



Controlaire

**Disseny, construcció i ús d'un mòdul de sensors
per analitzar la qualitat de l'aire en les aules.**

Agraïments

En primer lloc volem donar les gràcies a en [REDACTED], el nostre tutor de TR. Ens ha acompanyat i guiat durant tot el procés, sempre a la nostra disponibilitat per aclarir dubtes i revisar la nostra feina.

Seguidament, volem agrair a l'Equip directiu de [REDACTED] la seva confiança en el projecte i que en subvencionés el desenvolupament. Sense aquest suport no hauríem pogut completar el treball.

També volem agrair el suport del Centre de Recursos Específics de Suport a la Recerca i la Innovació Educativa (CESIRE), que ens va cedir un sensor Vernier de CO₂ per calibrar el nostre mòdul, i el del Centre de Recursos Pedagògics del Vallès, que ens va cedir una maleta bioclimàtica.

Agraïm finalment el suport dels UAB Open Labs, particularment el del seu director, Alfons Miàs, que ens va acollir de seguida i va mostrar molt interès pel projecte, i el del personal que ens va atendre, concretament l'Anna, que ens va ensenyar a utilitzar la talladora làser. La possibilitat de tallar la tapa de metacrilat i conèixer aquest servei va merèixer la visita a la UAB.

Índex

1. Introducció	1
2. Objectius	2
3. Hipòtesis	3
4. Disseny i construcció del mòdul	4
4.1 Característiques del mòdul	4
4.2 Components materials (<i>hardware</i>)	5
4.3 Disseny	7
4.4 Programari (<i>software</i>)	17
4.5 Desenvolupament	19
5. Marc teòric	35
5.1 Efectes del nivell de CO ₂ a la capacitat cognitiva	35
5.2 Reglament sobre la qualitat de l'aire interior	36
5.3 Experiències similars	37
6. Estudi de la qualitat de l'aire	38
6.1 Metodologia per realitzar l'estudi	38
6.2 Taules de dades recollides	38
7. Conclusions	49
7.1 Sobre el sensor	49
7.2 Sobre la qualitat de l'aire	49
7.3 Continuitat del projecte	50
7.4 Impressions finals	50
8. Bibliografia	51
9. Glossari	52
Annex 1: Informe projecte qualitat d'aire	54
Annex 2: Transcripció del programari	57
Annex 3: Imatges addicionals	77

1. Introducció

La Covid-19 ha significat un canvi de paradigma en el nostre dia a dia i en la societat en general. La coincidència en el temps entre la pandèmia i els nostres estudis de Batxillerat serà un fet que ens acompanyarà tota la vida i que de segur recordarem. La novetat del fenomen i el gran desconeixement de les conseqüències van incrementar l'interès per conèixer les vies de transmissió del virus. Per tal de prevenir contagis es van establir protocols d'obligat compliment per a tota la societat, que naturalment també ens van afectar a nosaltres. De cop i volta, vam començar a anar a classe amb mascareta, mantenint la distància entre companys i deixant les finestres obertes de bat a bat.

Ben aviat, però, ens vam preguntar si realment era necessària la ventilació que indicava el protocol, ja que ens gelava les idees i dificultava enormement el treball a l'aula, sobretot durant els mesos més freds d'hivern. Teníem interès a veure si la ciència podria donar respostes com ara fins a quin punt la ventilació de les aules millorava la qualitat de l'aire que respirem i, per tant, minimitzava el risc de contagi. Aquest interès, conjuntament amb una preocupació creixent pels efectes de la qualitat de l'aire en el desenvolupament cognitiu de les persones, van ser les fonts d'inspiració del nostre Treball de Recerca de Batxillerat.

Motivats per poder donar resposta científica a la qualitat de l'aire de les nostres aules, ens vam proposar un repte tant o més estimulant que el de respondre aquestes preguntes: el repte de dissenyar i construir una estació de monitoratge de la qualitat de l'aire a l'aula. D'aquesta manera vam aconseguir combinar l'àmbit científic amb l'àmbit tecnològic i generar un treball que ha representat per al nostre grup un procés molt enriquidor de treball en comú i d'aprenentatge. Les dificultats que hem trobat en el procés de disseny i construcció de l'estació de control, junt amb el fet que aquest és el nostre primer treball autènticament de recerca, han suposat una experiència que, igual que la Covid-19, estem segurs que no oblidarem mai.

De tots els conceptes que hem après, voldríem destacar-ne alguns de l'àrea de tecnologia, com ara la impressió en 3D, la col·laboració amb serveis universitaris com l'UAB Open Labs, els llenguatges de programació, o la creació i la utilització d'equipament i aparells qualificats com sensors, càmeres tèrmiques, i microprocessadors... Del camp científic volem destacar l'estudi del marc teòric i legislatiu en relació amb les instal·lacions tèrmiques i elèctriques, així com tota la part de càlcul i matemàtiques aplicades en el procés de creació del mòdul.

El treball recull els principals aspectes de la feina que hem desenvolupat des de la constitució del grup, el febrer de 2021, fins al lliurament. Si bé per nosaltres l'objectiu ha estat immens i el grau de satisfacció excel·lent, som conscients que la feina realitzada pot constituir la base de futurs treballs de recerca. Durant el desenvolupament del treball ens hem adonat que hi ha conceptes que es poden seguir desenvolupant. L'ampliació i l'extensió d'aquest projecte depassaria els límits del treball, però voldríem posar tot el nostre esforç a disposició de futurs equips de treball que vulguin aprofundir en la temàtica. Entenem que compartir les experiències i treballar en equip és la millor manera de progressar i fer avançar la ciència.

2. Objectius

Ens hem proposat els següents objectius:

- 1) **Dissenyar i construir** un mòdul de sensors de concentració de CO₂, temperatura i humitat que sigui simple, econòmic, adaptable, didàctic, reparable i durable.
- 2) **Mesurar** la concentració de CO₂, la temperatura i la humitat de les aules de l'Institut.
- 3) **Recollir i emmagatzemar** les dades generades en un període determinat de temps, tant en el mateix sensor com en un servidor connectat via Wi-fi.
- 4) **Analitzar** les dades emmagatzemades per treure conclusions sobre la variació de la qualitat de l'aire de l'aula al llarg del dia i sobre les necessitats de ventilació.
- 5) **Desenvolupar** el projecte tenint en compte el cost total i la possible continuïtat o utilització del projecte amb fins didàctics al mateix centre o d'altres centres.

3. Hipòtesis

Hem treballat amb les següents hipòtesis:

- 1) És possible crear un mòdul de sensors per monitorar la qualitat de l'aire en el marc d'un projecte de Treball de Recerca de Batxillerat.
- 2) La qualitat de l'aire disminueix proporcionalment amb el cabal de l'obertura a l'exterior de l'aire.
- 3) És possible optimitzar la ventilació per tal de mantenir un equilibri òptim entre la temperatura de l'aula i la concentració de CO_2 .
- 4) El pis on està situada l'aula d'estudi influeix a la concentració de diòxid de carboni.
- 5) L'altura on està situat el sensor respecte del terra afecte proporcionalment a la concentració de CO_2 .

4. Disseny i construcció del mòdul

Per poder mesurar la qualitat de l'aire al nostre institut de manera sostinguda en el temps és imprescindible combinar dos camps prou diferenciats. Per una banda cal un dispositiu equipat amb tots els instruments necessaris per recollir les dades que ens interessaven, és a dir, un mòdul de sensors o estació de monitoratge. Per altra banda, les dades que recull aquesta estació han de ser emmagatzemades en un dispositiu que permeti la seva acumulació i tractament. Així doncs, hem hagut de combinar una part més de física ("hardware") quan parlem del mòdul de sensors amb una part més de programari informàtic ("software") quan ens referim al codi que tracta les dades i controla els dispositius.

Malgrat que en el mercat existeixen múltiples models de sensors o estacions de mesura, vam decidir que volíem dissenyar i construir el nostre propi mòdul. D'aquesta manera, hem pogut crear un dispositiu amb les funcions exactes que necessitàvem podent adaptar la solució als requeriments escollits. El procés de disseny i construcció es va convertir en una part molt important del treball de recerca. Això ens ha permès adquirir experiència tècnica i comprendre les diferents fases en el desenvolupament, el muntatge, la instal·lació i l'ús de l'aparell. També hem après a treballar amb diferents mètodes, materials, i programes informàtics com VSCode, TinkerCAD, Ultimaker Cura, XamPP o Fritzing. Aquesta experiència pot tenir un valor didàctic per a altres alumnes, perquè el projecte està pensat per poder ser entès, replicat i millorat.

4.1 Característiques del mòdul

Primer de tot vam haver d'establir les característiques del nostre mòdul de sensors, perquè condicionen el disseny i la tria de components.

Pel que fa a les **característiques tècniques**, vam decidir que el mòdul havia de ser capaç de:

- **Mesurar** la concentració de CO₂, la humitat i la temperatura de l'aula.
- **Presentar** les dades en temps real a través d'una pantalla.
- **Enregistrar** les dades en un interval de temps donat i emmagatzemar-les en una memòria interna.
- **Transferir** les dades mitjançant una targeta Micro SD o mitjançant un mòdul Wi-Fi.

Pel que fa a els **característiques de disseny i construcció**, vam decidir que el mòdul havia de ser:

- **Simple.** La simplicitat afavoreix el disseny, la construcció i el manteniment del mòdul.
- **Econòmic.** Un cost baix ens permet construir més mòduls i fer el seguiment de més aules. També facilita la continuïtat del projecte a través de la seva adopció a altres centres.
- **Adaptable.** El disseny modular permet adaptar el mòdul a les necessitats del centre.
- **Didàctic.** Un mòdul simple, amb components visibles, té més valor didàctic que un mòdul complex, tancat dins d'una capsa. A l'ESO, els alumnes es poden interessar per projectes d'electrònica similars; al Batxillerat, els alumnes es poden implicar directament en el manteniment dels mòduls existents o en la fabricació de nous mòduls.
- **Reparable.** Els components han de ser accessibles i intercanviables, i el mòdul ha de tenir unes instruccions clares.

- **Durable.** El mòdul ha de ser fort i resistent, s'ha de poder instal·lar en una aula de Secundària.
- **Escalable:** El mòdul ha de permetre incorporar altres sensors o instrumentació de manera fàcil, per tant, cal que faciliti la substitució d'elements per altres en cas de ser necessari.

Hem dividit la descripció del mòdul en diferents apartats: components materials (*hardware*), disseny, programari (*software*), desenvolupament, fabricació i instal·lació.

4.2 Components materials (*hardware*)

Un cop definides les característiques del nostre mòdul de sensors, podem triar els components que utilitzarem. L'objectiu és trobar un equilibri entre el cost i la qualitat dels components.

Sensor de CO₂ [Winsen MHZ19C](#)

El sensor de CO₂ és el component més important del nostre mòdul, ja que en el CO₂ és el gas més determinant de la qualitat de l'aire.

El sensor que hem escollit es basa en l'absorció de la radiació infraroja per les diferents molècules d'aire. És un sensor del tipus NDIR (per *nondispersive infrared sensor*) i és molt comú perquè és relativament simple i econòmic (Hodgkinson et al. 2013). Funciona de la manera següent:

El sensor emet un feix de radiació infraroja que travessa el compartiment on hi ha l'aire ambiental. Cada molècula d'aire absorbeix radiació d'una longitud d'ona o unes longituds d'ona determinades. El CO₂, per exemple, absorbeix radiacions de longitud d'ona 15, 4.3, 2.7, i 2 µm. A l'altra banda del compartiment hi ha un detector que analitza la radiació infraroja. Comparant la radiació emesa amb la radiació detectada es pot comprovar quines longituds d'ona han estat absorbides i identificar els gasos a l'aire ambient.

El full d'especificacions del sensor indica que el seu marge d'error és de $\pm(50+5\%) \text{ ppm}$. Això significa que si el sensor mostra un valor de 500 ppm, la quantitat real de CO₂ està compresa entre 425 i 575 ppm. El marge d'error s'incrementa en concentracions més altes.

Hem de tenir en compte també que el sensor està calibrat amb base a un valor exterior de 400 ppm, quan el valor real és més pròxim a 410-15 ppm. Això vol dir que les dades mostrades són una mica inferiors a la concentració real.

Mòdul Wi-Fi [ESP8266 NodeMCU Wi-Fi DevKit](#)

El mòdul Wi-Fi distingeix el nostre mòdul de la majoria de detectors de CO₂ comercials. Aquest component ens permet enviar les dades del sensor a un servidor, on són emmagatzemades. Això facilita molt la recollida i anàlisi de les dades.

El NodeMCU és una plataforma de suport pel xip Wi-Fi ESP8266, conegut en el món de l'electrònica educativa per la seva flexibilitat, facilitat d'ús i compatibilitat amb la infraestructura Arduino. El xip té moltes funcions diferents, però nosaltres fem ús de la seva capacitat de connexió com a client en una xarxa preexistent per enregistrar dades en un servidor central.

Pantalla TFT 1,8'

La pantalla és el component que mostra les mesures en temps real i que permet a les persones que són a l'aula reaccionar quan la concentració de CO₂ és massa alta.

La pantalla que hem escollit és del tipus TFT (*thin-film transistor*), que es deriva de les pantalles LCD (*liquid crystal display*). És una pantalla comuna a molts dispositius mòbils, per la seva nitidesa i claredat. En el nostre cas, malgrat la superfície reduïda, compleix molt bé la seva funció perquè les dades es poden llegir fins a 4 metres de distància.

Mòdul Micro SD

El mòdul Micro SD inclou un receptor i una targeta micro SD. La seva funció és emmagatzemar les dades en cas que no hi hagi connexió a xarxa. La capacitat (256 megabytes) és molt baixa per l'ús en els ordinadors actuals, però és més que suficient per a les dades que hem de recollir i per donar suport al xip Arduino.

Sensor AHT 10

El sensor AHT 10 té la doble funció d'analitzar la temperatura i la humitat de l'aire. Aquestes dues variables no estan directament relacionades amb el nostre objectiu d'analitzar la qualitat de l'aire, però afegeixen funcionalitats al mòdul i permeten monitoritzar dos aspectes rellevants per al confort a l'aula. Igual que la concentració de CO₂, la temperatura i la humitat de l'aire s'enregistren directament al servidor, per comprovar si existeix alguna relació entre les tres. Addicionalment, les dades de temperatura poden ser útils per estudiar l'eficiència energètica de l'aula.

Arduino UNO R3

El xip Arduino és el "cervell" del mòdul: rep l'entrada dels sensors, processa les dades i les transmet a la pantalla TFT i al mòdul Wi-fi. Una característica clau d'aquest component és la infraestructura i suport per la plataforma Arduino, sobretot en l'elaboració i simplificació del *software*. Això permet als alumnes de Tecnologia, que tenen coneixements bàsics d'Arduino, aplicar aquests coneixements a la reparació i el manteniment dels mòduls.

Cables i transistor.

Hem utilitzat cables elèctrics de coure estanyat recoberts de silicona (tipus 22AWG). La característica clau és que són de nucli sòlid, es a dir, que tenen les propietats plàstiques d'un filferro.

Un transistor NPN és un component electrònic extremadament simple i comú. És un petit dispositiu semiconductor de tres potes. Dues es posen en sèrie en un circuit i la tercera serveix per obrir o tancar aquest últim depenent de si rep tensió o no. En altres paraules ens permet programar l'apagada del sistema.

4.3 Disseny

Considerant les especificacions podem utilitzar CAD per elaborar el disseny del mòdul, que consisteix d'un calaix emmarcat en alumini.

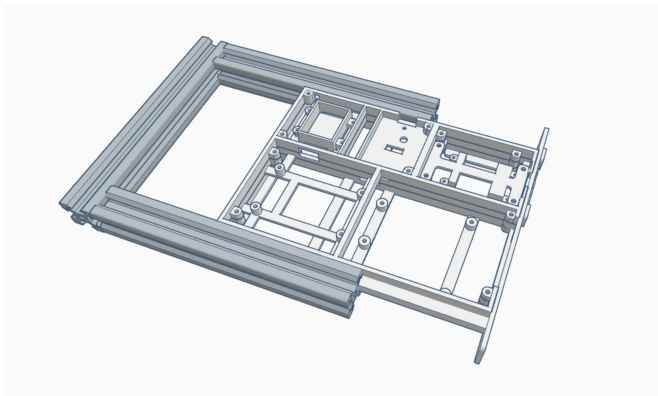


Fig. 1. El disseny assemblet en TinkerCAD.

Arnès de cables

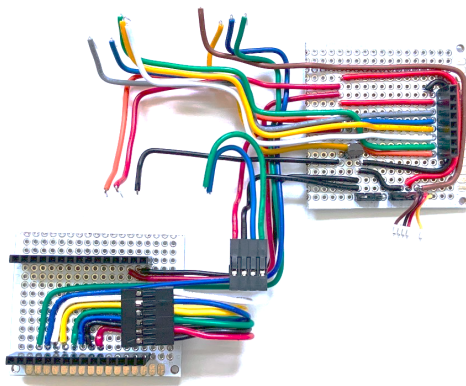
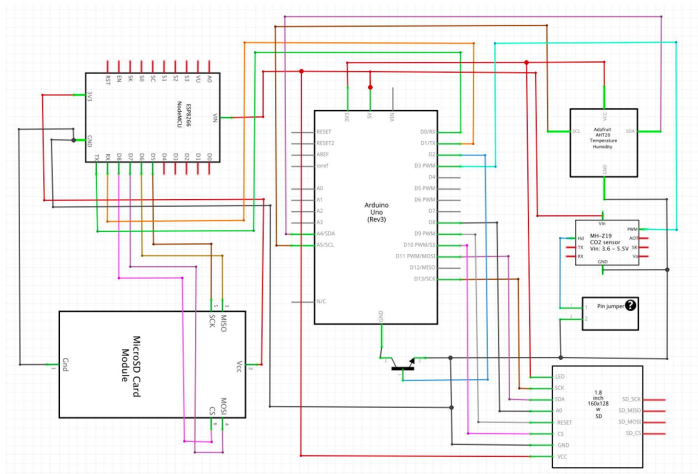
La seva funció és connectar tots els components entre si de manera reversible seguint l'esquemàtica. El seu nom prové de l'arnès elèctric dels motors de combustió, una sèrie contínua de cables que connecta totes les parts elèctriques.

