



# XORNADAS ELECTRICIDADE E ELECTRÓNICA 2023

CIFP Politécnico - Lugo  
30 Xuño 2023

## “REDE DE MONITORIZACIÓN CONTINUA DA CALIDADE AMBIENTAL EN CENTROS EDUCATIVOS”

Javier Diz Bugarín  
IES Escolas Proval (Nigrán)

## INTRODUCCIÓN

- A calidade do aire interior é un factor de gran importancia para o control de enfermidades transmitidas polo aire (como a COVID-19) nos contornos educativos.
- Un baixo nivel de osíxeno ou un exceso de dióxido de carbono poden provocar déficit cognitivo, fatiga e outros efectos, con graves consecuencias na saúde, benestar e resultados académicos dos estudantes.
- O rendemento enerxético dos edificios educativos vese fortemente afectado por factores como os horarios excesivos de ventilación e calefacción, ademais doutros intrínsecos como defectos de construción ou mal illamento.
- Para conseguir un equilibrio entre estas diferentes necesidades é fundamental contar con información completa sobre os parámetros ambientais dos edificios, facendo un gran número de medicións en diferentes puntos durante un amplo intervalo.
- Todos estes datos deberían estar centralizados e accesibles para o seu procesamento posterior.



## PROXECTO DE INNOVACIÓN EN FP

- Para acadar estes obxectivos un equipo de profesores de dous institutos (IES Escolas Proval e IES Val Miñor, Nigrán, España) e a empresa local Hermes Smart Control puxeron en marcha un proxecto cooperativo para o desenvolvemento de medidores electrónicos de variables como temperatura, humidade relativa, niveis de iluminación e dióxido de carbono.
- O proxecto iniciouse na situación de pandemia de COVID-19, pero vai máis aló deste contexto e busca a mellora da eficiencia enerxética dos centros educativos e o estudo da relación entre o rendemento académico do alumnado e os parámetros ambientais dos edificios.
- A nosa proposta consiste en crear prototipos de medidores que se poidan conectar á rede de datos dos centros educativos e envíen información de forma continua a un servidor local ou externo. Os medidores tamén poden ser autónomos con memoria ou tarxeta SD.
- Os equipos comerciais son caros (sobre todo se está previsto instalalos en todas as aulas) ou teñen sensores de mala calidade.
- En moitos casos as medicións son puntuais e non proporcionan información suficiente para un estudo sistemático do medio.
- Os medidores deben ser económicos, fiables, e de fácil instalación.

### Medidor Ambiental – Proxecto de Innovación

IES Escolas Proval – IES Val Miñor –  
Hermes Smart Control



Inicio
Rede de Medidores
Sitios
Documentación do Proxecto
Páxina de artigos

**Inicio**

Páxina de enlace do Proxecto de Innovación Medidor Ambiental do IES Escolas Proval + IES Val Miñor + Hermes Smart Control S. L.

- [Sitio do Proxecto do IES Escolas Proval](#)
- [Sitio do Proxecto do IES Val Miñor](#)
- [Sitio do Proxecto do IES Primeiro de Marzo](#)
- [Sitio do Proxecto do IES Azaña da Laxe](#)
- [Sitio do Proxecto de Hermes Smart Control](#)

Enlaces directos aos medidores:

[Medidor 01](#) – [Medidor 02](#) – [Medidor 03](#) – [Medidor 04](#) – [Medidor 05](#)

[Medidor 06](#) – [Medidor 07](#) – [Medidor 08](#) – [Medidor 09](#) – [Medidor 10](#)

[Medidor 11](#) – [Medidor 12](#) – [Medidor 13](#) – [Medidor 14](#) – [Medidor 15](#)

[Medidor 16](#) – [Medidor 17](#) – [Medidor 18](#) – [Medidor 19](#) – [Medidor 20](#)

[Medidor 21](#) – [Medidor 22](#) – [Medidor 23](#) – [Medidor 24](#) – [Medidor 25](#)

**Menú**

- [Lista de Medidores](#)
- [Sitio do IES Escolas Proval](#)
- [Sitio do IES Val Miñor](#)
- [Sitio do Hermes Smart Control](#)
- [Documentación do Proxecto](#)

