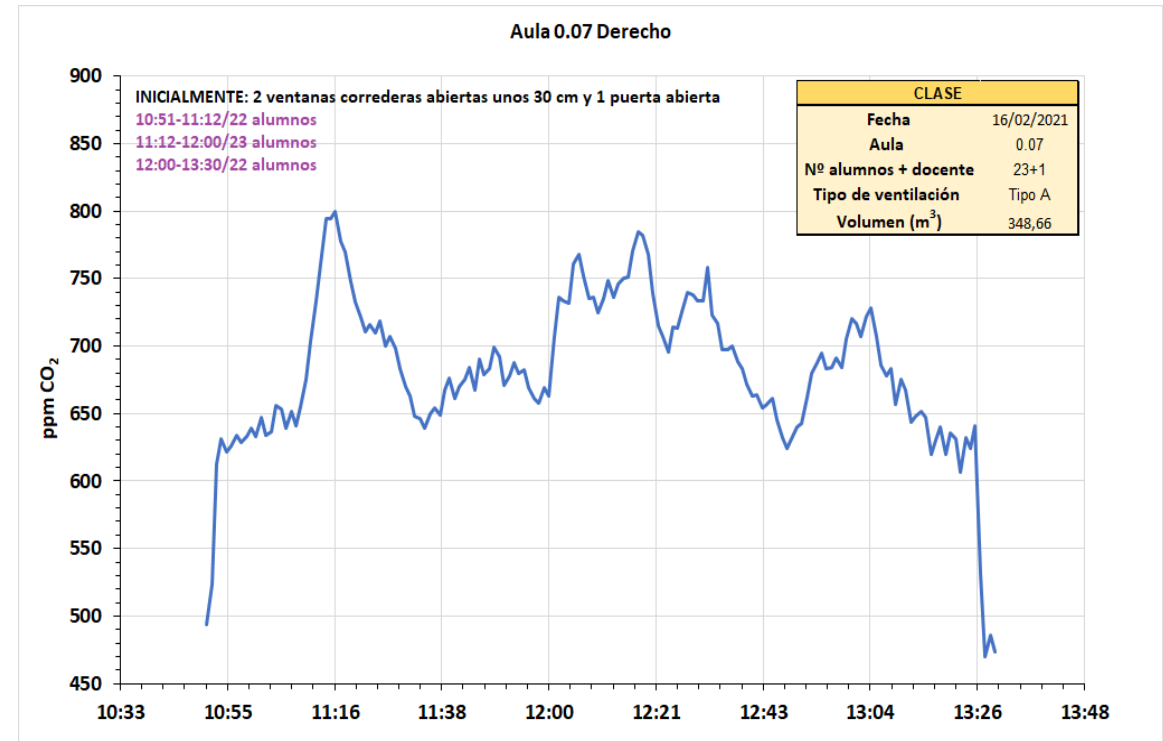
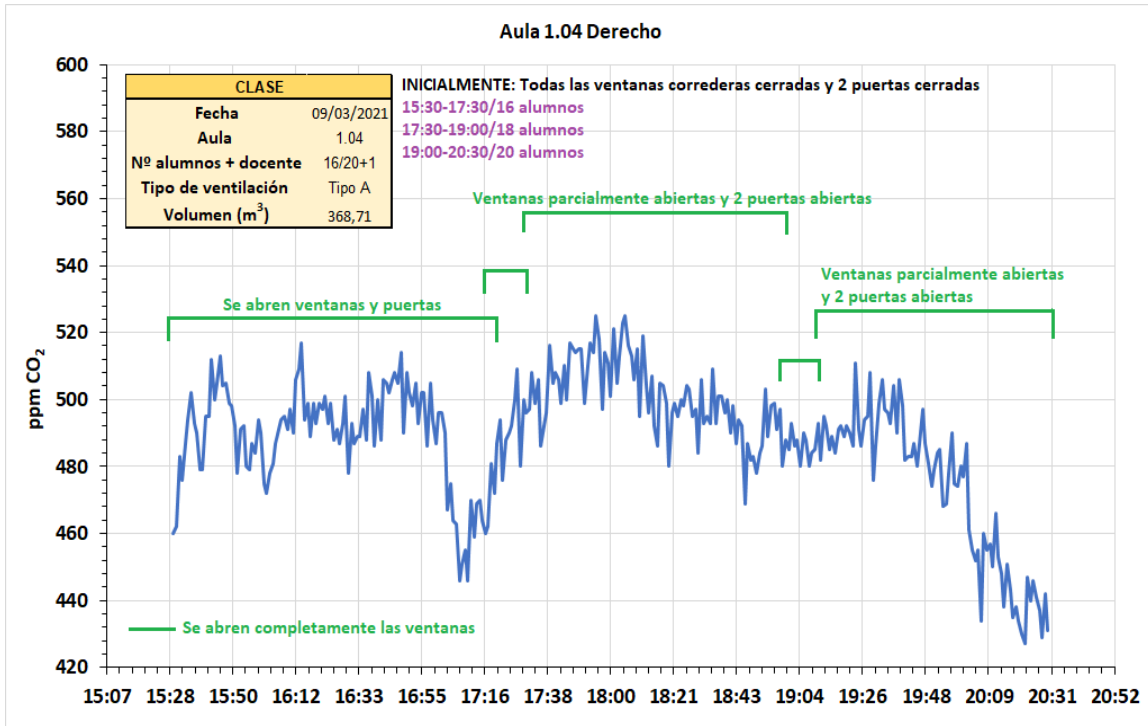
En todas las aulas evaluadas siempre ha habido ventanas abiertas y puerta abierta a pesar del TIPO A