L'arnès es basa en dues plaques perforades THT en les quals s'efectuen totes les connexions per soldadura. La pantalla TFT i el mòdul Wi-fi es connecten per capçaleres de pins a les plaques, mentre que la resta de components són connectats mitjançant capçaleres als cables, que al seu torn es connecten a la placa que els correspon.

A part de connexions directes, l'arnès té tres elements clau. El primer és un connector de dos pins que permet fer un pont entre la sortida de calibratge del sensor i el terra, calibrant el sensor a la concentració ambient. El connector és molt accessible i per tant el calibratge és fàcil i ràpid.

El segon element clau són els tres busos de subministrament, un per la font de 3,3V, un per la font de 5V i l'últim pel terra. La seva funció és unir els cables del mateix tipus perquè sigui possible connectar-los tots a l'Arduino.

Finalment, entre la connexió de terra de l'Arduino i dels components, hi ha el transistor NPN que permet apagar-los automàticament.



Marc

El marc dona rigidesa i durabilitat al mòdul, i crea moltes opcions d'instal·lació. El formen tres peces d'alumini, amb seccions de perfil estàndard. La sèrie T d'extrusions d'alumini és part del sistema mètric, i la seva forma específica permet l'ús de femelles i connectors T per construir estructures rígides fàcilment (Fig. 4.). Hem utilitzat connectors de 90 graus (Fig. 5.) per formar una C amb les tres seccions de 150 mm.

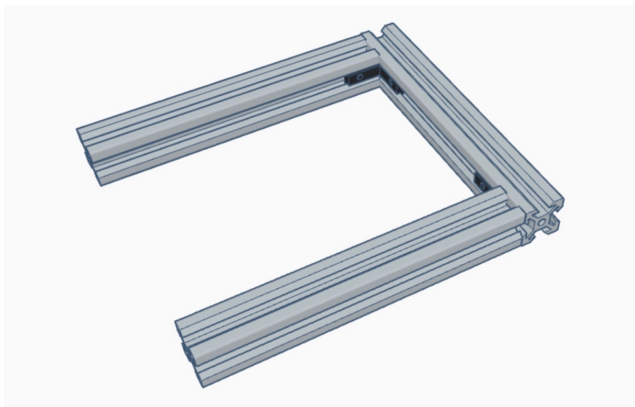


Fig. 3.

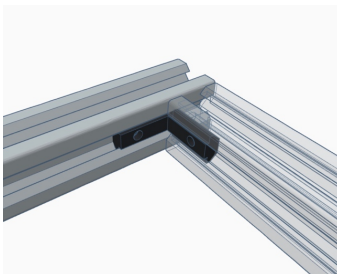


Fig. 4.

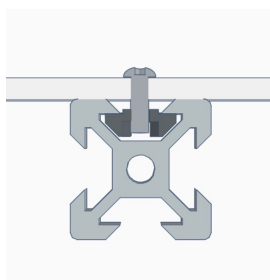


Fig. 5.

Calaix

El calaix o xassís, fabricat per impressió 3D, és la base on es col·loquen tots els components. Consta de tres nivells, que tenen com a objectiu simplificar la fabricació i facilitar l'accés als components.

La primera capa és on es munta l'Arduino, el cervell del mòdul, així com l'arnès de cables. Les plaques de l'arnès determinen la posició dels cargols que uneixen les tres parts del calaix. Per si soles les capes són relativament flexibles, ja que les plaques rígides dels components completen la seva estructura, estalviant material i temps d'impressió.

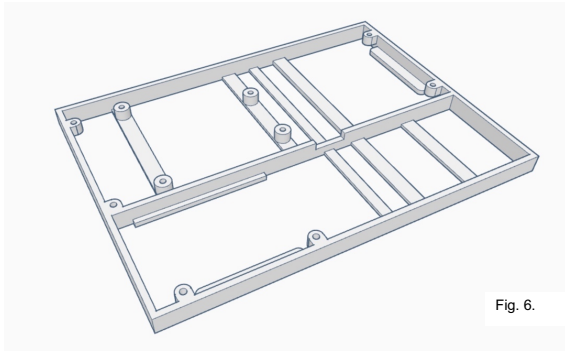


Fig. 6.

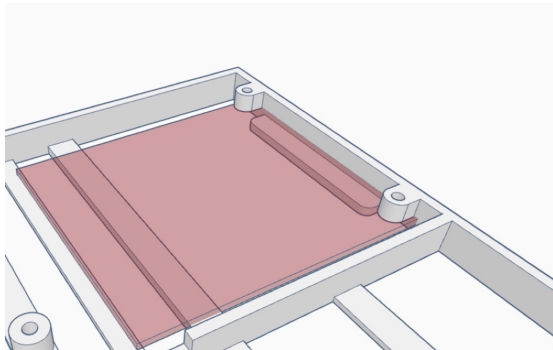


Fig. 7. Es veu com la placa de l'arnès encaixa en les seves montures.

La segona capa és més ampla i baixa que les altres, per poder encaixar dins la ranura del marc d'alumini. És la capa on es col·loquen la majoria dels components. Una peça independent assegura el sensor de CO₂ a la segona capa (Fig. 10). Una segona peça uneix el mòdul de la targeta SD al mòdul Wi-fi, que al seu torn encaixa als pins de l'arnès (Fig. 9).

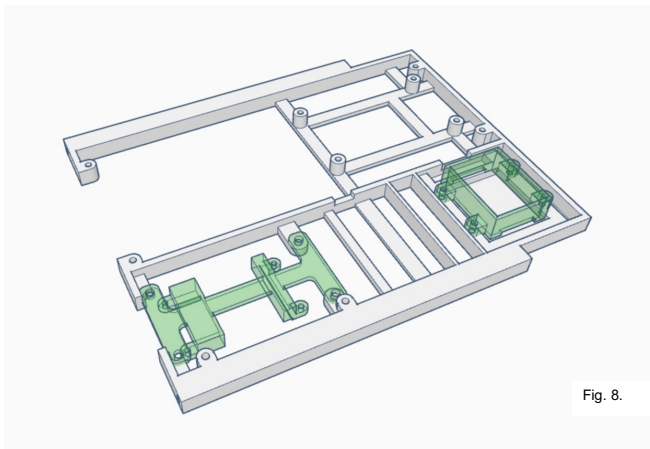


Fig. 8.

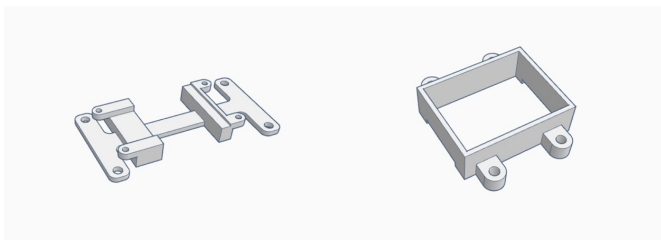


Fig. 9.

Fig. 10.

Finalment, la tercera capa dona suport al sensor de temperatura i completa l'estructura.

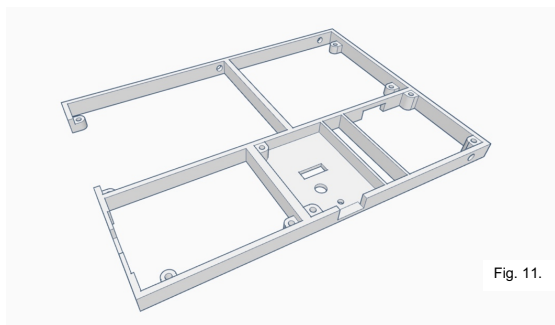


Fig. 11.

Per unir les capes entre si i als components s'utilitza el mateix tipus de cargol mètric, l'M2.5 cap rodona, en dues llargades diferents: en total s'utilitzen 20 cargols de 8 mm i 10 de 6mm. El mòdul SD requereix un diàmetre de cargol menor, així que excepcionalment es fa ús de 4 cargols de presa M2. Tots els fixadors utilitzen el mateix diàmetre hexagonal M1.5, per tant es pot muntar i reparar el calaix amb un sol tornavís.

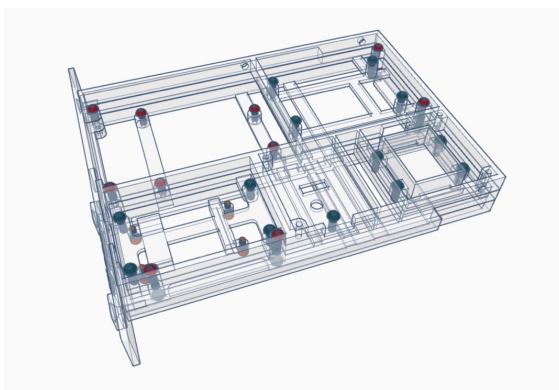


Fig. 12. Es veuen les posicions de cada cargol. En vermell els M2.5 6mm, en blau els M2.5 8mm i en taronja els M2 6mm.

Una de les majors limitacions de la impressió 3D és que no permet formar grans voladissos, ja que treballa col·locant una capa de plàstic sobre l'altra. Aquesta és la raó més important per separar el calaix en tres seccions, ja que permet fabricar la forma complexa que encaixa en el marc i fa de suport dels components. Addicionalment, l'altura relativa a l'àrea de la base és baixa, el que permet mantenir bones toleràncies a velocitats d'impressió relativament altes.

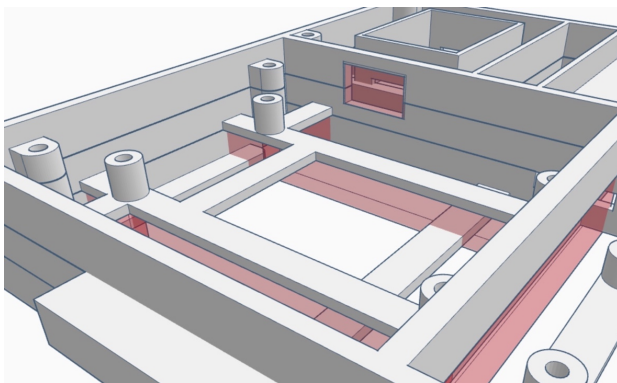


Fig. 13. En vermell es poden observar les zones que la impressora és incapaç de reproduir sense la separació de les capes.

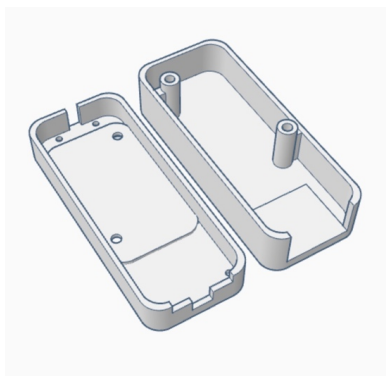


Fig. 14. El contenidor del regulador de voltatge és la peça més alta en tot el disseny

Tapes

Per fixar i protegir el mòdul, el disseny incorpora tres tapes. La més important és una placa de metacrilat que s'enganxa al marc d'alumini per formar una sola peça, que presenta un forat rectangular. La connexió es forma amb 4 femelles T i cargols M3 avellanats.

Quan inserim el calaix dins les ranures del marc, podem instal·lar la segona tapa, fabricada per impressió 3D. És una reixa que impedeix el moviment horitzontal i bloqueja el calaix en la posició tancada.

L'última tapa s'assegura al costat obert del marc per tancar la C i immobilitzar les muntures. Addicionalment, té una ranura on s'encaixa una placa que indica l'aula.

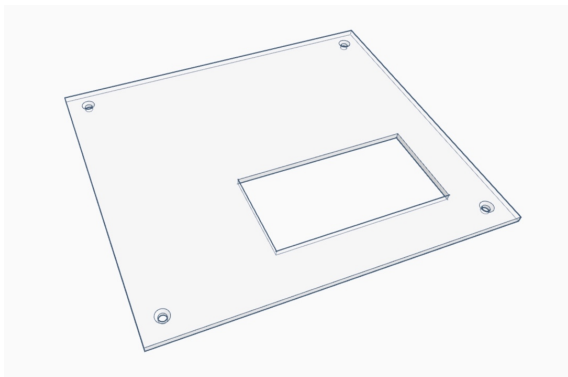


Fig. 15. Primera tapa, de metacrilat.

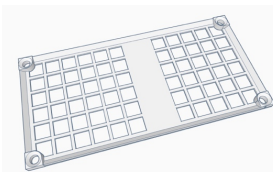


Fig. 16. Segona tapa, impresa en plàstic transparent

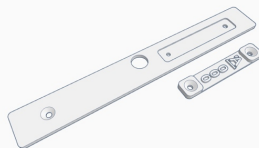


Fig. 17. Tercera tapa, amb la placa d'indicació d'aula.

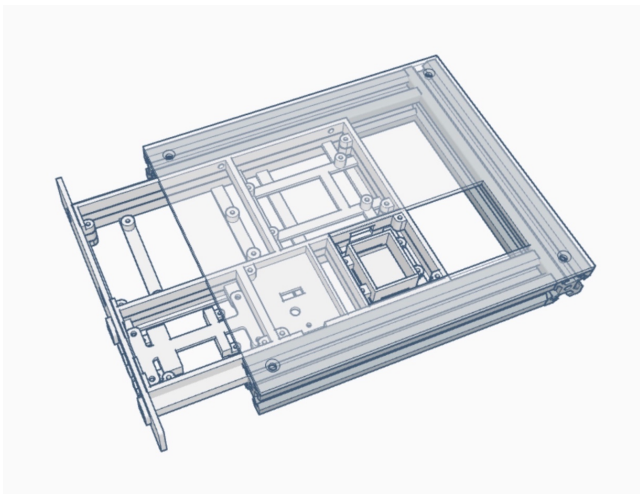
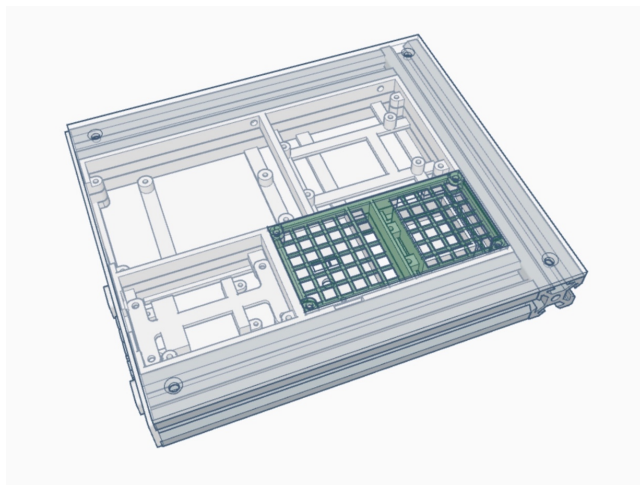


Fig. 18 i 19. Demostració de la funcionalitat de la segona tapa.



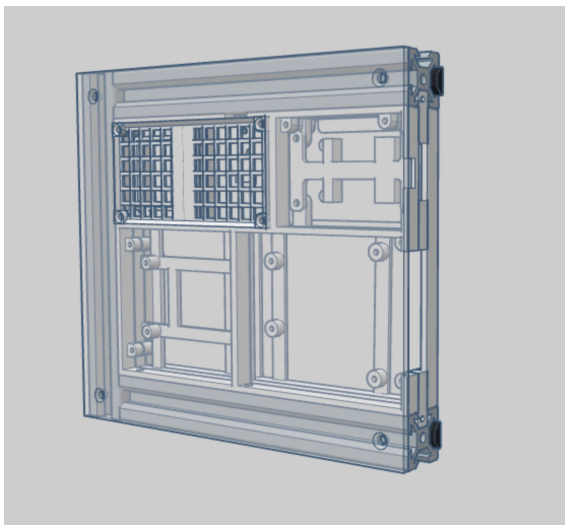
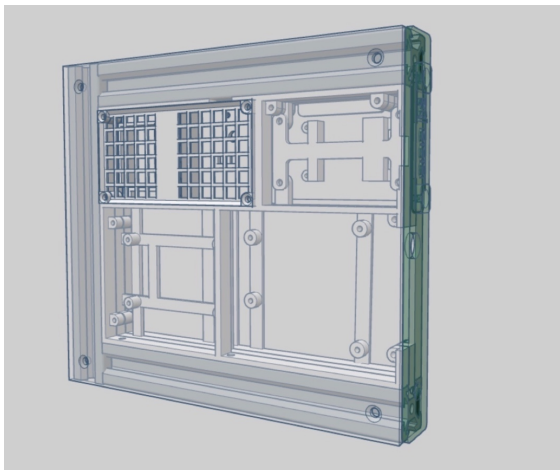


Fig. 20 i 21. Demostració de la funcionalitat de la tercera tapa.



4.4 Programari (software)

El software es divideix en dues parts i varies subparts. Les dues parts principals són: 1) el codi que controla els components físics, és a dir, l'Arduino; i 2) el codi que constitueix el servidor on es guarden i s'analitzen les dades.

El nostre servidor consta de dues webs i una base de dades. Una de les webs està destinada a la visualització de les dades i l'altre està pensada per rebre les dades del mòdul i guardar-les a la base de dades.

Quan el mòdul accedeix a la web com a client, immediatament s'executa el codi guardat al fitxer `index.php`. El codi està dissenyat per guardar la informació provinent del mòdul en variables juntament amb la data i l'hora en què s'ha fet la transmissió. Les variables s'insereixen en una nova filera a la base de dades. A continuació envia la data i l'hora al mòdul com a resposta.

Just després de comunicar-se amb la base de dades, el mòdul analitza l'hora rebuda i, en cas que estigui fora de l'horari d'activitat establert, s'apaga automàticament. Si l'hora indica que s'ha de seguir enregistrant dades, el mòdul es desconnecta temporalment i passat un cert interval de temps (1 minut) torna a accedir al servidor per guardar noves dades.