**Últimas publicacións**

- [Medidor 25](#)
- [Medidor 24](#)
- [Medidor 23](#)
- [Medidor 22](#)
- [Medidor 21](#)

## **OBXECTIVOS DO PROXECTO**

Este proxecto ten moitas aplicacións no ensino científico e tecnolóxico. Entre outros, os principais obxectivos son:

- Desenvolvemento de sistemas de medida de diferentes parámetros ambientais con capacidades de adquisición, almacenamento e comunicación de datos.
- Preparación de clases prácticas innovadoras para estudantes de electrónica e tecnoloxía sobre sensores, adquisición de datos, comunicacións e programación.
- Transferencia de tecnoloxía entre centros educativos e empresas para o desenvolvemento de novos sistemas e produtos.
- Mellorar as oportunidades laborais do alumnado mediante a participación nunha experiencia real de I+D+i.
- Adquirir un mellor coñecemento sobre a calidade ambiental e a eficiencia enerxética dos edificios educativos para a implantación de solucións innovadoras.
- Promover o interese do alumnado de todos os niveis polo medio ambiente e a eficiencia enerxética.

## **PLANIFICACIÓN DO PROXECTO**

O proxecto dividiuse nun conxunto de tarefas que serán asignadas a un equipo de profesores e alumnos de cada centro. Nalgúns casos a mesma tarefa pode ser compartida por dous equipos, o que require un procedemento de coordinación.

Debido á pandemia de COVID-19 non estaba previsto facer reunións presenciais, en cambio utilizamos diversos medios de comunicación como correo electrónico, grupos de mensaxes e ferramentas de aprendizaxe remota como Moodle ou outras.

As fases do proxecto son:

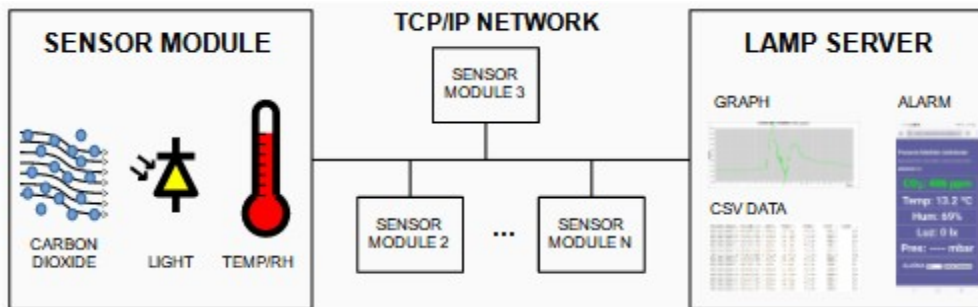
- 1) Estudos iniciais e planificación
- 2) Deseño e construción dos prototipos
- 3) Instalación dos prototipos e medicións reais
- 4) Avaliación dos resultados, difusión e transferencia de tecnoloxía.

As tarefas relacionadas co deseño e construción dos prototipos electrónicos estaban previstas inicialmente para os últimos meses do curso 2020-21, servindo de prácticas e pequenos proxectos para o alumnado de FP do IES Escolas Proval. Pero a normativa de ventilación establecida polas autoridades educativas ao inicio do curso obrigou a modificar a programación co fin de obter información sobre a calidade do aire, iniciando estas tarefas a principios de 2021, obtendo as primeiras medicións xa o 19 de febreiro.

As tarefas de difusión e transferencia de tecnoloxía estaban programadas para os últimos meses de 2021, pero tamén se adelantaron polos mesmos motivos. En particular, a empresa socia Hermes iniciou o seu propio desenvolvemento de medidores de dióxido segundo os requisitos das normativas gobernamentais aplicadas a restaurantes e outras empresas.