10 aulas evaluadas

FACULTAD DE DERECHO

TIPO A

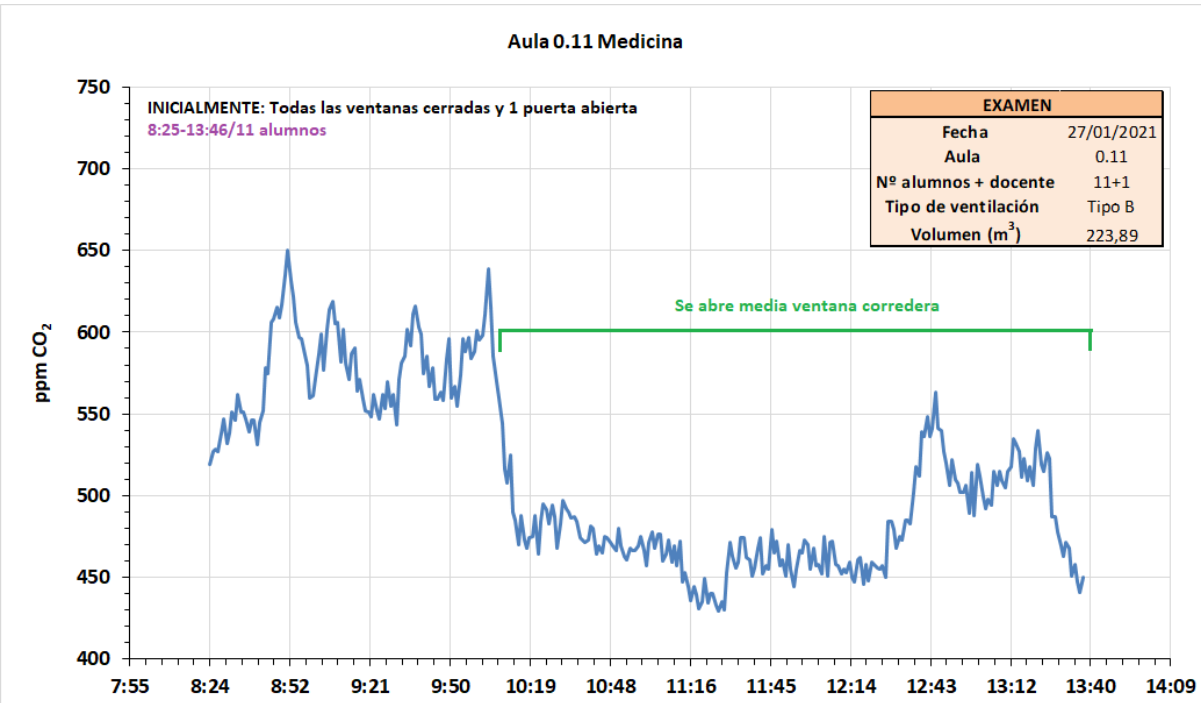




13 aulas evaluadas

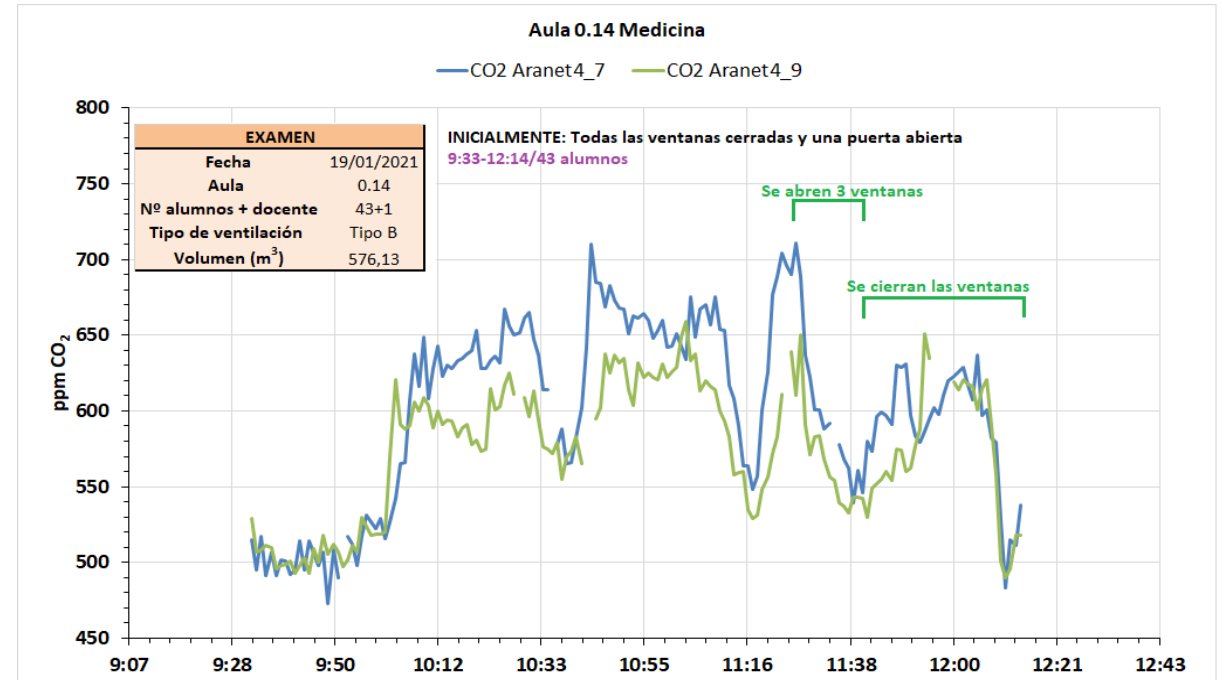
FACULTAD DE MEDICINA

TIPO B



T_{promedio} = 19.5 °C

Nº Puestos: 16



Nº Puestos: 60

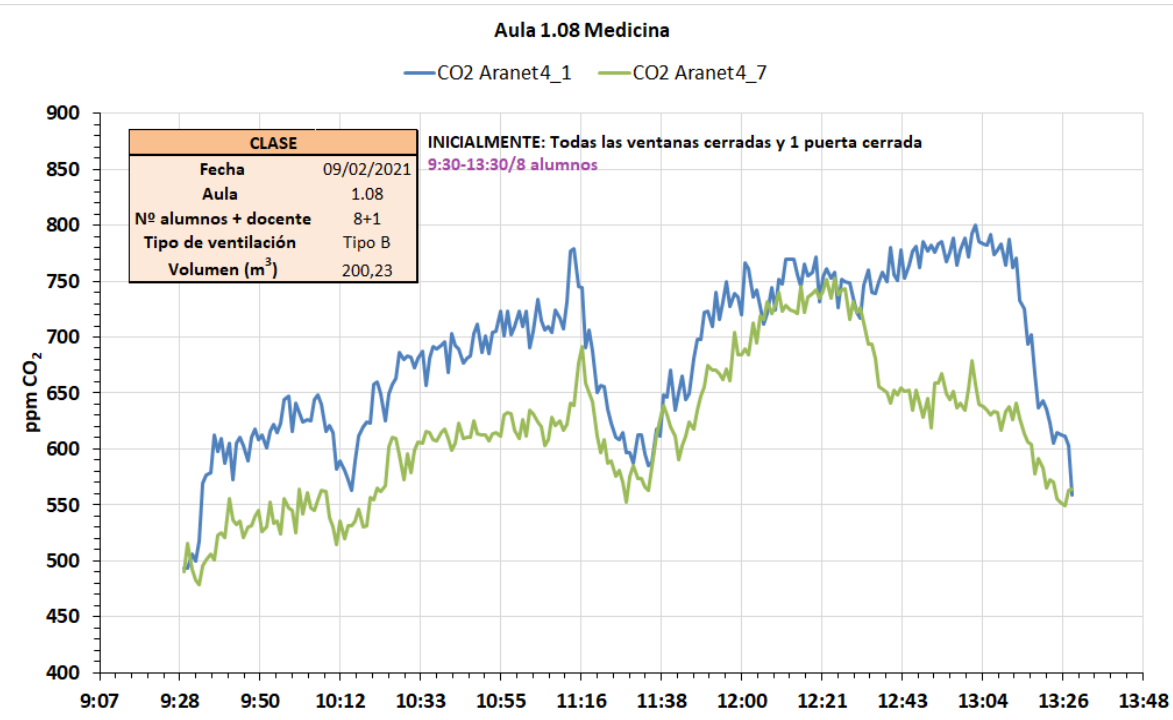
A pesar de ser Tipo B: suficiente aporte de aire exterior