La segona web està destinada a qualsevol que vulgui visualitzar les dades recollides i de moment (és actualitzable) consta de dues opcions de visualització, en taula o en gràfica. La visualització a través d'una taula és la més senzilla, ja que la base de dades és en si una taula i només cal copiar-ne els valors. Per millorar l'experiència d'usuari la web consta d'un sistema de filtres que permet escollir les dates, els llocs i els valors de CO_2 que es volen visualitzar.

La visualització gràfica és més complexa, ja que requereix traduir les dades a gràfics. Per fer-ho, la web utilitza la biblioteca de JavaScript `Chart.js` per representar les dades. L'apartat gràfic consta també de filtres i d'unes caselles per seleccionar les variables a visualitzar. Si se selecciona més d'una variable, les gràfiques es solapen facilitant la comparació de resultats.

La web està desenvolupada amb quatre llenguatges de programació complementaris:

HTML: Llenguatge pensat per construir els elements d'una web.

PHP: Llenguatge de programació intuïtiu que aporta lògica a la plana web i està molt ben integrat amb l'html.

JavaScript: Llenguatge amb una funció semblant al php, que requereix més codi a canvi d'aportar més flexibilitat.

SQL: Llenguatge de programació especialitzat per a la creació, edició i lectura de bases de dades.

El codi del hardware està escrit en una versió adaptada a l'Arduino de C++. Dins del maquinari (*hardware*) hi ha dos microcontroladors i per tant cada un d'ells ha de ser programat. L'Arduino, que és el cervell del mòdul, s'encarrega de rebre i processar la informació dels sensors, i enviar-la al monitor per la seva visualització. També, en intervals d'un minut, envia la mitjana aritmètica de la informació recollida al mòdul Wi-fi. Per poder exercir totes aquestes funcions s'utilitzen varies biblioteques, ja que els protocols de comunicació entre components són diversos i en alguns casos complexos.

El codi que s'executa en el mòdul Wi-fi rep la informació de l'Arduino en una *string* (cadena de lletres) i l'envia al servidor via POST. Quan no s'aconsegueix establir comunicació amb el servidor, les dades es desen a la targeta SD juntament amb l'últim valor d'hora i data rebut des del servidor.

Com hem explicat anteriorment, el mòdul s'apaga automàticament quan rep l'hora des del servidor. Per fer-ho possible és necessària la comunicació entre el controlador Wi-fi i el

microcontrolador principal. Els dos controladors mantenen una comunicació serial constant que els permet tant enviar com rebre dades dels sensors, així com enviar el senyal d'apagada. Aquest senyal l'envia el controlador Wi-fi i fa que el controlador principal talli l'alimentació de tots els components a través d'un transistor; tot seguit es posa en espera fins a la fi de l'interval determinat (en el nostre cas fins a les 8 h, quan comença l'activitat a les aules). Aquesta última característica està programada però per un motiu desconegut de moment no em aconseguit que funcioni.

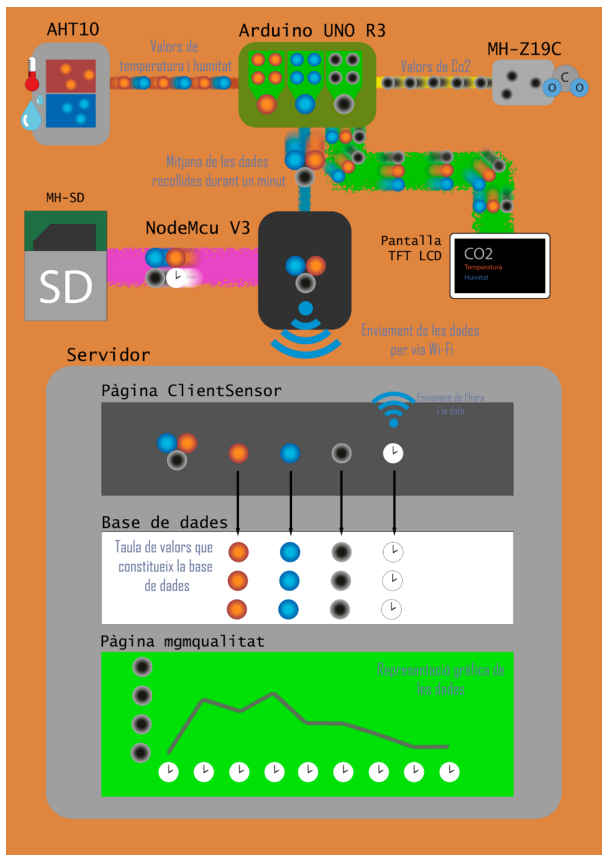


Fig. 22. Visualització del funcionament del codi

4.5 Desenvolupament

Com en qualsevol projecte, l'elaboració del mòdul no va ser directe i estructurada, sinó que vam començar amb idees molt generals i hem progressat lentament fins a aconseguir la iteració actual del mòdul.

Primers esbossos

El primer esbós va consistir a pensar les característiques principals del mòdul com per exemple quines dades podria recollir. Aquest primer disseny ja incloïa la idea del calaix i l'organització plana dels components. El dia que se'ns va acudir la idea vam formar una visualització de la col·locació de les peces amb altres objectes de mida similar (Fig. 25).

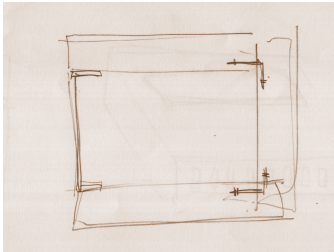


Fig. 23. Primer dibuix de la C.

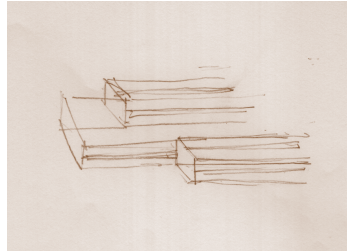


Fig. 24. Primer dibuix del calaix.

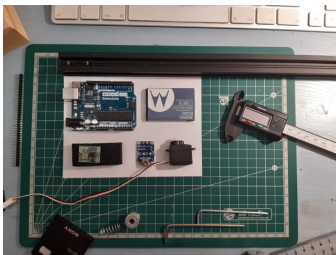


Fig. 25.

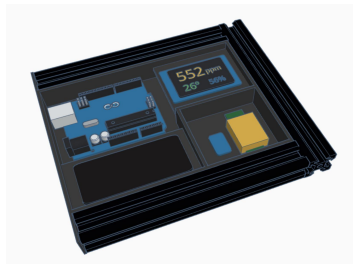


Fig. 26. Primera digitització de l'idea.

Prototip

Per construir el primer prototip vam fer una recerca per escollir els components i els materials òptims pel nostre projecte. Un cop vam tenir la llista de material per adquirir vam fer una primera comanda.

Mentre esperàvem els components vam començar a elaborar el disseny per la impressió 3D, un procés llarg de prova i error que consisteix a imprimir petites mostres per ajustar les toleràncies i els paràmetres per millorar el temps i qualitat d'impressió en l'aplicació física de les idees conceptuals del disseny.

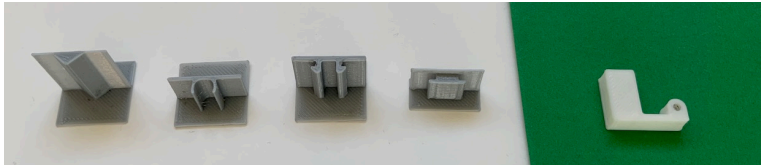


Fig. 27. Diferents proves per un perfil que encaixi en marc d'alumini, que ens ajuden a arribar a l'idea final dels tres nivells.

La concepció original del calaix era una peça completa que s'agafava al marc amb un perfil complex (Fig. 27.), però la primera prova va mostrar que no era un disseny adient: la forma era massa complexa per mantenir les toleràncies correctes i a sobre el temps d'impressió era de més de 12 h.

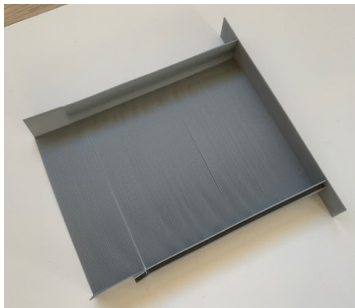
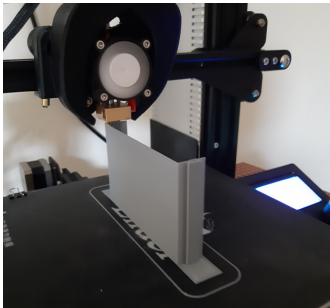


Fig. 28. i 29. Mostren que el calaix d'una sola peça no és viable ja que una peça tan fina i alta no pot mantenir bones toleràncies, sobretot en les ultimes capes.

És llavors que, descartant idees anteriors, vam tenir la idea dels 3 nivells del xassís o calaix. Vam continuar el procés d'imprimir petites mostres per assegurar la col·locació correcta dels components, basant-nos en aquestes mides per formar les estructures bàsiques. Després de varies iteracions vam acabar el disseny del prototip. La següent tasca fou muntar-lo, apuntant tots els aspectes a millorar per la versió segona.



Fig. 30. Procés complet del disseny del primer nivell, començant amb la prova de muntura del arduino i acabant amb la versió definitiva.

Un cop vam rebre els components, vam repartir-nos la feina d'aprendre aïlladament el seu funcionament. Pels sensors vam haver d'investigar els protocols de comunicació que utilitzen per enviar informació a l'Arduino, així com quines connexions físiques requereixen per fer-ho. També vam aprendre a programar l'Arduino perquè interpretés la informació entrant dels sensors de temperatura i humitat, amb l'ajut de biblioteques. Pel que fa a la pantalla TFT, vam haver d'aprendre a programar el contingut gràfic que volíem que s'hi mostrés, també amb l'ajut de biblioteques. La programació de la targeta de connexió sense fils i del lector de targetes SD es va deixar per més endavant, ja que no eren els elements més importants del dispositiu.

```

Sensors_code Arduino 1.8.16 (Windows Store 1.8.510)
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

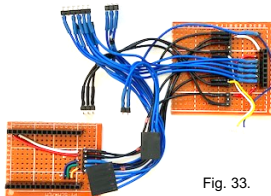
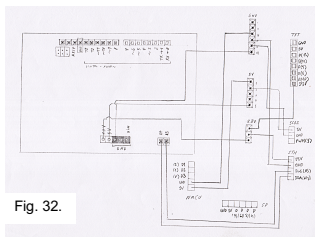
Sensors_code

void loop() {
    //char string[10];
    //dtostrf(Variable1, 3, 0, string);

    Serial.print("Temperature value: ");
    Serial.println(AHT10Sensor(0)); //l'argument de la funció es correspon a el valor que
    tempValue = (AHT10Sensor(0));
    Serial.print("Humidity value: ");
    Serial.println(AHT10Sensor(1));
    humiValue = (AHT10Sensor(1));
    Serial.print("CO2 value: ");
    //Serial.println(NB2Sensor(pwm_PIN)); // l'argument és el pin on connectes el PWM si a
    double pwm_value = pulseIn(pwm_PIN,HIGH);
  
```

Fig. 31. Una mostra del codi en la IDE d'Arduino. El text darrere el símbol // és un comentari per ajudar la comprensió del codi i és ignorat per la màquina.

Un cop escrit i comprovat el codi, vam fabricar l'arnès de cables. Vam dibuixar a mà l'**esquemàtica*** preliminar a seguir, a partir de les connexions que havíem fet per provar els components (Fig. 32.). En aquesta fase del disseny encara no havíem concretat com seria la seva forma final, i la primera iteració fou improvisada i molt rudimentària (Fig. 33.). Els cables no són rígids, i la seva flexibilitat fa que sigui més difícil emmotllar-los a l'arnès i soldar-los, perquè s'han de soldar connectors rígids a les puntes; a més, el volum de cables sense organitzar fa que el disseny sigui confús.



Finalment vam poder assemblar el prototip complet, tallant a mà la tapa de metacrilat. La tapa que completa la C encara no existia, tampoc té font d'alimentació dedicada i els cargols són de punta estrella. Sense gaire ajustament ens va començar a donar dades, tot i que no calibrades. Així va ser com va sorgir el primer prototip, funcional però amb moltes mancances tant de característiques com d'estabilitat.

El prototip era capaç de:

- + **Mesurar** la concentració de CO₂, la humitat i la temperatura de l'aula.
- + **Presentar** les dades en temps real a través d'una pantalla.

Però no era capaç encara de:

- **Enregistrar** les dades en un interval de temps donat i emmagatzemar-les en una memòria interna.
- **Transferir** les dades mitjançant una targeta Micro SD o mitjançant un mòdul Wi-Fi.

Malgrat les mancances, aquest primer prototip va ser molt útil. En primer lloc, ens va ajudar a detectar aspectes que no havíem tingut en compte:

- **Contaminació tèrmica.** L'aparell s'escalfava i distorsionava les dades del sensor de temperatura.
- **Connexió automàtica.** L'aparell no es connectava i desconnectava automàticament.
- **Anàlisi de les dades.** No teníem eines per analitzar les dades.
- **Fiabilitat dels sensors.** No podíem comprovar la fiabilitat dels sensors en condicions reals d'ús.

En segon lloc, ens va ajudar a aconseguir suport institucional per al projecte. Vam parlar amb l'equip directiu de l'Institut per mirar de finançar la construcció de diversos aparells. Per fer la sol·licitud vam preparar un informe que explicava el projecte i detallava les característiques de l'aparell i el cost dels diferents components. L'informe està inclòs com a Annex 1 i permet veure com els objectius del TDR han anat canviant a mida que avançava el projecte. La sol·licitud fou aprovada i vam fer la comanda dels components i els materials per a construir 10 mòduls.

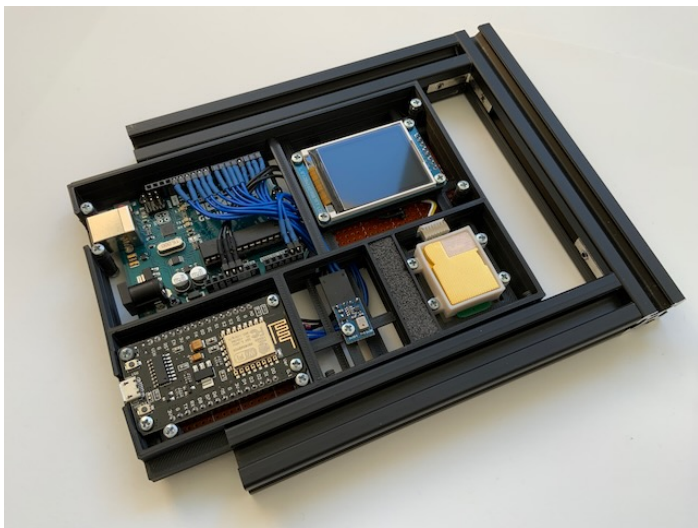


Fig. 34. El prototip assemblet sense la tapa de metacrilat instal·lada.

Desenvolupament del mòdul

Durant les vacances d'estiu, mentre esperàvem la comanda de material, vam treballar per solucionar totes les mancances del primer prototip.

En primer lloc havíem de completar el codi per utilitzar la funcionalitat d'enregistrament de dades, tant per el mòdul de Wi-Fi com per la targeta SD, en la IDE d'Arduino. Aquest va ser un procés ple de dificultats ja que els components no es poden utilitzar directament, cal descarregar *drivers* i biblioteques només per començar a aprendre i programar les seves funcions. Les proves del sistema van revelar que la connexió sense fils és fiable i per tant vam reduir les responsabilitats de la targeta SD a només enregistrar dades si la connexió a internet ha fallat.

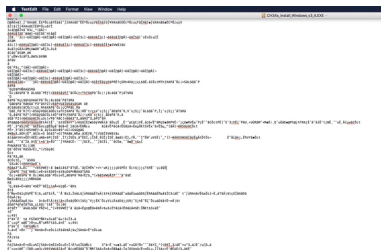


Fig. 35. Continuat del driver CH340G.

Per una altra banda vari desenvolupar el servidor web que rep i emmagatzerna les dades del sensor. Per programar-lo vam haver d'aprendre variis nous conceptes, com per exemple què és un **servidor*** i com es comunica amb els clients. Un cop clarificats els conceptes, vam haver d'aprendre a utilitzar les eines, és a dir, programar amb HTML, PHP, CSS, SQL i JavaScript. Aquests llenguatges permeten establir una interfície gràfica i una lògica a les pàgines web; i en el nostre cas ens van permetre establir la comunicació amb el mòdul. En concret l'SQL és el llenguatge que s'usa per configurar i comunicar-se amb bases de dades i per tant l'emprem per guardar les variables que venen del mòdul al servidor.

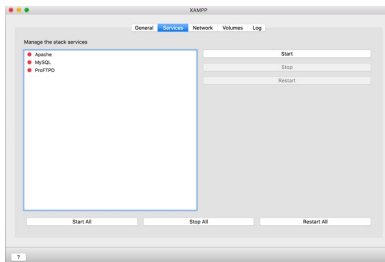


Fig. 36. Captura de pantalla del programa XAMPP.

Simultàniament vam començar a redissenyar tots els aspectes necessaris del prototip, alhora que imprimíem les peces ja finalitzades amb la màquina Ender 3 de Creality3D, una impressora de gama baixa però molt capaç. En total, les peces per a un mòdul triguen aproximadament 12 hores a imprimir-se. Cal dir que cada peça i filament requereix uns paràmetres diferents, que s'ajusten amb un software anomenat el llescador (*slicer*), en el nostre cas Ultimaker Cura. Errors en la configuració dels paràmetres com la velocitat d'impressió i temperatura, produeixen defectes que fan inservible la peça, perdent temps i material.

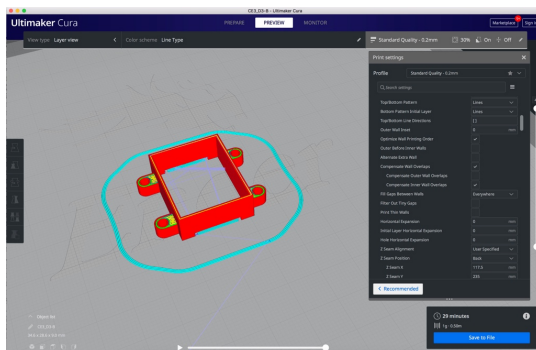


Fig. 37. Captura de pantalla del programa Ultimaker Cura.