13 aulas evaluadas

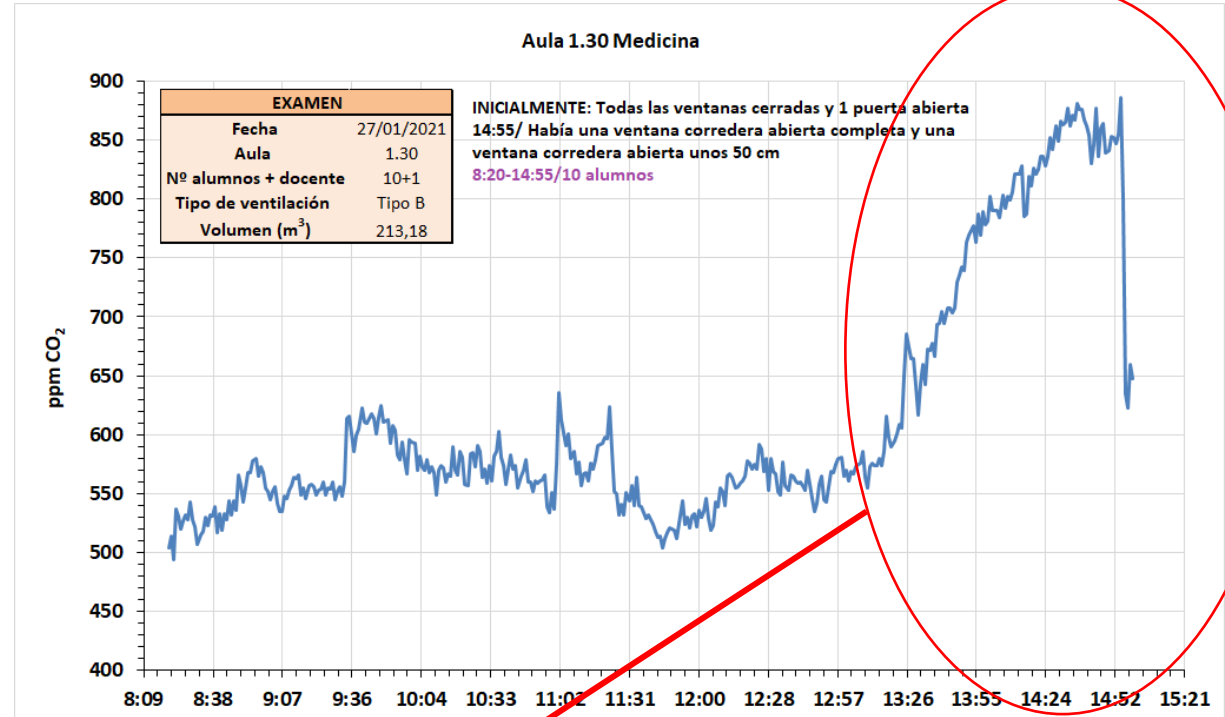
FACULTAD DE MEDICINA

TIPO B



T_{promedio} = 23.5 °C

Nº Puestos: 16



T_{promedio} = 20.1 °C

Nº Puestos: 16

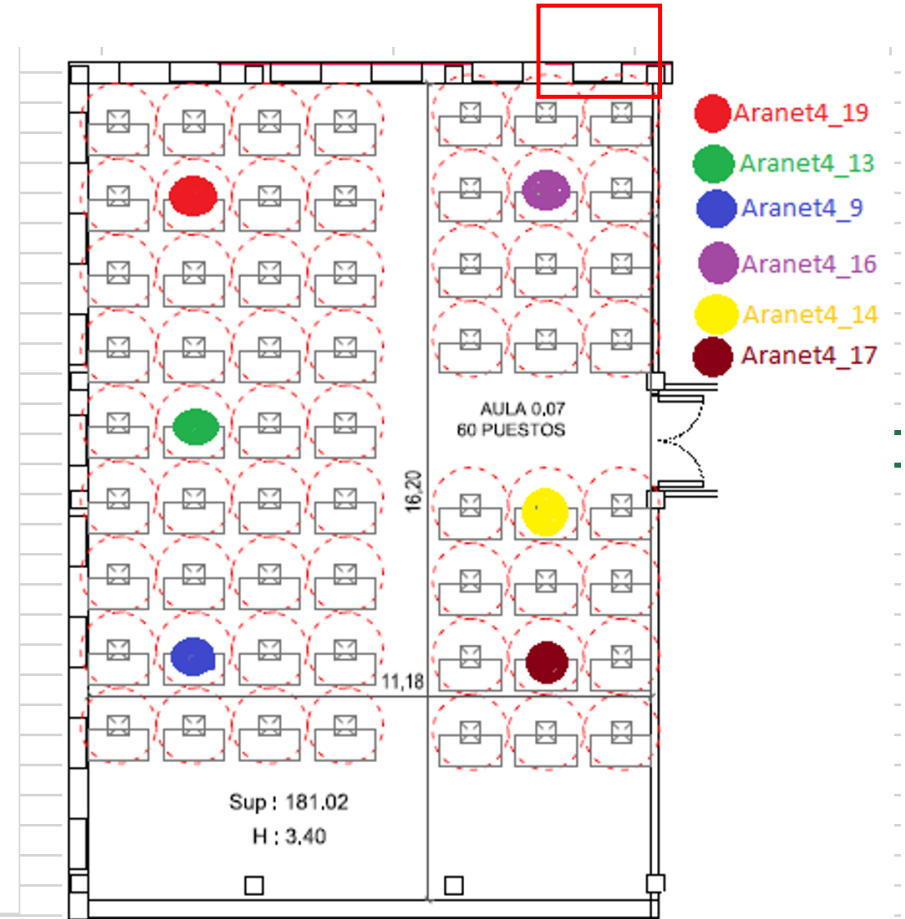
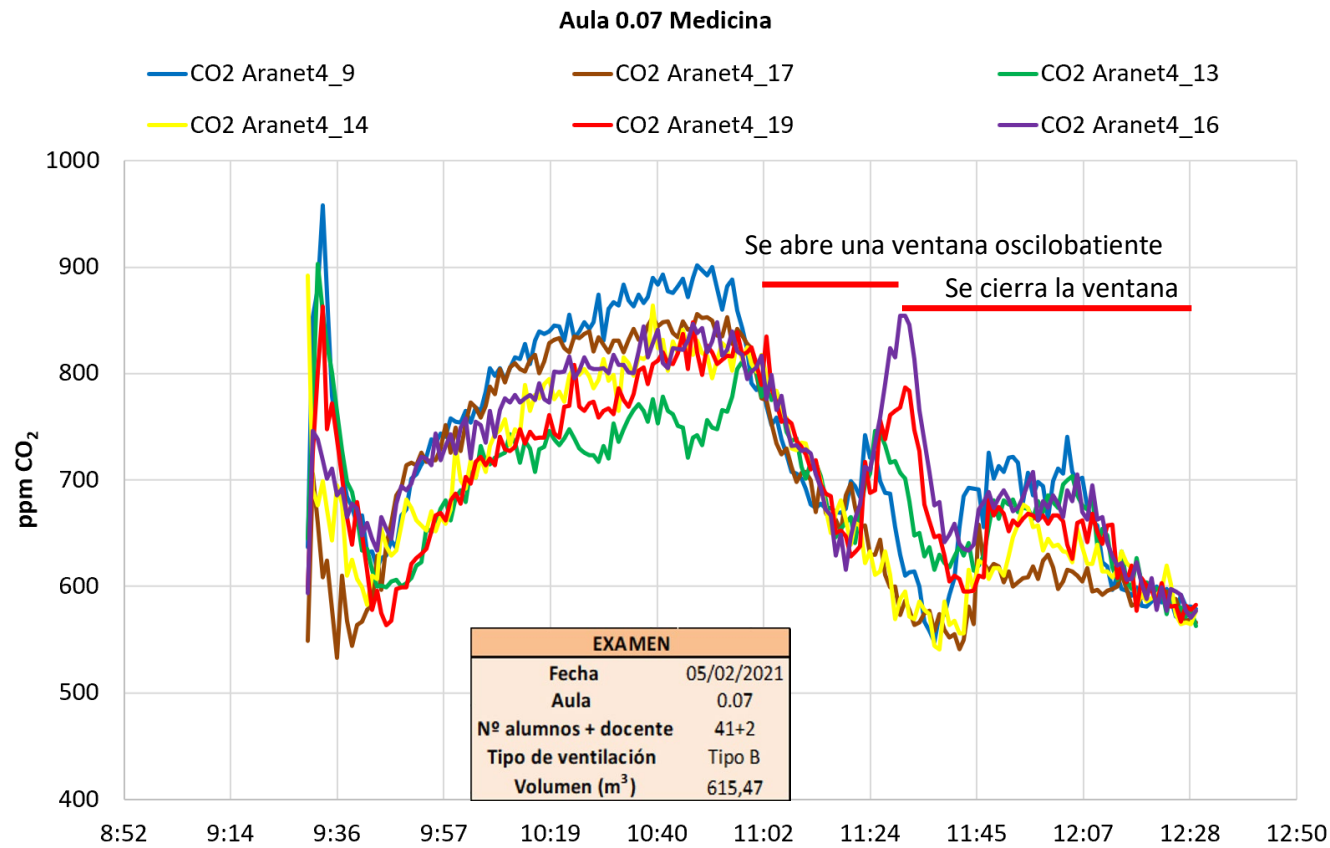
Dejar alguna ventana abierta