El redisseny inclou canvis estètics i estructurals mínims, però les modificacions importants són la inclusió de la reixa impresa que tapa els sensors i bloqueja el moviment del calaix, així com la tapa que completa la C i altres que detallem més endavant.

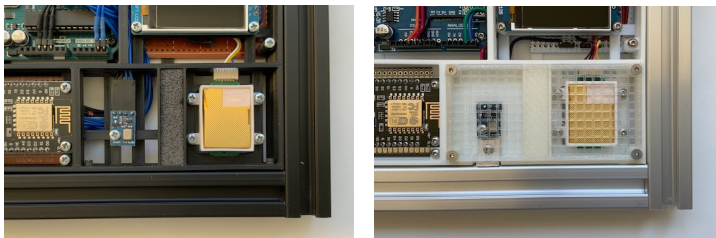


Fig. 38. i 39. Comparació costat a costat on es veuen clarament els canvis de disseny més significants. El prototip és a l'esquerra, el mòdul final a la dreta.

Tapa de metacrilat

Per a la manufactura de les tapes de metacrilat, vam decidir contactar amb l'OpenLabs de la UAB. El metacrilat no és un material que es pugui tallar fàcilment amb eines no especialitzades. Als OpenLabs, a part de tot un arsenal d'impressores 3D, hi ha una talladora làser, òptima per treballar amb aquest tipus de planxa. Les eines estan a disposició del públic usuari. Només cal concretar una visita i explicar el projecte; el personal de l'OpenLabs mostra el funcionament de les eines i explica les normes de seguretat. Després, nosaltres mateixos vam poder manipular-les. Vam haver de fer varies proves per trobar la intensitat i la velocitat de tall adients. Un cop ajustada la màquina, vam poder carregar el disseny a l'ordinador que controlava la talladora i vam tallar les tapes d'una en una, sense deixar de supervisar el procés.



Fig. 40. [redacted] operant la màquina manualment per efectuar les proves per trobar els paràmetres de tall.

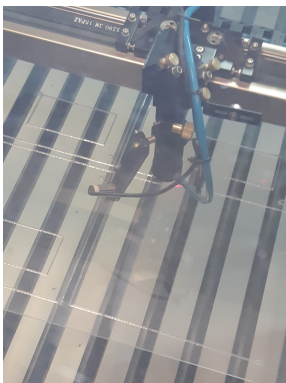


Fig. 41. Es pot observar la sortida del làser tallant una tapa. El procés genera fums molt tòxics que s'han de ventilar amb equipament especialitzat.

Transistor

Abans de començar a fabricar els arnesos, vam elaborar l'esquemàtica del circuit complet en una aplicació anomenada Fritzing. En aquest moment vam afegir l'última característica clau: un transistor. Aquest component permet apagar els components automàticament a l'hora programada.

Arnès

El pas més complicat de la realització del disseny va ser l'arnès, que havia de ser emmotllat i soldat a mà. Els cables són de nucli sòlid, i per tant retenen la seva forma com un filferro. Doblegant els cables manualment podíem ordenar-los exactament igual en cada mòdul, i aquest va ser un volum de feina important que comença pel disseny d'un primer arnès, que després es pot replicar. És més fàcil emmotllar i replicar els cables a mà que basar-se en un model CAD, i per tant tot el procés de l'arnès és manual.

Hi ha formes simples que es dobleguen en un moment, però la majoria són formes molt complexes que triguen varis minuts. A més, s'han de pelar les puntes i en alguns casos afegir connectors. Després s'han de tallar les capçaleres de pins per les plaques i es pot començar a soldar. Formar els 29 cables d'un sol mòdul requereix una hora i mitja de treball manual i molta concentració.

Amb els cables, les plaques i els components preparats vam començar la soldadura tova, un procés on s'utilitza la punta calenta del soldador per fondre estany en la connexió que es vol unir permanentment. Ens vam basar en l'esquemàtica per soldar cada cable un per un. En unes dues hores es pot acabar de soldar un arnès complet. Així doncs el un arnès es pot completar en una mica més de tres hores.

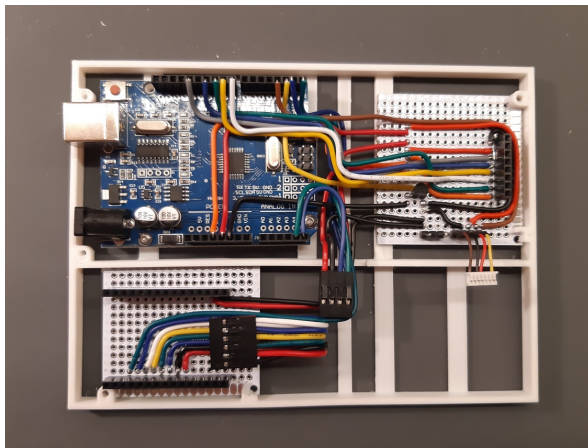


Fig. 42. L'arnès instal·lat en les seves montures.

Font d'alimentació

La placa d'Arduino funciona amb 5V i té un regulador de tensió amb una sortida de 3,3V per altres components. Addicionalment, l'entrada de voltatge de l'Arduino UNO original accepta de 7 a 12V. En demanar els components, vam assumir que la versió xinesa de l'Arduino funcionaria amb els mateixos paràmetres, però en connectar la font d'alimentació de 12V el mòdul va començar a apagar-se i encendre's ràpidament, i vam descobrir que només acceptava un tensió d'entrada de 7 a 9V. Per no haver de comprar noves fonts d'alimentació, vam afegir un regulador de voltatge que baixaven la tensió de 12 a 7,5V, i vam dissenyar un petit contenidor per connectar-lo en sèrie al cable de la font. A més, vam aprofitar per afegir 2 metres de cable a la font, per tenir més marge a l'hora d'instal·lar el mòdul.

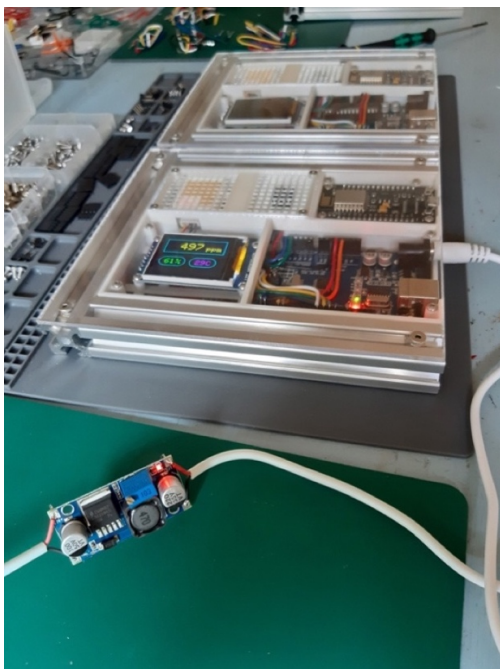


Fig. 43. Es pot veure el regulador de tensió i el mòdul funcionant. Més endavant afegim un contenidor per protegir-lo.

Contaminació tèrmica

Al muntar el primers mòduls i provar-los durant períodes estesos de temps, vam descobrir un problema greu amb el sensor de temperatura. Com que els pins que connecten el sensor i el xip del arduino són continus, la calor que produeix el xip al funcionar es transmet pel cable i escalfa la placa de sensor, inhabilitant-lo. Vam improvisar una solució, fent una connexió tèrmica entre la placa del sensor i el marc d'alumini, que hauria de funcionar com a dissipador. Això requeria fabricar un petit suport d'alumini i reimprimir la tercera capa amb una obertura, per tal que el suport fes contacte amb el marc.

Els resultat inicials eren prometedors, ja que el sensor no s'escalfava més enllà dels 25 graus, prop de la temperatura ambient. Tot i això, quan van arribar les temperatures de tardor, vam veure que el sensor es mantenia a una temperatura constant de 25/26 graus. La conclusió és que en la següent versió del mòdul caldrà redissenyar el suport i la connexió del sensor.



Fig. 44. Fabricació del suport



Fig. 45. Un suport complet

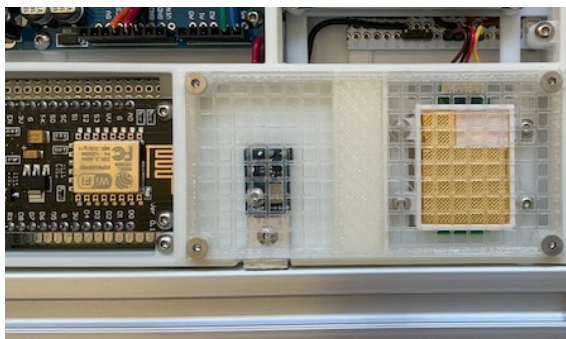


Fig. 46. El sensor de temperatura, fent contacte directe amb el marc gràcies al suport.

Ubicació del mòdul a les aules

Quan ja havíem completat vuit mòduls, vam fer una primera prova a l'institut. La idea era comprovar que la variació de la concentració de CO_2 dins l'aula no és superior al marge d'error del sensor i que, per tant, la posició del sensor no afecta la recollida de dades. Volíem comprovar, doncs, que considerar que la qualitat d'aire és homogènia a l'aula no afecta significativament les nostres conclusions.

Vam repartir 4 sensors en diferents llocs d'una aula amb les finestres tancades i vam observar que la variació en la concentració de CO_2 a mida que el nivells superaven els 500 ppm no era superior al marge d'error de $\pm(50+5\%) \text{ ppm}$. Vam decidir instal·lar el mòdul al fons de l'aula, a una altura de 2,1m, per evitar que fos massa accessible per als alumnes.



Fig. 47. Primeres proves de camp del sensor.

Instal·lació del mòdul

Un cop resolta la qüestió de la ubicació, el 24 de setembre vam anar al institut a instal·lar el primer sensor a [REDACTED]. El mòdul s'ancora a la paret en quatre punts, i després s'introdueix el marc lateralment. Les toleràncies de la col·locació del marc són menors a un mil·límetre, així que per garantir la precisió comencem amb un patró de paper per marcar la posició dels forats. El full s'enganxa a la paret amb cinta i s'assegura que la col·locació és correcta amb un nivell. Amb un martell i una punta es marca el forat, que s'acaba amb el trepant. Llavors es poden inserir els tacs, els cargols, els separadors i finalment les femelles T.

El 8 d'octubre vam repetir aquest procés en 3 aules més. A aquestes altures del curs vam decidir esgraonar la implementació del sensor per poder resoldre els problemes que sorgirien i concentrar-nos en la redacció del treball. Teníem 8 mòduls completament muntats i 2 mig acabats, però vam decidir que realitzarem l'estudi amb 4 mòduls, per poder analitzar totes les dades.

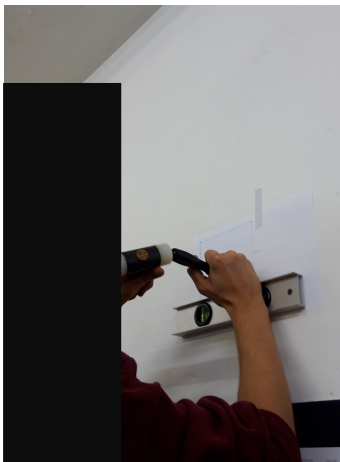


Fig. 48. Es pot observar el procés de començar el forat a partir del patró imprès.

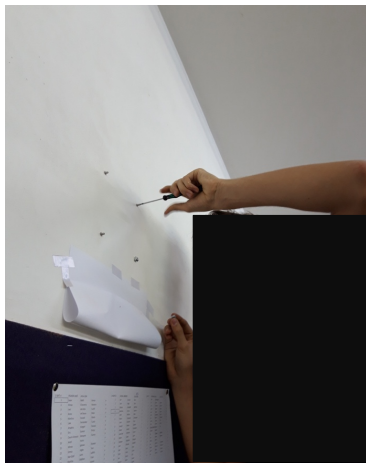


Fig. 49. [REDACTED] instal·lant els punts d'ancatge pel marc d'alumini.

Servidor

L'últim pas va ser establir el servidor, l'ordinador físic que funciona sense interrupció per rebre i emmagatzemar les dades del sensor. Vam utilitzar un ordinador excident d'inventari de l'institut, equipat amb Wi-Fi. Vam instal·lar tots els programes necessaris i després d'un breu període de *debugging* ja funcionava gràcies al programari prèviament desenvolupat.

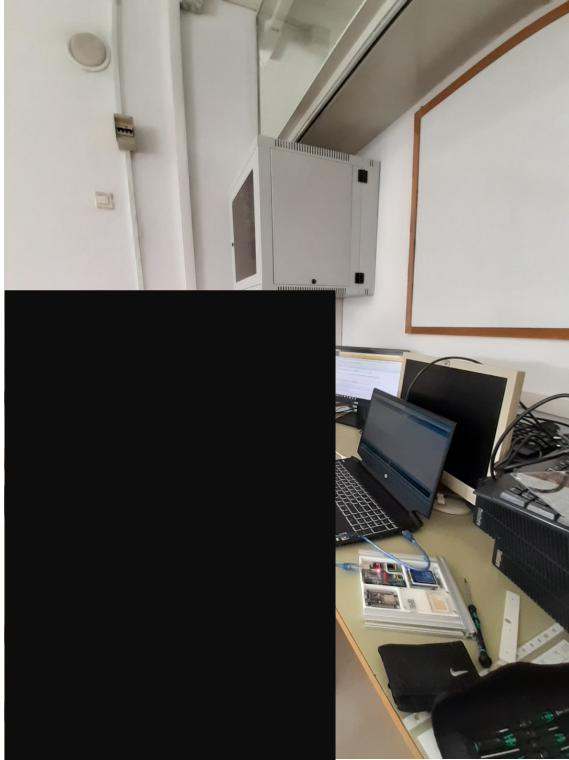


Fig. 50. [REDACTED] comprovant el funcionament del servidor. L'ordinador físic que el conté es veu just en el centre de l'imatge, en el fons.

Pics

L'ús continuat del sensor va revelar un altre defecte de disseny: després d'unes hores de funcionament, el sensor comença a registrar dades sense sentit lògic i mostrar pics en els nivells de CO₂ que clarament no es corresponen amb la situació a l'aula. Encara no ho hem confirmat, però sospitem que el problema té a veure amb l'escalfament del regulador de voltatge de l'Arduino o bé la saturació de la memòria temporal.

Pàgina de consulta de dades

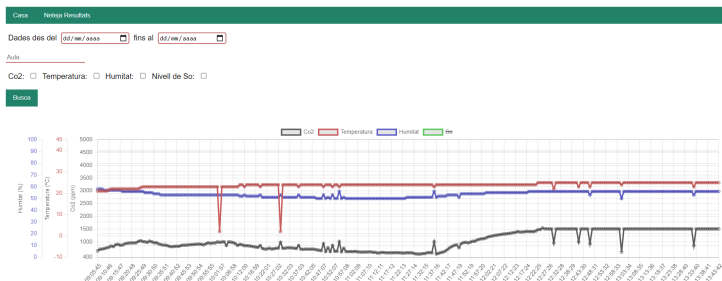


Fig. 51.

El mòdul final és capaç de:

- + **Mesurar** la concentració de CO₂, la humitat i la temperatura de l'aula.
- + **Presentar** les dades en temps real a través d'una pantalla.
- + **Enregistrar** les dades en un interval de temps donat i emmagatzemar-les en una memòria interna.
- + **Transferir** les dades mitjançant una targeta Micro SD o mitjançant un mòdul Wi-Fi.
- + **Desconnectar-se automàticament.** L'aparell es desconnecta automàticament.

El mòdul és de construcció simple i robusta i, a més, disposem d'una pàgina web que ens permet analitzar les dades.

Segueix tenint, però, algunes mancances:

- **Contaminació tèrmica.** L'aparell s'escalfa i distorsiona les dades del sensor de temperatura.
- **Connexió automàtica.** L'aparell no es connecta automàticament.
- **Fiabilitat dels sensors.** No hem resolt la causa dels pics de concentració que no es corresponen amb els valors reals.

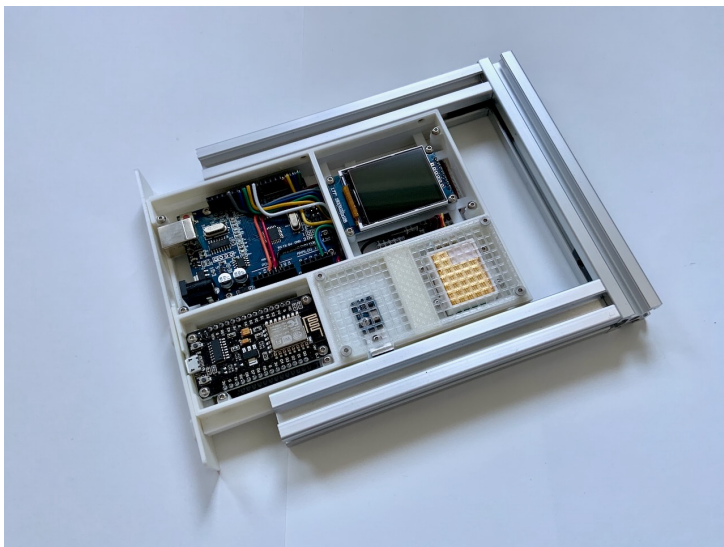


Fig. 52. El mòdul final assemblet sense la tapa de metacrilat

5. Marc teòric

5.1 Efectes del nivell de CO₂ a la capacitat cognitiva

Hi ha molts estudis sobre la relació entre les capacitats cognitives i la qualitat de l'aire dels edificis. Un dels elements que més hi influeix és la concentració de CO₂.

Un dels estudis que més té a veure amb el nostre treball és el d'ALLEN et al. (2016). Els autors van reclutar 24 persones de diferents edats, sexes i ètnies. Aquests voluntaris van ser exposats a tres nivells diferents de concentració de diòxid de carboni. El nivell més baix pròxim a l'exterior (565-609 ppm) el van anomenar Green+, el segon nivell que és el que representa un espai correctament ventilat amb una concentració d'entre 726-761 ppm va ser anomenat Green i per últim es va simular també un espai d'oficina convencional a entre 921-969 ppm de CO₂. Les concentracions de CO₂ van ser acompanyades d'altres variables que també estan presents en aquests espais com la temperatura, la humitat i altres gasos.