13 aulas evaluadas

FACULTAD DE MEDICINA

TIPO B



Nº Puestos: 60

Al inicio todas las ventanas cerradas y puerta abierta

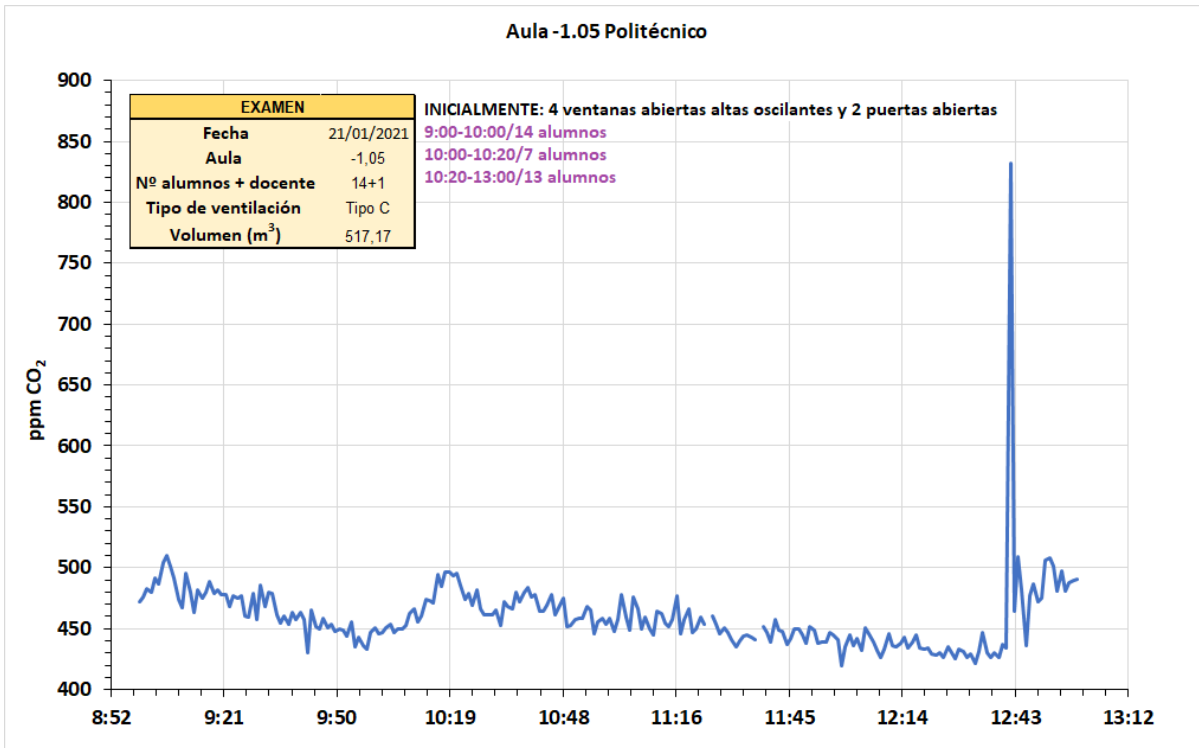


14 aulas evaluadas

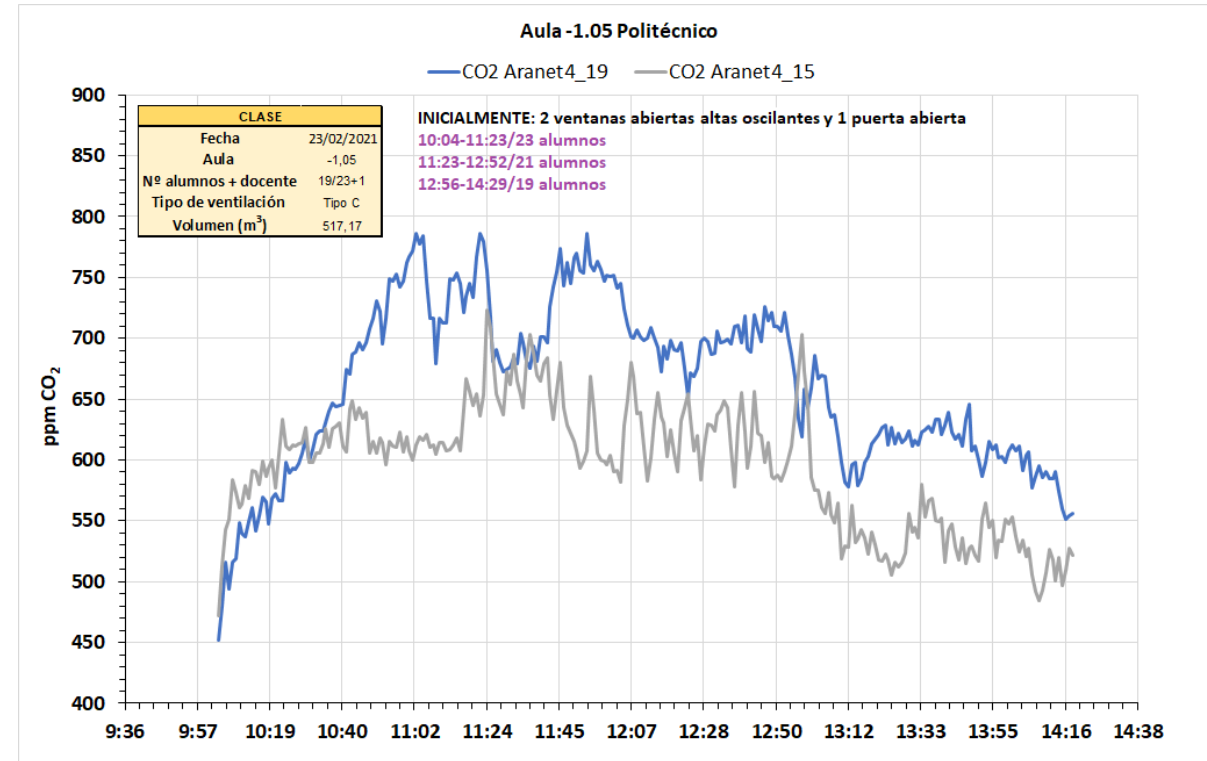
EDIFICIO POLITÉCNICO

SOTANO TIPO C

Nº Puestos: 40



T_{promedio} = 14.6 °C



Aranet4_19 (medio)
Aranet4_15 (detrás)