Els participants de l'estudi van passar tests de capacitat cognitiva equivalents entre participants i entre situacions que van indicar la capacitat cognitiva en cada situació. La capacitat cognitiva general es va mesurar amb 9 variables. Els resultats indiquen clarament que algunes funcions cognitives, especialment "Resposta a la crisi", "Ús de la informació" i "Estratègia" milloren molt en un edifici amb nivells de CO₂ pròxims als de l'exterior. En promig, les funcions cognitives milloren en un 61% en un edifici ben ventilat (Green) i en un 101% en un edifici amb una qualitat de l'aire similar a la de l'exterior (Green+).

Condition	Cognitive domain: estimate, [95% confidence interval], (p-value)								
	Basic Activity Level	Applied Activity Level	Focused Activity Level	Task Orientation	Crisis Response	Information Seeking	Information Usage	Breadth of Approach	Strategy
Day 1	1.35	1.39	1.44	1.14	2.35	1.10	3.94	1.43	3.77
Green+	[1.28, 1.43]	[1.26, 1.52]	[1.27, 1.62]	[1.11, 1.17]	[1.91, 2.78]	[1.07, 1.14]	[3.47, 4.41]	[1.25, 1.60]	[3.40, 4.14]
	(< 0.0001)	(< 0.0001)	(< 0.0001)	(< 0.0001)	(< 0.0001)	(< 0.0001)	(< 0.0001)	(< 0.0001)	(< 0.0001)
Day 2	1.20	1.08	1.68	1.05	2.05	1.11	2.61	1.29	3.17
Moderate CO ₂	[1.13, 1.27]	[0.95, 1.21]	[1.51, 1.85]	[1.02, 1.08]	[1.63, 2.48]	[1.08, 1.15]	[2.15, 3.07]	[1.12, 1.46]	[2.81, 3.53]
	(< 0.0001)	(0.23)	(< 0.0001)	(< 0.0001)	(0.0009)	(< 0.0001)	(0.0013)	(< 0.0001)	(0.0001)
Day 3	0.91	0.88	0.85	1.00	1.33	1.08	1.01	0.98	0.83
High CO ₂	[0.84, 0.98]	[0.75, 1.01]	[0.68, 1.02]	[0.97, 1.03]	[0.90, 1.75]	[1.05, 1.12]	[0.55, 1.48]	[0.81, 1.15]	[0.47, 1.19]
	(0.015)	(0.081)	(0.087)	(0.76)	(0.14)	(< 0.0001)	(0.95)	(0.78)	(0.36)
Day 4	1.14	1.04	1.51	1.03	1.97	1.09	2.72	1.21	2.83
Green	[1.06, 1.21]	[0.91, 1.18]	[1.34, 1.68]	[1.00, 1.06]	[1.54, 2.40]	[1.05, 1.12]	[2.26, 3.19]	[1.04, 1.38]	[2.46, 3.19]
	(0.0003)	(0.51)	(< 0.0001)	(0.065)	(< 0.0001)	(< 0.0001)	(< 0.0001)	(0.018)	(< 0.0001)
Day 5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Conventional (Reference)									
Day 6	1.37	1.33	1.52	1.15	2.27	1.11	4.04	1.50	3.98
Green+	[1.30, 1.44]	[1.20, 1.46]	[1.35, 1.69]	[1.12, 1.19]	[1.85, 2.69]	[1.08, 1.15]	[3.58, 4.51]	[1.33, 1.67]	[3.62, 4.34]
	(< 0.0001)	(< 0.0001)	(< 0.0001)	(< 0.0001)	(< 0.0001)	(< 0.0001)	(< 0.0001)	(< 0.0001)	(< 0.0001)
R ²	0.34	0.17	0.53	0.03	0.28	0.06	0.69	0.27	0.79

Fig. 53. Resultats del test de capacitat cognitiva en les diverses condicions.

La disminució de capacitat cognitiva amb l'augment de concentració de diòxid de carboni es deu a la disminució proporcional d'oxigen en sang i per tant d'oxigen al cervell. Aquesta disminució a més a més de reduir la capacitat cognitiva també produeix una sensació de cansament i son.

Un dels autors del primer estudi ha participat també en l'edició d'un guia de la T H Chan School of Public Health de Harvard sobre els efectes de l'edificació de les escoles sobre el rendiment dels alumnes (EITLAND et al., sense data). Aquesta guia, disponible online, inclou recomanacions molt útils per al nostre treball.

Una altra publicació rellevant és la *Guía para ventilación de las aulas CSIC* (MINGUILLÓN, 2020), una publicació oberta, en format presentació PowerPoint, amb continguts rellevants per al treball (aparells de mesura de CO₂, paràmetres i càlculs de ventilació...)

5.2 Reglament sobre la qualitat de l'aire interior

El Ministerio de Industria publica al Boletín Oficial del Estado el reglament que especifica les condicions de les instal·lacions tèrmiques i de ventilació dels edificis. El *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios* (RITE) És la norma actualment vigent sobre la qualitat interior de l'aire. És un Decret (RD 1027/2007) que actualitza un Reglament anterior (RD 1751/1998) per incorporar-hi una directiva europea (Directiva 2002/91/CE) i el Código Técnico de la Edificación (RD 314/2006).

El RITE regula l'eficiència, la seguretat i molts més aspectes a tenir en compte a l'hora de construir un edifici. L'element que ens concerneix és aquell apartat relacionat amb l'aire i les concentracions de CO₂. L'Article 11 parla de la qualitat de l'aire interior i fa referència a "l'aire viciat":

Article 11.2. Calidad del aire interior: las instalaciones térmicas permitirán mantener una calidad del aire interior aceptable, en los locales ocupados por las personas, eliminando los contaminantes que se produzcan de forma habitual durante el uso normal de los mismos, aportando un caudal suficiente de aire exterior y garantizando la extracción y expulsión del aire viciado.

A la Part II del Reglament es donen una sèrie d'Instruccions Tècniques (IT) i es defineix "aire viciat" a partir de la concentració de CO₂. El punt 4 de la Instrucció Tècnica 1, sobre el disseny i les dimensions dels sistemes, caracteritza i quantifica les exigències de benestar i higiene. El punt 4.2 tracta sobre l'exigència de qualitat de l'aire interior. El punt 4.2.2 defineix les categories de **qualitat de l'aire interior (IDA)** en funció de l'ús dels edificis:

IT 1.1.4.2.2. Categories de qualitat de l'aire interior en funció de l'ús dels edificis

IDA 1 (aire d'òptima qualitat): hospitals, clíniques, laboratoris i llars d'infants.

IDA 2 (aire de bona qualitat): oficines, residències (locals comuns d'hotels i similars, residències de gent gran i d'estudiants), sales de lectura, museus, sales de tribunals, aules d'ensenyament i assimilables i piscines.

IDA 3 (aire de qualitat mitjana): edificis comercials, cinemes, teatres, sales d'actes, habitacions d'hotels i similars, restaurants, cafeteries, bars, sales de festes, gimnasos, locals per a l'esport (llevat de piscines) i sales d'ordinadors

IDA 4 (aire de qualitat baixa)

Veiem que les aules d'ensenyament requereixen aire de bona qualitat (IDA 2). Com s'assoleix aquesta categoria?

El punt 4.2.3 tracta sobre el cabal mínim de l'aire exterior de ventilació necessari per assolir les diferents categories de qualitat de l'aire interior, i dona cinc mètodes diferents per a fer-ho: A) Mètode indirecte de cabal d'aire exterior per persona; B) Mètode directe per qualitat per qualitat de l'aire percebut; C) Mètode directe per concentració de CO₂; D) Mètode indirecte per cabal d'aire per unitat de superfície; i E) Mètode de dilució.

Veiem que un dels mètodes directes es basa en la concentració de CO_2 . El Reglament inclou una taula amb la correspondència entre qualitat de l'aire i concentració de CO_2 , expressada en parts per milió (ppm) en volum per sobre de la concentració de l'aire exterior:

Taula 1.4.2.3 Concentració de CO_2 als locals

IDA 1 (aire d'òptima qualitat): 350 ppm

IDA 2 (aire de bona qualitat): 500 ppm

IDA 3 (aire de qualitat mitjana): 800 ppm

IDA 4 (aire de qualitat baixa): 1200 ppm

Aquest ha estat el nostre referent a l'hora de valorar la qualitat de l'aire a les aules de l'institut.

5.3 Experiències similars

Mentre fem el treball hem vist que sorgien iniciatives similars, el que mostra l'oportunitat i la necessitat d'aquest estudi.

El diari *DNA. Dernières Nouvelles d'Alsace* publicava el setembre de 2021 la notícia que tots els instituts públics d'Alsàcia instal·laran sensors de CO_2 . Segons la notícia (CLERC i CHENCINER, 2021):

Pour Frédéric Berry notamment, président de la Collectivité européenne d'Alsace (CEA) en charge des collèges, « garantir un air suffisamment renouvelé dans les salles de classe pour éviter les contaminations est une priorité ». La CEA a ainsi fait l'acquisition de 160 capteurs à dioxyde de carbone mobile pour tous les collèges publics alsaciens a fin « de déterminer la fréquence d'aération nécessaire dans un local ou de contrôler le bon fonctionnement de la ventilation mécanique ».

Quan el treball estava gairebé acabat, la Universitat Politècnica de Catalunya ha difós el projecte IAQ4EDU "Estratègies de ventilació optimitzades", amb l'objectiu de "monitoritzar la qualitat de l'aire als col·legis de l'Estat espanyol i d'establir estratègies de ventilació optimitzades, que tinguin en compte aspectes com la qualitat de l'aire interior, el confort tèrmic i el consum d'energia, alhora que s'ajuda a optimitzar el consum d'energia". El projecte el durà a terme el Grup de Recerca i Innovació en la Construcció (GRIC) de la UPC, i està finançat amb 130.000 euros pel Ministeri de Ciència i Innovació. El projecte estudiarà la qualitat de l'aire a 40 aules de 20 centres de Catalunya, en col·laboració amb el Departament d'Educació de la Generalitat de Catalunya, la Diputació de Barcelona, i els ajuntaments de Terrassa i Sabadell (SALA DE PREMSA UPC, 2021).

Finalment, encara que estigui escrit per a ensenyament universitari, hi ha idees a CHANG (2007) que es podrien adaptar al Batxillerat:

I describe here an ongoing pilot project aimed at a full integration of teaching and research at the undergraduate level. Our chief innovation is the mechanism of inheritance: each year students receive a body of work produced by the previous group of students and make improvements and additions to it; this process can be repeated until publishable materials are produced. This is part of a system of learning that enables students to function as a real and evolving community of researchers.

Ens ha agradat la idea que els projectes no comencen i acaben en un curs, sinó que tenen continuïtat d'un curs per l'altre. Els treballs de cursos anteriors formen la base per al projecte del curs actual. Els alumnes formen una comunitat d'investigadors sota la direcció del professor.

6. Estudi de la qualitat de l'aire

6.1 Metodologia per realitzar l'estudi

Per estudiar la qualitat de l'aire a [REDACTED] hem partit de dues fonts: 1) els resultats que ens anaven donant els sensors de CO₂ a cada minut; i 2) la lectura manual de dades a cada canvi de classe. Amb aquest mètode hem volgut comprovar la importància de les variables proposades.

6.2 Taules de dades recollides.

Després de la instal·lació dels mòduls en les aules corresponents, vam dur a terme una revisió per anotar les variables establertes anteriorment: el nombre de portes obertes i el nombre de finestres obertes en relació amb la ventilació i el nombre de persones en relació amb la producció de CO₂.

Hem escollit aquestes 4 aules pels següents motius:

- Les aules 204, 205 i 206 són de la mateixa mida i el nombre d'alumnes és molt similar. Aquestes aules estan equipades amb dues portes i dues finestres.
- L'aula 202 és més petita però també té menys alumnes i varien constantment. Aquesta aula té una porta i dues finestres.

Aula 202 21/10/2021:

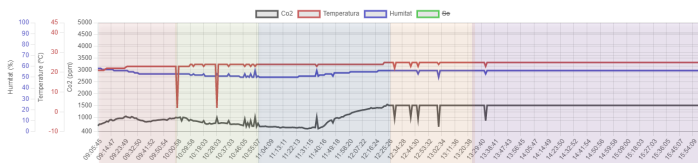
Podem observar com la inestabilitat de les dades desacredita els valors obtinguts aquest dia. Els sensors encara no estaven calibrats:

Dades des del fins al

202

Co2 ☒ Temperatura ☒ Humitat ☐ Nivell de So: ☐

Busca



Aula	Dia	Hora	Nombre de portes obertes	Nombre persones	Nombre de finestres obertes
202	21-10-2021	8:58	0/1	11	0/2
202	21-10-2021	9:58	0/1	0	0/2
202	21-10-2021	10:59	1/1	8	0/2
202	21-10-2021	12:28	0/1	0	0/2
202	21-10-2021	13:27	1/1	13	0/2

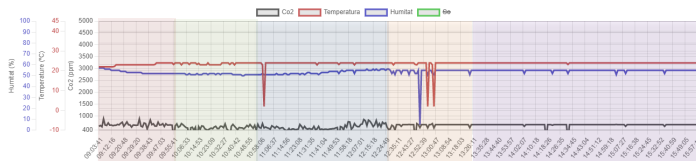
Aula 204 21-10-2021:

Dades des del fins al

Aula

Co2 ☐ Temperatura ☐ Humitat ☐ Nivell de So: ☐

Busca



Aula	Dia	Hora	Nombre de portes obertes	Nombre persones	Nombre de finestres obertes
204	21-10-2021	8:58	2/2	23	1/2
204	21-10-2021	10:00	2/2	23	1/2
204	21-10-2021	10:57	1/2	24	1/2
204	21-10-2021	12:28	1/2	23	0/2
204	21-10-2021	13:25	2/2	16	0/2

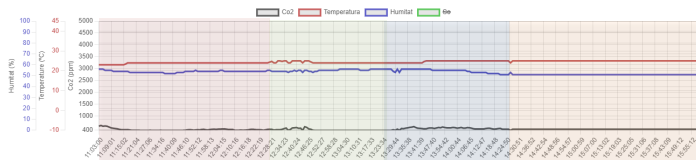
Aula 205 21-10-2021:

Dades des del fins al

Aula

Co2 ☐ Temperatura ☐ Humitat ☐ Nivell de So: ☐

Busca



Aula	Dia	Hora	Nombre de portes obertes	Nombre persones	Nombre de finestres obertes
205	21-10-2021	9:00	2/2	28	1/2
205	21-10-2021	9:58	2/2	31	1/2
205	21-10-2021	10:55	1/2	30	1/2
205	21-10-2021	12:27	2/2	28	1/2
205	21-10-2021	13:25	0/2	28	0/2
205	21-10-2021	14:25	0/2	30	1/2

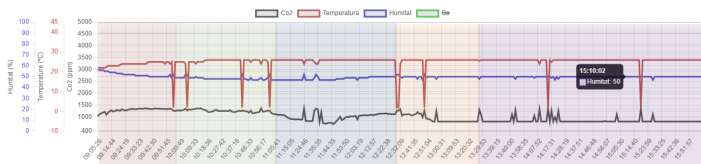
Aula 206 21-10-2021:

Dades des del fins al

Aula

Co2 ☐ Temperatura ☐ Humitat ☐ Nivell de So: ☐

Busca



Aula	Dia	Hora	Nombre de portes obertes	Nombre persones	Nombre de finestres obertes
206	21-10-2021	8:59	2/2	25	1/2
206	21-10-2021	9:58	2/2	25	0/2
206	21-10-2021	10:58	1/2	26	0/2
206	21-10-2021	12:29	2/2	22	0/2
206	21-10-2021	13:27	2/2	25	0/2

El 2 de novembre vam calibrar els sensors de nou, tot i que en teoria venien calibrats de fàbrica. Les dades van millorar, però els pics encara tenen una forta presència.

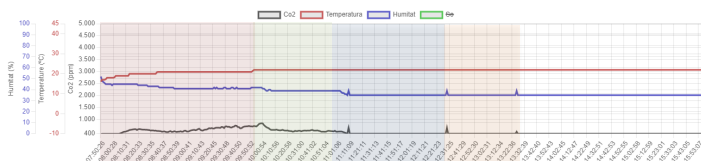
Aula 202 02-11-2021:

Dades des del fins al

Aula

Co2: ☐ Temperatura: ☐ Humitat: ☐ Nivell de So: ☐

Busca



Aula	Dia	Hora	Nombre de portes obertes	Nombre persones	Nombre de finestres obertes
202	02-11-2021	9:58	0/1	11	1/2
202	02-11-2021	10:59	0/1	8	1/2
202	02-11-2021	12:28	1/1	8	1/2
202	02-11-2021	13:30	0/1	0	1/2

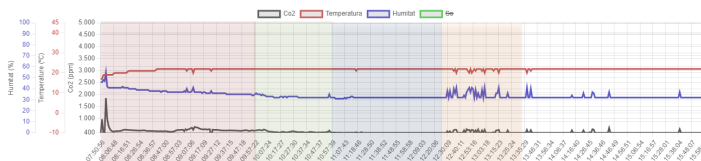
Aula 204 02-11-2021:

Dades des del fins al

Aula

Co2: ☐ Temperatura: ☐ Humitat: ☐ Nivell de So: ☐

Busca



Aula	Dia	Hora	Nombre de portes obertes	Nombre persones	Nombre de finestres obertes
204	02-11-2021	9:59	2/2	14	0/2
204	02-11-2021	10:58	2/2	11	1/2
204	02-11-2021	12:27	1/2	22	1/2

204	02-11-2021	13:30	2/2	7	1/2
-----	------------	-------	-----	---	-----

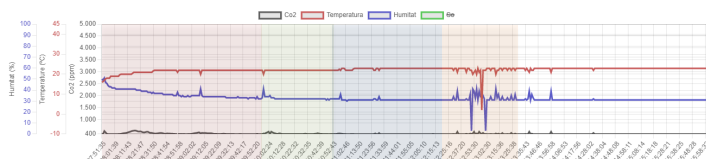
Aula 205 02-11-2021:

Dades des del fins al

Aula

Co2: ☐ Temperatura ☐ Humitat ☐ Nivell de So: ☐

Busca



Aula	Dia	Hora	Nombre de portes obertes	Nombre persones	Nombre de finestres obertes
205	02-11-2021	9:59	2/2	20	1/2
205	02-11-2021	10:57	1/2	26	1/2
205	02-11-2021	12:26	1/2	29	1/2
205	02-11-2021	13:28	2/2	23	1/2

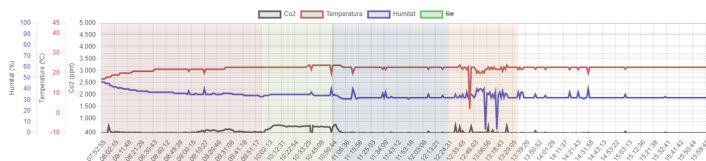
Aula 206 02-11-2021:

Dades des del fins al

Aula

Co2: ☐ Temperatura ☐ Humitat ☐ Nivell de So: ☐

Busca



Aula	Dia	Hora	Nombre de portes obertes	Nombre persones	Nombre de finestres obertes
206	02-11-2021	9:59	2/2	13	1/2
206	02-11-2021	10:57	2/2	4	0/2
206	02-11-2021	12:26	1/2	12	0/2

206	02-11-2021	13:28	1/2	22	0/2
-----	------------	-------	-----	----	-----

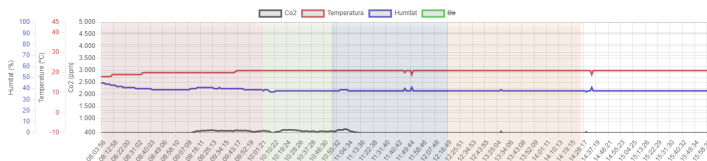
Aula 202 03-11-2021:

Dades des del fins al

Aula

Co2: ☐ Temperatura: ☐ Humitat: ☐ Nivell de So: ☐

Busca



Aula	Dia	Hora	Nombre de portes obertes	Nombre persones	Nombre de finestres obertes
202	03-11-2021	9:59	1/1	8	0/2
202	03-11-2021	10:57	0/1	11	0/2
202	03-11-2021	12:26	1/1	0	0/2
202	03-11-2021	14:26	1/1	5	1/2

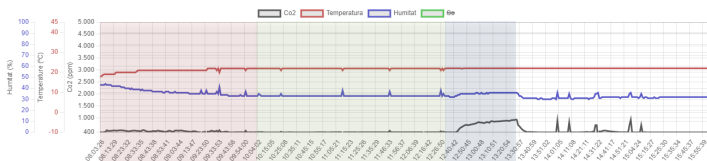
Aula 204 03-11-2021:

Dades des del fins al

Aula

Co2: ☐ Temperatura: ☐ Humitat: ☐ Nivell de So: ☐

Busca



Aula	Dia	Hora	Nombre de portes obertes	Nombre persones	Nombre de finestres obertes
204	03-11-2021	9:57	2/2	20	0/2
204	03-11-2021	12:27	2/2	12	1/2
204	03-11-2021	13:28	1/2	16	2/2

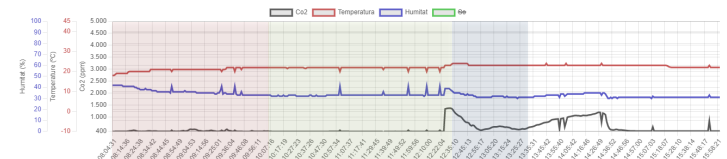
Aula 205 03-11-2021:

Dades des del fins al

Aula

Co2: ☐ Temperatura: ☐ Humitat: ☐ Nivell de So: ☐

Busca



Aula	Dia	Hora	Nombre de portes obertes	Nombre persones	Nombre de finestres obertes
205	03-11-2021	9:56	2/2	29	1/2
205	03-11-2021	12:28	1/2	16	1/2
205	03-11-2021	12:26	1/2	29	1/2

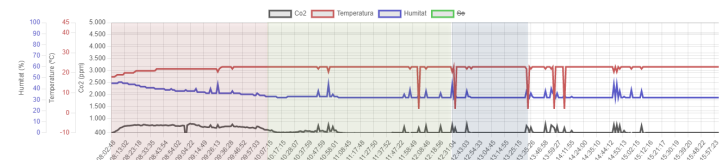
Aula 206 03-11-2021:

Dades des del fins al

Aula

Co2: ☐ Temperatura: ☐ Humitat: ☐ Nivell de So: ☐

Busca



Aula	Dia	Hora	Nombre de portes obertes	Nombre persones	Nombre de finestres obertes
206	03-11-2021	9:57	2/2	24	0/2
206	03-11-2021	12:28	2/2	19	0/2
206	03-11-2021	12:27	2/2	16	0/2

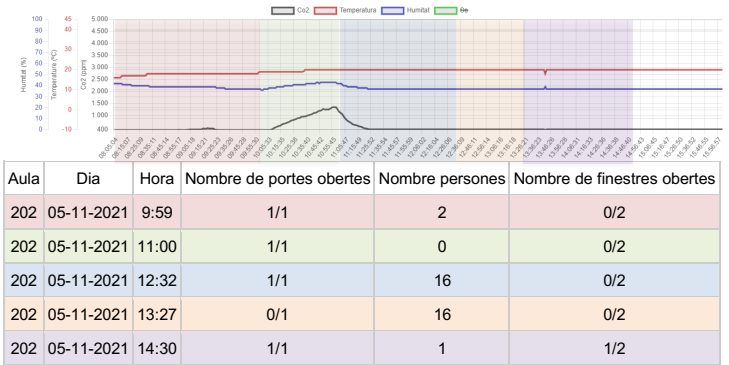
Aula 202 05-11-2021:

Dades des del fins al

Aula

Co2 ☐ Temperatura ☐ Humitat ☐ Nivell de So: ☐

Busca



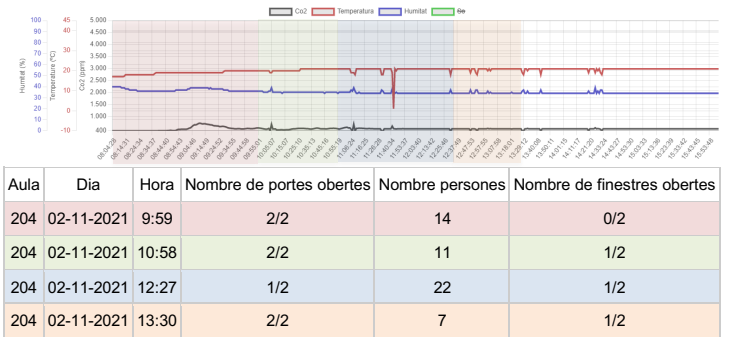
Aula 204 05-11-2021:

Dades des del fins al

Aula

Co2 ☐ Temperatura ☐ Humitat ☐ Nivell de So: ☐

Busca



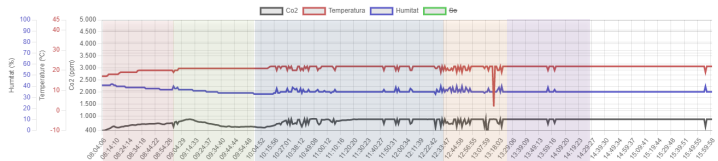
Aula 205 05-11-2021:

Dades des del fins al

Aula

Co2: ☐ Temperatura: ☐ Humitat: ☐ Nivell de So: ☐

Banca



Aula	Dia	Hora	Nombre de portes obertes	Nombre persones	Nombre de finestres obertes
205	05-11-2021	8:56	1/2	15	1/2
205	05-11-2021	9:57	2/2	27	1/2
205	05-11-2021	12:31	1/2	28	1/2
205	05-11-2021	13:25	1/2	27	1/2
205	05-11-2021	14:28	1/2	30	1/2

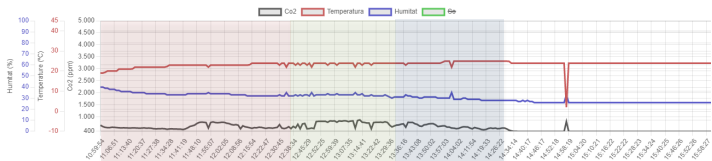
Aula 205 05-11-2021:

Dades des del fins al

Aula

Co2: ☐ Temperatura: ☐ Humitat: ☐ Nivell de So: ☐

Banca



Aula	Dia	Hora	Nombre de portes obertes	Nombre persones	Nombre de finestres obertes
206	05-11-2021	9:57	2/2	20	1/2
206	05-11-2021	10:59	1/2	10	1/2
206	05-11-2021	12:31	1/2	5	1/2
206	05-11-2021	13:25	0/2	25	1/2

206	05-11-2021	14:29	0/2	7	1/2
-----	------------	-------	-----	---	-----

Comentari sobre la inconsistència

Les dades recollides mostren inconsistències en el funcionament dels sensors. Tot i els nostres esforços per resoldre els pics i la contaminació tèrmica, no hem aconseguit obtenir uns resultats totalment fiables perquè els pics es mantenen i la temperatura no s'ateny a la realitat. Observem que la temperatura manté una relació directament proporcional amb el temps d'activitat, fins que arriba a un límit de màxim escalfament. Tot i que podríem sospitar que la pujada de temperatura és deguda a la diferencia natural entre el matí i el migdia, hem pogut comprovar que no és així, per dos motius. Per una banda, hi ha un límit a partir del qual la temperatura no puja més; per l'altra, si connectem els mòduls a mig matí l'increment de temperatura és molt similar, quan hauria de ser menor.

Pel que fa als pics en els valors de concentració de CO₂, no es poden justificar com a fets naturals perquè a l'augmentar i disminuir la concentració artificialment hem comprovat que els pics no queden aïllats, sinó que sempre van seguits d'una disminució progressiva. Pensem que el més probable és que el regulador de voltatge de l'Arduino econòmic s'escalfa fàcilment i perd fiabilitat, fins al punt de no subministrar prou corrent als components com perquè funcionin correctament. Tot i això hem fet proves alimentant els mòduls de diverses maneres i ens han mostrat pics que poden refusar la teoria.

L'hora irregular d'inici de presa de dades és deguda al fet que el codi que ha d'encendre els mòduls a la mateixa hora no funciona automàticament, per tant els hem encès manualment cada matí. El problema de l'encesa automàtica requereix una investigació més concreta, de moment sembla que hi ha algun problema amb el tipus de variable que defineix el temps d'espera o que hi ha una ordre d'apagada que s'encadena amb l'encesa del dispositiu.

Per acabar-ho de rematar, al cap d'unes hores de funcionament el sensor para de mostrar valors diferents. Sospitem que és degut a la saturació de la memòria temporal del Arduino.

Canvis en el caràcter de l'estudi

Originalment aquest estudi era l'eix del nostre treball, i el mòdul de sensors un pas més per arribar a efectuar-lo. Quan ja ens havíem endinsat en el disseny i elaboració, vam veure realment la quantitat de feina que comportaria instal·lar 10 sensors i ens vam veure forçats a reduir la mida de l'estudi. Tot i això, durant el període de recollida de dades han sorgit problemes amb la fiabilitat dels mòduls, que documentem en profunditat en les taules de dades. Així doncs, l'estudi limitat que realitzem té la doble funció de servir com prova de camp per al desenvolupament del mòdul de sensors.

7. Conclusions

El nostre treball de recerca ens ha permès construir un mòdul de sensors per monitorar la qualitat de l'aire a les aules. Hem instal·lat el mòdul a diverses aules, hem recollit dades i les hem analitzat. A continuació presentem les principals conclusions del treball.

7.1 Sobre el sensor

El mòdul de sensors assoleix tots els objectius que ens havíem proposat: és capaç de mesurar la concentració de CO_2 , la temperatura i la humitat de les aules.

El prototip final ens ha permès prendre dades i també reconèixer les seves limitacions. En aquest sentit representa un pas imprescindible en el procés de desenvolupament d'un mòdul més estable.

Els principals elements d'inestabilitat són les fluctuacions de les dades i la fiabilitat del sistema d'encesa. Entre els elements de disseny millorables hi ha la contaminació tèrmica i l'optimització del procés de fabricació; actualment la construcció del prototip requereix una quantitat d'hores de feina que fa poc viable la producció a gran escala.

Si bé hem confirmat la hipòtesi que és possible crear un mòdul de sensors capaç de monitorar la qualitat de l'aire en el marc d'un TR, l'optimització del seu funcionament donaria per un altre TR.

7.2 Sobre la recollida i l'emmagatzematge de dades

Hem dissenyat un sistema per recollir sistemàticament i automàticament les dades del mòdul de sensors. El sistema permet l'emmagatzematge de les dades al mateix sensor i la seva transmissió via Wi-fi a un servidor, per facilitar-ne l'anàlisi. Les fluctuacions de les dades són probablement atribuïbles al sensor, no al sistema de recollida, transmissió i enregistrament de les dades.

7.3 Sobre la qualitat de l'aire

Les dades generades pels sensors instal·lats a diferents aules ens permeten assegurar que una ventilació suficient requereix que hi hagi, com a mínim, una porta i una finestra obertes. Els efectes de la ventilació creuada sobre la qualitat de l'aire són ben constatables amb un mòdul com el que hem dissenyat. El sistema és prou sensible com per fer possible l'estimació de l'ocupació de l'aula, amb base a la concentració de diòxid de carboni. Hem observat també que l'increment en els nivells de CO_2 en les aules correspon a valors superiors als 1000ppm. Concloem, doncs, que existeix un problema real de ventilació a l'aula: la qualitat de l'aire no es troba dins l'interval requerit pel Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en els Edificis (RITE) per a un centre d'aprenentatge.

Constatem també que les dades que s'enregistren al servidor no són prou consistents com per treure conclusions addicionals. No podem confirmar definitivament les hipòtesis sobre la qualitat de l'aire, ja que no disposem d'un volum suficient de dades.

7.4 Continuitat del projecte

Un cop estigui acabada la instal·lació i desenvolupament dels 10 mòduls, l'institut disposarà d'un eina potent per portar a terme un estudi complet, científic i fiable de la qualitat de l'aire en les aules. La nostra proposta és que es formi un grup de TR per abordar aquest estudi, ja que hem establert les bases necessàries per fer-ho.

7.5 Impressions finals

Aquest projecte ens ha permès desenvolupar les nostres capacitats tècniques, i gràcies al treball en grup hem pogut realitzar un projecte ambiciós, que mai hauríem aconseguit individualment. Ha sigut un procés llarg i dur que ens ha recompensat amb un dispositiu funcional que demostra les habilitats que hem adquirit. El fet que el prototip tingui encara marge de millora ens motiva per seguir desenvolupant el projecte.

8. Bibliografia

ALLEN, Joseph G.; MACNAUGHTON, Piers; SATISH, Usha; SANTANAM, Suresh; VALLARINO, Jose; SPENGLER, John D., "Associations of Cognitive Function Scores with Carbon Dioxide, Ventilation, and Volatile Organic Compound Exposures in Office Workers: A Controlled Exposure Study of Green and Conventional Office Environments". *Environmental Health Perspectives*, 2016 124 (6): 805-12. <https://doi.org/10.1289/ehp.1510037>. Epub 2015 Oct 26.

CHANG, Hasok, "Turning an undergraduate class into a professional research community", *Teaching in Higher Education* 2007, vol. 10: pp. 387–394.

CLERC, Jean-François; CHENCINER, Catherine, "Les collectivités locales misent sur les capteurs de CO₂", *DNA Dernières Nouvelles d'Alsace*, 01/09/2021.

EITLAND, Erika; KLINGENSMITH, Lacey; MACNAUGHTON, Piers; CEDENO, Jose; SPENGLER, Jack; BERNSTEIN, Ari; ALLEN, Joseph G., *Foundations for Student Success. How School Buildings Influence Student Health, Thinking and Performance* (Harvard: T H Chan School of Public Health, n.d.) <https://schools.forhealth.org>

HODGKINSON, Jane; SMITH, Richard; ON HO, Wah; SAFFELL, John R.; TATAM, Ralph P. Non-dispersive infra-red (NDIR) measurement of carbon dioxide at 4.2 µm in a compact and optically efficient sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2013, volume 186. pp. 580-588. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2013.06.006>

MAINKA, A.; ZAJUSZ-ZUBEK, E. Keeping Doors Closed as One Reason for Fatigue in Teenagers—A Case Study. *Appl. Sci.*, 2019, volume: 3533. <https://doi.org/10.3390/app9173533>

MINGUILLÓN, María Cruz; et al., *Guía para ventilación de las aulas CSIC* (Madrid: CSIC, 2020). <https://digital.csic.es/handle/10261/221538> (consultat el 06/11/2021)

Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (versió consolidada). Madrid, setembre de 2013. <https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reglamento/RDecreto-1027-2007-Consolidado-9092013.pdf>

ROMÁN, Laura, "Comprueba el nivel de CO₂ en el aula con estos medidores", *Educación 3.0*, 05/12/2020 <https://www.educaciontrespuntocero.com/tecnologia/comprueba-nivel-de-co2-aula-medidores/> (consultat el 06/11/2021)

SALA DE PREMSA UPC, "Investigadors de la UPC analitzen, per primer cop a Espanya, la qualitat de l'aire a les aules", 02/11/2021 https://www.upc.edu/ca/sala-de-premsa/noticies/el-gric-de-la-upc-a-terrasa-analiza-per-primer-cop-a-espanya-la-qualitat-de-laire-a-linterior-dels-col-legis?utm_source=NP&utm_medium=email&utm_campaign=NP# (consultat el 06/11/2021)

9. Glossari

Base de dades. Conjunt de taules on cada columna representa una variable i cada fila un valor. En el nostre cas la base de dades és així:

id	co2	temperature	humity	so	year	month	week	day	hour	min	sec	place
1	473	39	94	0	2021	7	28	17	18	26	20	104
2	469	22	71	0	2021	7	28	17	18	26	22	106
3	476	-10	97	0	2021	7	28	17	18	26	24	100
4	476	44	88	0	2021	7	28	17	18	26	26	106
5	495	17	45	0	2021	7	28	17	18	26	28	104

Biblioteca (informàtica). En l'àmbit de la programació, codi que facilita l'execució d'una funcionalitat. Per exemple, una biblioteca pot contenir el codi i les funcions necessàries per obtenir la previsió meteorològica; en lloc d'introduir dues-centes línies de codi, se'n necessita només una.