T_{promedio} = 16.8 °C



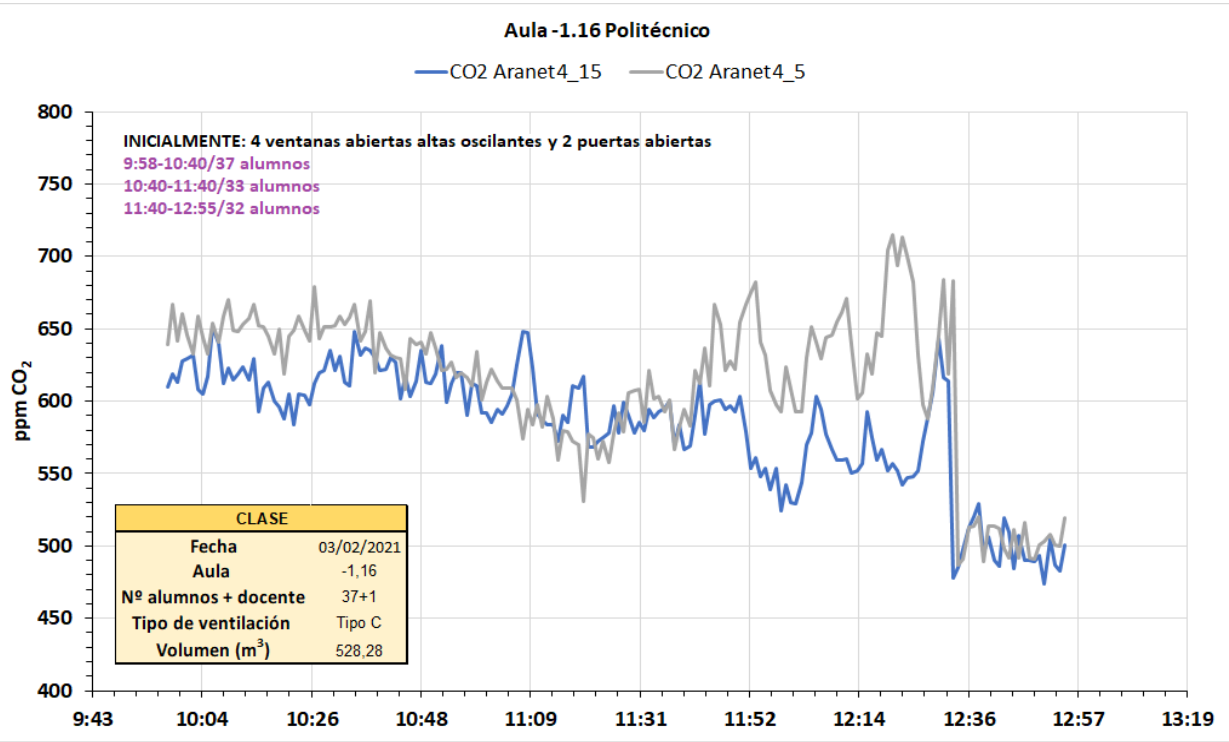
14 aulas evaluadas

EDIFICIO POLITÉCNICO

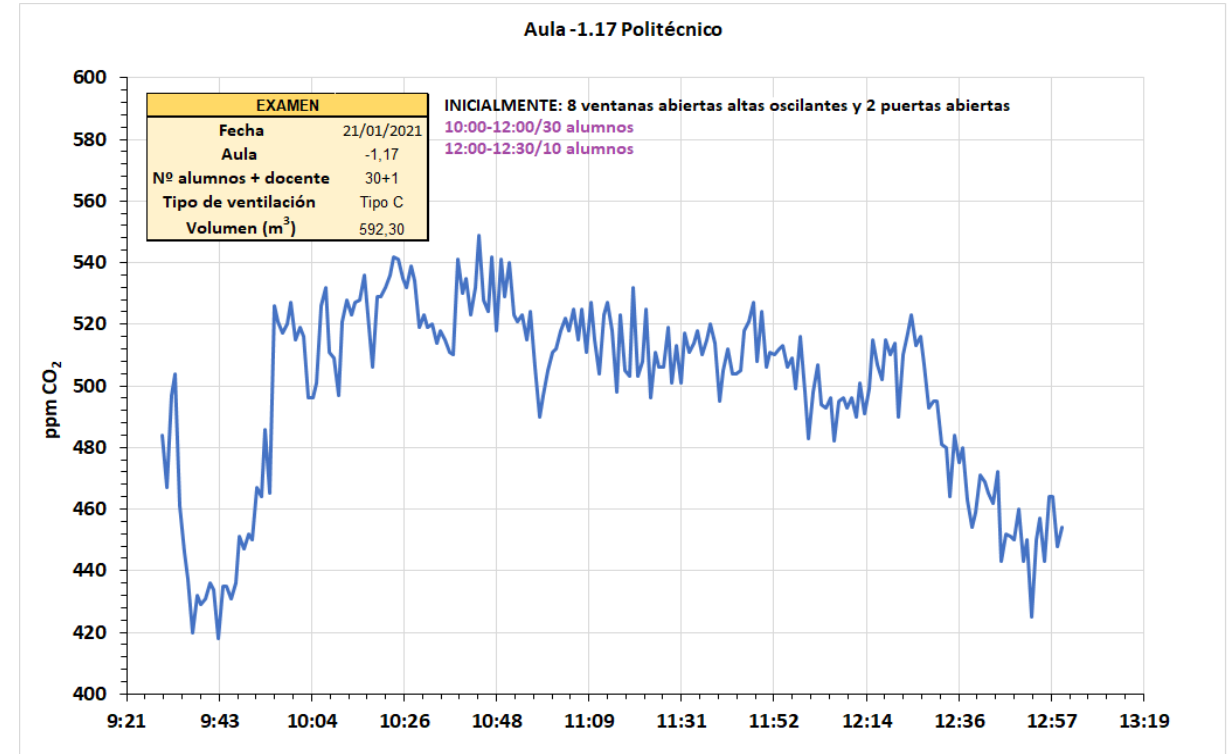
SOTANO TIPO C

Nº Puestos: 51

Nº Puestos: 57