CAD. Sigles de "Computer Aided Design" que significa disseny assistit per ordinador en anglès.

Comunicació serial. Comunicació digital de dos fils que permet transmissió d'informació en els dos sentits. Dins d'un sistema Arduino o semblant la comunicació serial necessita que s'estableixi una velocitat de transmissió (escriptures per segon) i el nombre de bits (uns i zeros) que s'envien.

Driver. Un *driver* és un programa que permet al sistema operatiu comunicar-se amb els components físics.

Esquemàtica. En el context del disseny de circuits, l'esquemàtica ensenya clarament la connexió entre els components.

IDE d'Arduino. Programa que proporciona Arduino per programar les plaques Arduino o semblants, és una versió optimitzada del llenguatge C++.

Mètode POST. Mètode del protocol http per enviar valors del client al servidor, o entre parts del servidor, sense que quedi representat en la barra de recerca. Per utilitzar-lo els valors s'han de codificar en una sintaxi concreta (*variable=valor&variable1=valor...*). A la barra de cerca d'un buscador s'hi pot veure representada una sintaxi semblant.

 [google.com/search?q=google&oq=google&aqs=chrome..69i57j0l27i13.1082j0j1&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=google&oq=google&aqs=chrome..69i57j0l27i13.1082j0j1&sourceid=chrome&ie=UTF-8)

Plaques perforades THT. Són planxes d'un material termoresistent amb forats que permeten la soldadura de components del sistema THT (Through-hole Technology).

Tolerància. En el context de fabricació, és el límit de variació en una dimensió física, en altres paraules, la diferència acceptable entre la mida teòrica i la mida real d'una peça fabricada.

Sistema de fixadors mètrics. El sistema mètric de fixadors inclou varis estàndards, la lletra M designa els cargols, i el número que la segueix és el diàmetre del fixador.

Servidor. Ordinador al qual es pot accedir a distància on hi ha el codi que forma una web. Cada vegada que algú fa una cerca a Internet i entra a una plana web, el que està fent és rebre el resultat d'executar el codi guardat en un servidor d'algun lloc del món. En el nostre cas el servidor és local així que només hi poden accedir els dispositius connectats a la mateixa xarxa.

Variable. Paraula clau que emmagatzema un o varis valors. Per exemple, l'edat és una de les variables lligades a la vida d'una persona. En el cas d'un alumne de segon de batxillerat, la variable edat emmagatzema normalment un valor de 17 o 18 depenent de la persona. Quan la persona celebra l'aniversari, la seva variable edat pateix una reassignació de valors i s'incrementa en una unitat (si valia 17 passa a valer 18). Quan la variable emmagatzema un nombre enter s'anomena variable tipus *integer*, quan emmagatzema lletres s'anomena variable tipus *string*.

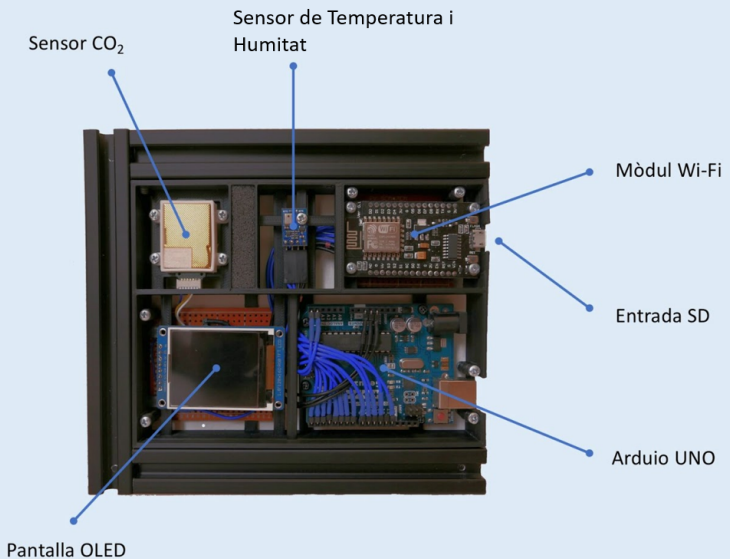
Annex 1: Informe projecte qualitat d'aire



Introducció

Com alumnes de primer de batxillerat aquest any ens pertoca desenvolupar el treball de recerca. En el nostre cas consisteix a estudiar la qualitat d'aire de l'institut juntament amb altres variables. Per fer possible que l'estudi perduri més enllà del nostre treball, estem desenvolupant el següent mòdul de sensors:

XSM-1 (sensor module - 1)



CARACTERÍSTIQUES

- Sensor MH-19C de CO₂, detecció de 400 a 5000 ppm.
- Sensor ATH-10 de temperatura i humitat.
- Pantalla 1,8" per mostrar els valors obtinguts.
- Mòdul Micro SD per guardar físicament les dades obtingudes.
- Mòdul Wi-Fi ESP8266 per enviar les dades a un servidor.
- Construcció robusta d'alumini.
- Assemblatge modular per facilitar la substitució de components.

La construcció del mòdul inclou perfils d'alumini estàndard, una tapa de metacrilat i un compartiment de PLA elaborat amb impressora 3D. Està dissenyat de manera que sigui fàcil de muntar i col·locar a la paret. L'alumini li dona rigidesa i durabilitat per resistir possibles impactes, així com modularitat per afegir altres components.

El processador central del mòdul és un Arduino UNO, que hem seleccionat per diferents raons. La primera és el nombre de pins, que ens permet connectar tots els components directament, a diferència d'un Arduino NANO. La segona és la infraestructura i suport per la plataforma Arduino, sobretot en l'elaboració i simplificació del software. Això permet als alumnes de tecnologia, que tenen coneixements bàsics d'Arduino, aplicar aquests coneixements a la reparació i el manteniment dels mòduls.

Una característica clau del mòdul és que es pot reparar. A diferència d'altres mòduls, comercials o DIY, el nostre disseny està basat en l'ús d'un armès de cables semblant al d'un motor d'automòbil: els cables estan soldats entre si i a una placa central, però els components es poden connectar i desconectar. Això permet intercanviar fàcilment una peça gastada o trencada utilitzant només una clau Allen, seguint les indicacions del manual del mòdul.

El chip Wi-fi permet al mòdul pujar en temps real els valors a un servidor central, per fer l'estudi de la qualitat d'aire. A més, s'afegeix la capacitat de connectar l'Arduino a altres mòduls de sensors dins la mateixa classe, reduint el cost d'expansió.

La targeta SD, tot i que és relativament cara, és menys susceptible a errors en la connexió a internet, i ens permet crear una base de dades física per complementar la base al núvol.

La resta de components, incloent-hi els sensors i la pantalla, són un compromís entre capacitat i preu, mantenint baix el cost per mòdul. Existeixen sensors de diòxid de carboni més precisos, que consumeixen menys energia o que mesuren més valors, però hem arribat a la conclusió que no són necessaris en el nostre context, sobretot considerant el seu preu. El sensor MH-19C de Winsen, un fabricant reconegut, està dissenyat per a aquest ús concret i ha estat utilitzat en projectes semblants. La pantalla de 1'8 polzades és suficient per llegir els valors i alhora és la més gran que es pot obtenir fins un salt considerable de preu a 2'4 polzades. Finalment, el sensor de temperatura i humitat és bàsic, semblant als sensors que podem trobar en un termòstat domèstic, però el considerem suficient per monitoritzar l'ambient de l'aula.

PREU

En el full de càlcul següent es poden veure els preus per cada component del mòdul:
[Pressupost SM-1](#)

Preu mòdul complet						
	€/10 unitats		Factura		Factura	
Pantalla TFT	35,43		Pantalla TFT	35,43	Perfil Alumini	72,02
Sensor CO2	171,28		Pins	0,96	Conector L	11,11
Pins	0,96		Sensor TH	9,19	2020 T-nut M4	11,64
			Mòdul Micro SD	44,54	Total	94,77
Sensor TH	9,19		NodeMCU v3	18,18		
Mòdul Micro SD	44,54		Arduino UNO R3	37,99		
Tarjeta SD 256MB	21,99		Cost d'entrega	1,21		
			Total	147,5		
NodeMCU v3	18,18					
Arduino UNO R3	37,99					
Ferreteria						
Perfil Alumini	72,02					
Conector L	11,11					
Setscrew M4 5mm	1,84					
Panhead M2 5 6mm	5,07					
Panhead M2 5 8mm	10,69					
Flathead M3 4mm	1,28					
2020 T-nut M3	4,69					
Flathead M2 6mm	3,13					
Instal·lació						
2020 T-nut M4	11,64					
Setscrew M4 14mm	2,43					
Anchor M4 20mm	3,39					
Adaptador 12V 2A	38,5					
PCB 5x7cm	8,36					
Cable 22AWG (m)	10,94					
PLA (kg)	18,16					
Metacrilat (cm²)	9,29					
Cost d'entrega	1,21					
Cost d'entrega	3,99					
Total	557,3					

Factura					
Pantalla TFT	35,43				
Pins	0,96				
Sensor TH	9,19				
Mòdul Micro SD	44,54				
NodeMCU v3	18,18				
Arduino UNO R3	37,99				
Cost d'entrega	1,21				
Total	147,5				

Factura					
Sensor CO2	171,28				
Total	171,28				

Factura					
Tarjeta SD 256MB	21,99				
Total	21,99				

Factura					
Adaptador 12V 2A	38,5				
Total	38,5				

Factura					
Cable 22AWG (m)	10,94				
Total	10,94				

Factura					
PCB 5x7cm	8,36				
Total	8,36				

Factura					
Anchor M4 20mm	3,39				
Metacrilat (cm²)	9,29				
Total	12,68				

Factura					
PLA (kg)	18,16				
Total	18,16				

La majoria de components els hem comprat a AliExpress, un proveïdor xinès semblant a Amazon. La tria d'aquest proveïdor és fàcil de justificar: els seus preus fan que aquest projecte sigui econòmicament viable. La tarjeta SD i la placa de metacrilat els comprarem a Amazon i Leroy Merlin respectivament, per qüestions de preu i disponibilitat.

El preu final per l'elaboració i instal·lació de 10 mòduls serà aproximadament **560 €**.

Annex 2: Transcripció del programari

```
/////////////////////////////////////////////////////////////////
                                                                Codi Servidor
/////////////////////////////////////////////////////////////////

<!-- Aquest és el codi que defineix la pàgina principal -->

<?php
// referencia a un altre arxiu on hi ha el codi que inicia totes les pàgines
include_once "Include/head.php" ;
?>

<!-- referencia de l'arxiu de estilització en aquest cas css.inc.css -->
<link rel="stylesheet" href="Include/css.inc.css">
<body>
    <!-- títol -->
    <div style="background-image: url('Images/');">
    <h1>Benvingut a la pàgina principal de consulta de les dades</h1>
    <h2>Escolliu quines dades us agradaria visualitzar</h2>
    </div>
    <!-- llista d'opcions del menú -->
    <ul>
        <li><a href="visTableData.php">Taula</a></li>
        <li><a href="visGraphData.php">Gràfica</a></li>
    </ul>

    </body>
</html>

/////////////////////////////////////////////////////////////////
                                                                Codi Servidor
/////////////////////////////////////////////////////////////////

<!-- Aquest és el codi que defineix la pàgina de visualització de dades a
traves de gràfiques -->

<?php
// referencia a un altre arxiu on hi ha el codi que inicia totes les pàgines
include_once "Include/head.php"
?>

<!-- referencia al full d'estilització en css-->
<link rel="stylesheet" href="Include/css.inc.css">
<!-- importació de la llibreria chart.js per crear les gràfiques -->
<script
src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/chart.js@3.4.1/dist/chart.min.js"></script>

<body>
<!-- títol -->
<h2>Pàgina de consulta de dades</h2>
```



```

<!-- creació dels botons que permeten tornar a la pàgina principal o netejar
els resultats -->
    <form class="sticky">
        <button type="submit" formaction="index.php">Casa</button>
        <button type="submit" formaction="visTableData.php">Neteja
Resultats</button>
    </form><br>
<!-- formulari que recull l'informació per tal de cercar els resultats en la
base de dades -->
    <form method="GET">
        <label for="minDate">Dades des del</label>
        <input type="date" name="minDate" id="minDate">
        <label for="maxDate">fins al</label>
        <input type="date" name="maxDate" id="maxDate"><br><br>
        <input type="number" name="aula" placeholder="Aula"><br><br>
        <label for="co2">Co2: </label>
        <input type="checkbox" name="co2" id="co2">
        <label for="temp">Temperatura: </label>
        <input type="checkbox" name="temp" id="temp">
        <label for="hum">Humitat: </label>
        <input type="checkbox" name="hum" id="hum">
        <label for="so">Nivell de So: </label>
        <input type="checkbox" name="so" id="so"><br><br>
        <button type="submit" name="submit">Busca</button><br><br>
    </form>
    <?php
// condicional que demana que les variables mínimes per fer la cerca estiguin
definides
if(isset($_GET['submit'])&&$_GET['minDate']!="&&$_GET['maxDate']!="&&$_GET['
aula']!="&&(isset($_GET['temp'])||isset($_GET['co2'])||isset($_GET['hum'])||i
sset($_GET['so']))) {

    //filtre Co2
    if(!empty($_GET['aula'])) {
        $aulaFilter = " AND place='".$_GET['aula'];
    } else {
        $aulaFilter = "";
    }
    //selecció de la data a buscar
    $sql = "SELECT * FROM `sensordata` WHERE `date` >='". $_GET['minDate']. "' AND `date` <='". $_GET['maxDate']. "'".$aulaFilter;
    $result = mysqli_query($conn,$sql);

    if(resultCheck($result) == true){
        $lastDate = 0;
        $i = 0;
        //crear les llistes de valors per construir la gràfica

```

```

while($row = mysqli_fetch_assoc($result)){

    $co2Array[$i] = $row['co2'];
    $tempArray[$i] = $row['temperature'];
    $humArray[$i] = $row['humity'];
    $soArray[$i] = $row['so'];

    $labelArray[$i] = changeDay($row['date'],$lastDate,$row['time']);
    $lastDate = $row['date'];
    $i++;

}
}else{
    echo "<p>no tenim dades</p>";
}

}
}else{
    echo "<p style = 'color:red'*Selecciona tots els camps obligatoris</p>";
}
?>

<canvas id="prova" width="400" height="100"></canvas>

</body>
<!-- inici codi JS que controla la creació de la taula -->
<script>
    //obtenció i conversió de les variables de php
    var labelArray = <?php echo json_encode($labelArray, JSON_HEX_TAG); ?>;
    var co2Array = <?php echo json_encode($co2Array, JSON_HEX_TAG); ?>;
    var tempArray = <?php echo json_encode($tempArray, JSON_HEX_TAG); ?>;
    var humArray = <?php echo json_encode($humArray, JSON_HEX_TAG); ?>;
    var soArray = <?php echo json_encode($soArray, JSON_HEX_TAG); ?>;
    console.log(labelArray);
    console.log(tempArray);

    var ctx= document.getElementById('prova').getContext('2d');
    //creació de l'objecte que defineix la gràfica
    var prova= new Chart(ctx,{
        //creació gràfica
        type:"line",
        data:{
            labels: labelArray,
            datasets:[{
                label:'Co2',
                data:co2Array,
                borderColor: 'rgb(90,90,90)',
                pointRadius: 0,
                fill: false,

```

```

        yAxisID: 'co2Scale',
        hidden: <?php toggleHidde(isset($_GET['co2']),0); ?>
    },
    {
        label: 'Temperatura',
        data: tempArray,
        borderColor: 'rgb(200,90,90)',
        pointRadius: 0,
        fill: false,
        yAxisID: 'tempScale',
        hidden: <?php toggleHidde(isset($_GET['temp']),0); ?>
    },
    {
        label: 'Humitat',
        data: humArray,
        borderColor: 'rgb(90,90,200)',
        pointRadius: 0,
        fill: false,
        yAxisID: 'humScale',
        hidden: <?php toggleHidde(isset($_GET['hum']),0); ?>
    },
    {
        label: 'So',
        data: soArray,
        borderColor: 'rgb(90,200,90)',
        pointRadius: 0,
        fill: false,
        yAxisID: 'soScale',
        hidden: <?php toggleHidde(isset($_GET['so']),0); ?>
    }
    ]
},
//configuració de la gràfica
options:{
    scales: {
        co2Scale: {
            axis: 'y',
            title: {
                display: true,
                text: 'Co2 (ppm)'
            },
            type: 'linear',
            min: 400,
            max: 5000,
            ticks:{
                color: 'rgb(90,90,90)',
            },
            display: <?php toggleHidde(isset($_GET['co2']),1); ?>
        },

```

```

    },
    tempScale: {
        axis: 'y',
        title: {
            display: true,
            text: 'Temperature (°C)'
        },
        type: 'linear',
        min: -10,
        max: 45,
        ticks: {
            color: 'rgb(200,90,90)',
        },
        display: <?php toggleHidde(isset($_GET['temp']),1); ?>
    },
    humScale: {
        axis: 'y',
        title: {
            display: true,
            text: 'Humitat (%)'
        },
        type: 'linear',
        min: 0,
        max: 100,
        ticks: {
            color: 'rgb(90,90,200)',
        },
        display: <?php toggleHidde(isset($_GET['hum']),1); ?>
    },
    soScale: {
        axis: 'y',
        title: {
            display: true,
            text: 'So'
        },
        type: 'linear',
        min: 0,
        max: 100,
        ticks: {
            color: 'rgb(90,200,90)',
        },
        display: <?php toggleHidde(isset($_GET['so']),1); ?>
    },
},
layout: {
    padding: 20
}

```

```

    }
  })
</script>
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

<!-- Aquest és el codi que defineix la pàgina de visualització de dades a
traves d'una taula-->

<?php
// referencia a un altre arxiu on hi ha el codi que inicia totes les pàgines
include_once "Include/head.php";
?>

<!-- referència de l'arxiu que guarda l'estil de la pàgina -->
<link rel="stylesheet" href="Include/css.inc.css">
<body>
  <!-- títol -->
  <h2>Pàgina de consulta de dades</h2>
  <!-- creació menú de navegació -->
  <form class="sticky">
    <button type="submit" formaction="index.php">Casa</button>
    <button type="submit" formaction="visTableData.php">Neteja
Resultats</button>
  </form><br>
  <!-- formulari per definir les dades a buscar -->
  <form method="GET">
    <label for="minDate">Dades des del</label>
    <input type="date" name="minDate" id="minDate">
    <label for="maxDate">fins al</label>
    <input type="date" name="maxDate" id="maxDate"><br><br>
    <input type="number" name="minCo2" placeholder="Minim valor de
Co2"><br><br>
    <input type="number" name="minTemp" placeholder="Minim valor de
Temperatura"><br><br>
    <input type="number" name="aula" placeholder="Aula"><br><br>
    <button type="submit" name="submit">Busca</button><br><br>
  </form>
  <!-- creació del cap de la taula -->
  <table>
    <tr>
      <th>CO2</th>
      <th>Temperatura</th>
      <th>Humitat</th>
      <th>So</th>
      <th>Lloc</th>
      <th>Data</th>
      <th>Hora</th>
    </tr>

```

```

<?php
// condicional que assegura que totes les variables necessàries per fer la
busca estan definides
if(isset($_GET['submit'])&&$_GET['minDate']!="&&$_GET['maxDate']!="){

    //filtre del CO2
    if($_GET['minCo2']>0){
        $co2Filter = " AND co2>".$_GET['minCo2'];
    }else{
        $co2Filter = "";
    }
    //filtre de temperatura
    if($_GET['minTemp']>0){
        $tempFilter = " AND temperature>".$_GET['minTemp'];
    }else{
        $tempFilter = "";
    }
    //filtre de lloc
    if(!empty($_GET['aula'])){
        $aulaFilter = " AND place=".$_GET['aula'];
    }else{
        $aulaFilter = "";
    }
    //enviament del codi sql a la base de dades
    $sql = "SELECT * FROM `sensordata` WHERE `date` >=".".".
$_GET['minDate'].", "." AND `date`
<=".".". $_GET['maxDate'].", ".".$aulaFilter.$tempFilter.$co2Filter." ORDER BY
`id` DESC";
    $result = mysqli_query($conn,$sql);

    //debug sql code
    //echo $sql;

    //Impressió de les dades a la taula
    if(resultCheck($result) == true){
        while($row = mysqli_fetch_assoc($result)){

            //echo data
            echo "<tr>";
            echo "<td>".$row['co2']. "</td>";
            echo "<td>".$row['temperature']. "</td>";
            echo "<td>".$row['humity']. "</td>";
            echo "<td>".$row['so']. "</td>";
            echo "<td>".$row['place']. "</td>";
            echo "<td>".$row['date']. "</td>";
            echo "<td>".$row['time']. "</td>";
            echo "</tr>";

```

```

        }
        echo "</table>";
    }else{
        echo "</table><p>no tenim dades</p>";
    }
    // missatge d'error
} else {
    echo "</table><p style = 'color:red'>*Selecciona tots els camps obligatoris</p>";
}
?>

</body>

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

/*definicions de l'estil de la pàgina, objectes css*/

/* headers*/
h1 {
    text-align: center;
    color: seagreen;
    font-family: Arial, Helvetica, sans-serif;
    font-size: 4em;
}

h2 {
    text-align: left;
    color: rgb(48, 184, 177);
    font-family: Arial, Helvetica, sans-serif;
    font-size: 2em;
}

/*tables*/
table {
    width: 100%;
    font-family: Arial, Helvetica, sans-serif;
    padding: 1.5%;
}
th {
    background-color: rgb(91, 206, 206);
    color: rgb(30, 31, 29);
    font-size: 1.3em;
    padding: 10px;
    position: sticky;

```

```

    top: 5%;
}

td{
    text-align: center;
    padding: 0.15em;
    border-bottom: 1px solid rgb(39, 41, 38);
    font-size: 1em;
}
tr:hover {
    background-color: rgb(165, 189, 141);
}

/*forms*/
button {
    background-color: rgb(33, 129, 105);
    color: aliceblue;
    text-decoration: none;
    border: none;
    text-align: center;
    padding: 10px 15px;
}

form.sticky {
    background-color: rgb(33, 129, 105);
    position: sticky;
    top: 0;
}

input[type=number] {
    border: none;
    border-bottom: 2px solid rgb(185, 89, 89);
}

input[type=date] {
    border: 2px solid rgb(185, 89, 89);
    border-radius: 4px;
    -webkit-border-radius: 4px;
    -moz-border-radius: 4px;
    -ms-border-radius: 4px;
    -o-border-radius: 4px;
}

label {
    padding: 5px;
    font-family: Arial, Helvetica, sans-serif;
}

```



```

/*lists*/

ul {
    list-style-type: none;
    margin: 0;
    padding: 0;
}

li {
    float: left;
    width: 50%;
    padding-top: 1%;
    padding-bottom: 1%;
    background-color: aqua;
}

li a {
    display: block;
    text-align: center;
    text-decoration: none;
    color: rgb(34, 36, 34);
    font-family: Arial, Helvetica, sans-serif;
    font-weight: bold;
    font-size: 1.2em;
}

li:hover {
    background-color: rgb(164, 255, 255);
}

li:active {
    background-color: aquamarine;
}

li a:active {
    color: rgb(60, 102, 98);
}

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
<!-- connexió amb la base de dades del tr, semblant a iniciar sessió -->
<?php

$dbServerName = "localhost";
$dbUserName = "root";
$dbPassword = "";

```

```

$dbName = "tdr";

$conn = mysqli_connect($dbServerName, $dbUserName, $dbPassword, $dbName);
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

<?php
// definició de funcions
//comprova si la base de dades retorna informació o no
function resultCheck($result){
    $resultCont = mysqli_num_rows($result);
    if($resultCont > 0){
        return true;
    }else{
        return false;
    }
}
//detecta si entre la data d'inici i de fi s'ha canviat de dia
}
function changeDay($date,$lastDate,$time){
    if($date==$lastDate||$lastDate == 0){
        return $time;

    }else{
        return $date." ".$time;
    }
}
//determina si sha de mostrar l'escala d'una variable a la gràfica
}
function togleHidde($magVar,$rev){
    $hidde = false;
    if($magVar == true){
        if($rev == 0){
            $hidde = false;
        }else{
            $hidde = true;
        }
    }
    }else{
        if($rev == 1){
            $hidde = false;
        }else{
            $hidde = true;
        }
    }
    echo json_encode($hidde, JSON_HEX_TAG);
}

?>

```

```
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
```

```
<!-- iniciació de pàgina general per totes les pàgines -->
```

```
<!DOCTYPE html>
```

```
<html>
```

```
  <head>
```

```
    <title>SM1-displayPanel</title>
```

```
  </head>
```

```
  <?php
```

```
    include_once "functions.php";
```

```
    include_once "dbConn.inc.php";
```

```
  ?>
```

```
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
```

```
// És el codi sql utilitzat per crear la base de dades
```

```
CREATE TABLE sensordata (
```

```
  id int(15) not null PRIMARY KEY AUTO_INCREMENT,
```

```
  co2 float(10) not null,
```

```
  temperature float(5) not null,
```

```
  humidity int(3) not null,
```

```
  so int(3) not null,
```

```
  date date not null DEFAULT CURRENT_DATE(),
```

```
  time time not null DEFAULT CURRENT_TIME(),
```

```
  place int(3) not null
```

```
)
```

```
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
```

```
<!-- comunicació amb el sensor i injecció de les dades rebudes a la base de  
dades -->
```

```
<?php
```

```
include "Include/functions.php";
```

```
include "Include/dbConn.inc.php";
```

```
echo dbInsert($conn,$_POST['co2'], $_POST['temp'], $_POST['hum'],  
$_POST['place']);
```

```
//echo "valorCo2: ".$_POST['co2'];
```

```

?>

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

<?php
// connexió amb la base de dades semblant a iniciar sessió

$dbServerName = "localhost";
$dbUserName = "root";
$dbPassword = "";
$dbName = "tdr";

$conn = mysqli_connect($dbServerName, $dbUserName, $dbPassword, $dbName);

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

<?php
// definició de la funció que injecta les dades a la base de dades

function dbInsert($conn,$co2,$temp,$hum,$place){

    $sql = "INSERT INTO sensordata (co2, temperature, humity, date, time,
place) VALUE ($co2, $temp, $hum,DEFAULT, DEFAULT,$place)";
    $result = mysqli_query($conn, $sql);
    //echo $sql;
    echo(", ".date("H:i:s d/m/Y"));
};

?>

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
                                                                Codi Arduino
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

#include <AHT10.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_ST7735.h>
#include <Fonts/FreeSerif18pt7b.h>

#define TFT_CS      10

```

```

#define TFT_RST      9
#define TFT_DC       8
#define pwm_PIN      3

//colors HEXADECIAML 16 BIT
#define blau_co2 0xA61D
#define groc_temp 0xEEB0
#define verd_humitat 0x9F57
#define vermell_co2 0xF800
//web: https://ee-programming-notepad.blogspot.com/2016/10/16-bit-color-generator-picker.html

//mitjana variables
int i = 0;
float co2Arr[60];
float tempArr[60];
float humArr[60];
float co2Suma = 0;
float tempSuma = 0;
float humSuma = 0;
float co2Av;
float tempAv;
float humAv;
unsigned long lastTime = 0;

//sensor data vars
int tempValue;
int humiValue;
float co2Value;
String placeValue = "205";

//useful vars
double pwm_value;
float prev_co2;
//float calib = 40;
float calibTemp = 1.5;

//display vars
int hight = 45;
int width = 140;

//apagar vars
int horaApagar = 16;
int horaEncendre = 8;
unsigned long millisEspera = ((24-horaApagar)+horaEncendre)*3600*1000;
unsigned long last = 0;

```

```

Adafruit_ST7735 tft = Adafruit_ST7735(TFT_CS, TFT_DC, TFT_RST);

AHT10 myAHT10(AHT10_ADDRESS_0X38); //crea un objecte amb les caracteristiques
del sensor, l'argument el l'adreassa de l'esclau.

void setup() {

    //codi sensors
    Serial.begin(9600);
    pinMode(pwm_PIN, INPUT);
    pinMode(2, OUTPUT);
    digitalWrite(2, HIGH);
    myAHT10.begin();//envia una ordre d'iniciació al sensor

    tft.initr(INITR_BLACKTAB); // inicialitza el ST7735S chip, en black tab
    tft.fillScreen(ST7735_BLACK); // ompla la pantalla de negre
    tft.setRotation(1);
    //tft.setTextWrap(false);

    //escriure "%"
    tft.setCursor(47, 10+hight+(hight/4));
    tft.setTextColor(verd_humitat, ST7735_BLACK);
    tft.setTextSize(2);
    tft.println("%");

    // escriure "C"
    tft.setCursor(47, 10+(hight*0.75)+hight+(hight/4));
    tft.setTextColor(verd_humitat, ST7735_BLACK);
    tft.setTextSize(2);
    tft.println("C");

    // Draw rectangles:
    tft.drawRect(10, 10, width, hight, blau_co2);
    tft.drawRect(10, 10+(hight*0.75)+hight, width*0.5, hight*0.75,
verd_humitat);
    tft.drawRect(10, 10+hight, width*0.5, hight*0.75,verd_humitat);

    //delay co2
    delay(120000);
}

void loop() {

    //codi que detecta la senyal del mòdul de Wi-fi i talla el circuit amb el
transistor

```

```

if(last<millis()-3600000){
  if(Serial.available()){
    char c = Serial.read();
    if(c=='1'){
      digitalWrite(2, LOW);
      delay(millisEspera);
      digitalWrite(2, HIGH);
      delay(120000);
      last = millis();
    }
  }
}

//Serial.print("Temperature value: ");
//Serial.println(AHT10Sensor(0)); //l'argument de la funció es correspon a el
//valor que vulguis obtenir, 0 = temperatura i 1 = humitat
tempValue = (AHT10Sensor(0));
//Serial.print("Humidity value: ");
//Serial.println(AHT10Sensor(1));
humiValue = (AHT10Sensor(1));
//Serial.print("CO2 value: ");
//Serial.println(MHZSensor(pwm_PIN)); // l'argument és el pin on connectes el
//PWM si s'esta inicialitzant el sensor, donarà result = 0 i imprimeix
//staritng...)
double pwm_value = pulseIn(pwm_PIN,HIGH);
if(pwm_value == 0){
  co2Value = prev_co2;
}
else{
  co2Value = (((pwm_value - 2000)*5)/1000);
  prev_co2 = co2Value;
}

//escriure "ppm"
tft.setCursor(107, 31);
if(int(co2Value)>1000){
  tft.setTextColor(vermell_co2, ST7735_BLACK);
}else{
  tft.setTextColor(blau_co2, ST7735_BLACK);
}
tft.setTextSize(2);
tft.println("ppm");

// escriure co2
tft.setCursor(28, 22);
if(int(co2Value)>1000){

```

```

    tft.setTextColor(vermell_co2, ST7735_BLACK);
}else{
    tft.setTextColor(blau_co2, ST7735_BLACK);
}

tft.setTextSize(3);
char displayCo2[10];
dtostrf(co2Value, 4, 0, displayCo2);
tft.println(displayCo2);
// escriure Temperature
tft.setCursor(20, 10+(hight*0.75)+hight+(hight/4));
tft.setTextColor(verd_humitat, ST7735_BLACK);
tft.setTextSize(2);
tft.println(tempValue);
//escriure Humidity
tft.setCursor(20, 10+hight+(hight/4));
tft.setTextColor(verd_humitat, ST7735_BLACK);
tft.setTextSize(2);
tft.println(humiValue);

//preparacio dades per enviar, mitjana

if (millis() >= lastTime+1000){
    lastTime = millis();

    float co2Suma = 0;
    float tempSuma = 0;
    float humSuma = 0;

    if(i<60) {
        co2Arr[i] = co2Value;
        tempArr[i] = tempValue;
        humArr[i] = humiValue;
    }else{
        for( int i = 0; i< 60; i++){
            co2Suma += co2Arr[i];
            tempSuma += tempArr[i];
            humSuma += humArr[i];
        }
        i = 0;
        memset(co2Arr, 0.0, sizeof(co2Arr));
        memset(tempArr, 0.0, sizeof(tempArr));
        memset(humArr, 0.0, sizeof(humArr));
        co2Av = co2Suma/60;
        tempAv = tempSuma/60;
    }
}

```



```

humAv = humSuma/60;

String dataCo2 = String(co2Av);
String dataTemp = String(tempAv);
String dataHum = String(humAv);
String dataPlace = String(placeValue);

//preparacio dades per enviar
String dades_per_enviar = "conf=1&co2=" + dataCo2 + "&temp=" + dataTemp +
"&hum=" + dataHum + "&place=" + dataPlace + "&*";
int str_len = dades_per_enviar.length() + 1;
char char_array[str_len];
dades_per_enviar.toCharArray(char_array, str_len);
//enviar dades
Serial.write(char_array, str_len);
}

i++;
}
}

```

//funció que es comunica amb el sensor de temperatura i humitat

```

float AHT10Sensor(int parm){
    float result[] = {myAHT10.readTemperature()-
calibTemp,myAHT10.readHumidity()};
    return result[parm];
}

```

```

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
                                Codi Wi-fi
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

```

```

#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>

const char* ssid = "CO2";
const char* password ="Bell1854";
const char* domain = "http://192.168.2.42/ClientSensor/";

//from arduino var
String inString;

// objecte arxiu
File dataFile;

```

```

//vars SD
const int CSpin = 15;
String actualTime;

//control apagar
int horaApagar = 16;//posar a 16

void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    delay(10);
    Serial.begin(9600);

//SD init
    pinMode(CSpin, OUTPUT);

    if (!SD.begin(CSpin)){
        Serial.println("Error, pot ser que no hi hagi una tarjeta present");
    }

    Serial.println("tarjeta inisialitzada");

//WiFi init
    WiFi.begin(ssid, password);

    Serial.print("Connecting...");
    while(WiFi.status() != WL_CONNECTED){
        delay(500);
        Serial.print(".");
    }

    Serial.println("Well connected");
}

void loop() {
    // put your main code here, to run repeatedly:
    if(WiFi.status() == WL_CONNECTED) {

        WiFiClient client;
        HTTPClient http;

        if(Serial.available()) {
            char c = Serial.read();
            if(c == '*'){
                if(inString.length()>1){

```

```

http.begin(client, domain); //connectar amb servidor
http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");

int codi_resposta = http.POST(inString); // enviar dades per post i
rebre codi de resposta (per verificar)

if(codi_resposta > 0){
  //Serial.println("Codi HTTP: " + String(codi_resposta)); //hora
posició 10
  if(codi_resposta == 200){

    actualTime = http.getString();
    //Serial.println("El servidor a respost");
    //Serial.println(actualTime);

    unsigned int sepInd = actualTime.indexOf(',');
    String houer = actualTime.substring(sepInd+1,sepInd+3);
    if(houer.toInt()>=horaApagar){
      Serial.write('1');
    }

  }
}else{

  dataFile = SD.open("dbFile.txt", FILE_WRITE);
  //write
  if(dataFile) {
    dataFile.println(inString + actualTime);
    dataFile.close();
  }

  else {
    //Serial.println("error obrint el fitxer dataFile.txt");
  }

  //Serial.println("Error al enviar el codi");
}
http.end();
} //fi if length > 1
}else{
  inString += c;
} //else de terminator == si
} //serial available
}else{
  Serial.println("Error_conexio_wifi");
} //fi Wifi.status == well connected
}

```

Annex 3: Imatges addicionals