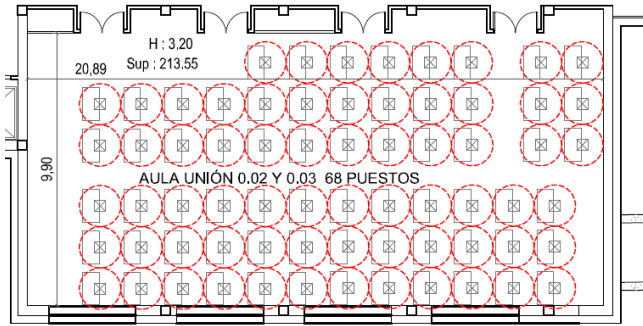
T_{promedio}= 19.5 °C



T_{promedio}= 16.3 °C

EDIFICIO POLITÉCNICO

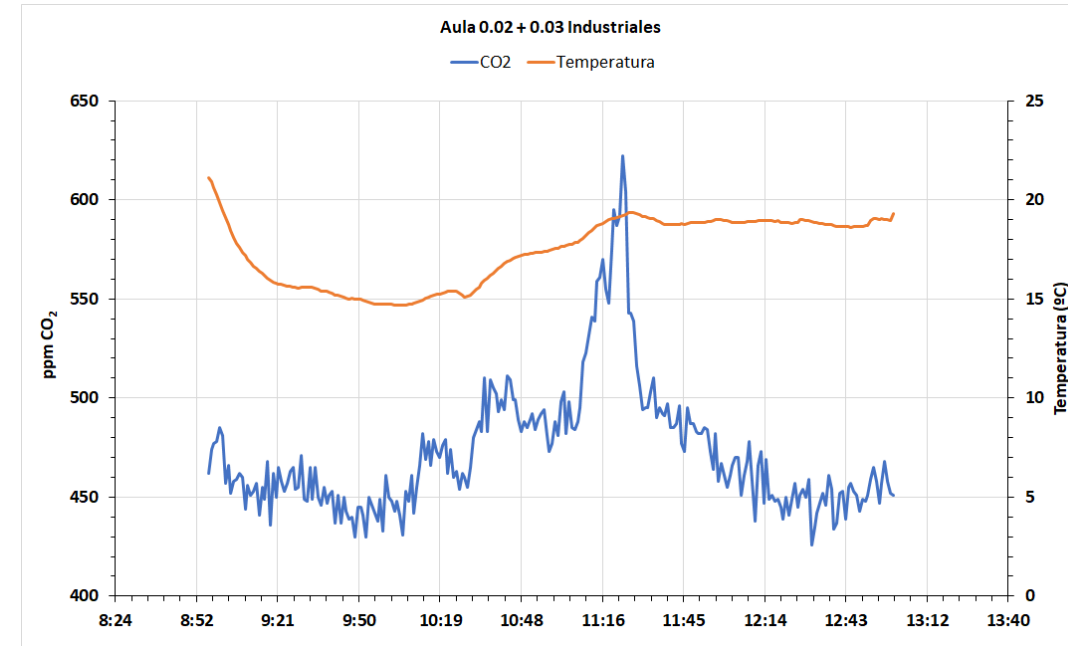
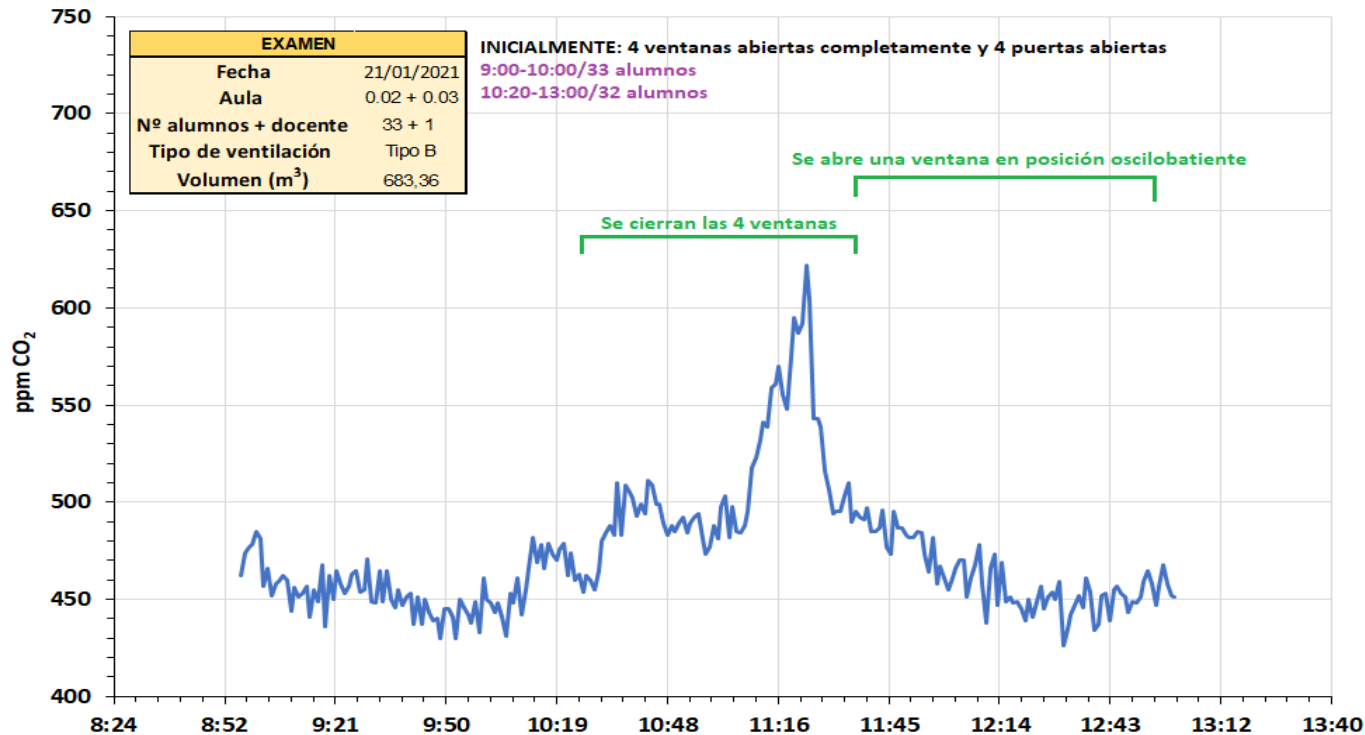
TIPO B

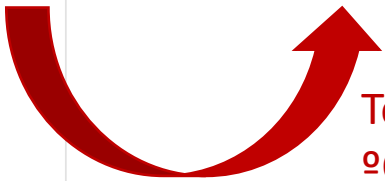


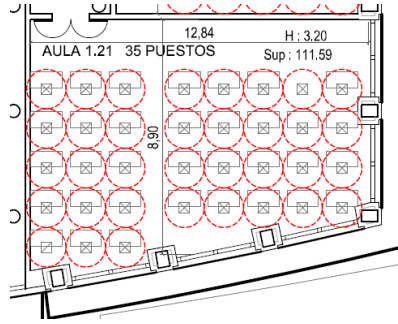
Nº Puestos: 68

$T_{\text{promedio}} = 17.4 \text{ } ^\circ\text{C}$

Aula 0.02 + 0.03 Politécnico

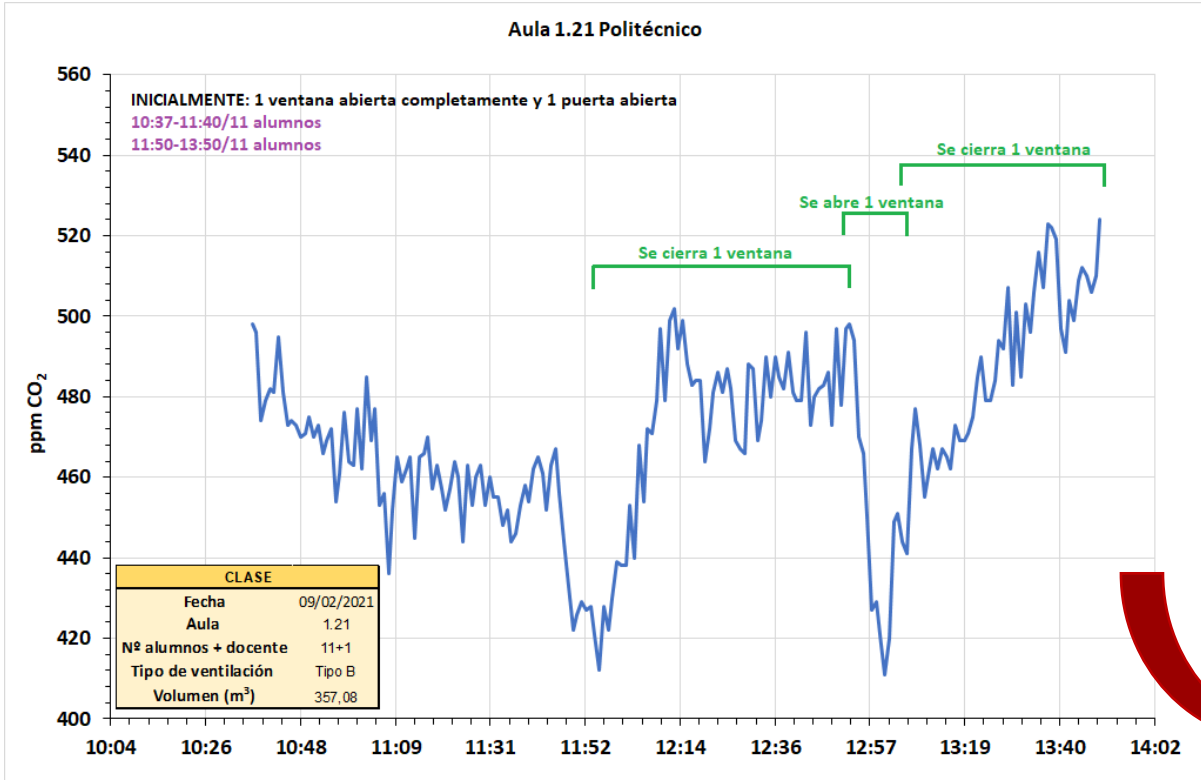



 Temperatura sube de 15 °C a 19 °C y se sigue manteniendo una buena ventilación solo con una ventana abierta

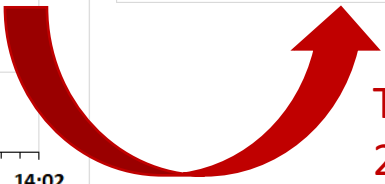
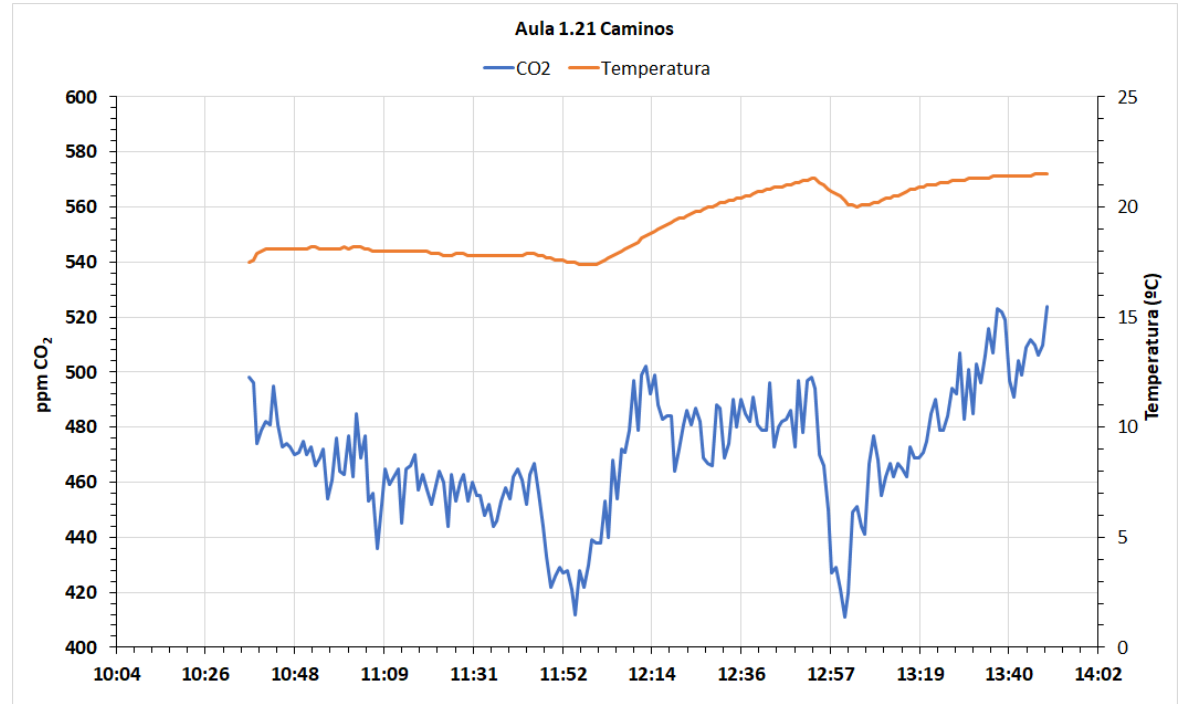


EDIFICIO POLITÉCNICO

Nº Puestos: 35
 $T_{promedio} = 19.3 \text{ }^\circ\text{C}$



TIPO B



Temperatura sube de 17.5 °C a 21.5 °C y se sigue manteniendo una buena ventilación

CONCLUSIONES:

- **AULAS TIPO A** → En la mayoría ventanas siempre abiertas, muy buena ventilación. Consumo energético. En la mayoría de los casos no generan la suficiente confianza.
 - Cómo saber si entra o no aire por las rejillas de impulsión (luz verde, papelillos en las rejillas...)
 - Importante medir CO₂ para detectar carencia en el sistema de ventilación
 - Actuación inmediata tras detectarse altos niveles de CO₂: problemas sistemas climatización.
 - Se recomienda mantener las puertas siempre abiertas

- **AULAS TIPO B** → En la mayoría ventanas siempre abiertas, muy buena ventilación. Consumo energético. En la mayoría de los casos no generan la suficiente confianza.
 - Cómo saber si entra o no aire por las rejillas de impulsión (luz verde, papelillos en las rejillas...)
 - Importante medir CO₂ para detectar carencia en el sistema de ventilación
 - Aquellos centros con medidores de CO₂ han optimizado la apertura y cierre de ventanas para no pasar frío.
 - Se recomienda mantener las puertas siempre abiertas y alguna ventana de manera continua con ventilación cruzada

- **AULAS TIPO C** → Ventanas siempre abiertas, muy buena ventilación. Pérdida de eficiencia energética y consumo.
 - Importante medir CO₂ para ajustar la apertura de ventanas para no pasar demasiado frío
 - Se recomienda ventilación cruzada, continua y distribuda.