## ARQUITECTURA DO SISTEMA

- Para a definición do sistema aproveitáronse módulos creados anteriormente para a docencia do Departamento de Electrónica e en particular o proxecto de estación meteorolóxica automática do IES Escolas Proval, que ten unha configuración similar ao sistema que se pretende desenvolver.
- A filosofía deste proxecto era a difusión pública da información recollida, mediante una páxina web que se actualiza continuamente presentando datos e gráficas, utilizando a rede corporativa da Xunta de Galicia, polo que non precisa recursos adicionais.
- A rede de medición ambiental actual segue un esquema parecido creando unha rede de módulos de sensores totalmente independentes entre sí que mandan datos a un servidor común desde calquera punto con conexión a internet. Isto permite extender a rede e colocar sensores en diferentes aulas dun mesmo centro ou en distintos centros sen importar a súa distancia ou ubicación.



## **ESPECIFICACIÓNS XERAIS**

Trátase de crear unha rede de medida distribuída coas seguintes características:

- Formada por módulos independentes con microcontrolador e varios sensores que envían información a un servidor LAMP (Apache-PHP) mediante rede TCP/IP (ethernet/internet).
- O desenvolvemento dos módulos será mediante hardware e software libre empregando as linguaxes C (microcontrolador) e HTML-PHP (servidor).
- A rede será ampliable, incluso a grande escala. Inicialmente está previsto cubrir o ámbito do Val Miñor (Pontevedra), pero podería extenderse incluso á totalidade de centros de secundaria de Galicia (aproximadamente 300 ubicaciones), primaria e outros.
- O número inicial de medidores establécese en 255 como máximo, pero podería ampliarse facilmente a varios miles con pequenas modificacións no software dos dispositivos.
- Para poder crear unha rede ampla o custo dos dispositivos debe ser moderado, establecéndose un límite orientativo de 50 euros.
- Aproveitarase a rede educativa para evitar custos de explotación. Por este mesmo motivo a conexión será cableada, xa que non é habitual dispor de wifi en tódalas aulas.
- O servidor permitirá o acceso inmediato aos datos (case en tempo real), universal e permanente. A presentación farase mediante gráficas e datos numéricos en formato csv para facilitar a copia e tratamento mediante follas de cálculo.



## **MÓDULO DE SENSORES**

Formado por un microcontrolador ao que se conecta un número variable de sensores e un adaptador para conexión a rede.

O módulo é compatible co contorno Arduino, con placa de circuito impreso de deseño propio.

Zócalo para inserir un módulo conversor serie-usb (como o FTDI FT232R) para a programación do microcontrolador.



### *1) Microcontrolador*

Como elemento central do módulo emprégase o microcontrolador Atmega328P-PU de Atmel, debido á súa compatibilidade co contorno Arduino xa que se utiliza nas placas UNO, Nano e Pro-Mini.

Está dispoñible en encapsulado DIP-28, o que facilita o deseño da placa de circuito impreso e o seu reducido prezo (<2 euros) contribúe ao control de custos do módulo.

Ademáis, no instituto xa fixeramos unha placa compatible Arduino para uso didáctico que serve de punto de partida para o novo deseño.

Por outra banda este microcontrolador só ten 32 KB de memoria de programa, que resulta escasa para esta aplicación. Por este motivo se proponen diferentes alternativas para a continuidade futura do proxecto.



## **MÓDULO DE SENSORES**

### *2) Adaptador de rede*

Para a conexión externa do módulo emprégase un adaptador serie-ethernet cableado RJ45 (non sempre está dispoñible a wifi nas aulas).

Non se usa configuración dinámica DHCP (arquitectura da rede educativa baseada en IP estáticas). A configuración dinámica aumenta o tamaño do programa, ralentiza a conexión e non sempre hai un servidor na rede.

Das opcións existentes no mercado optamos polos módulos Wiznet con controlador W5500 e interfaz SPI. Moitos destes módulos levan un conector IDC10 coa mesma conexión.

O prezo deste módulos é reducido, típicamente inferior a 4 euros.



### *3) Fuente de alimentación*

Alimentación do módulo a 5V sen regulador.

Fonte comercial tipo cargador de móbil ou similar, preferentemente reutilizada (actividade reciclaxe).

Conector usb, que pode cambiarse en función do tipo de alimentador disponible (USB tipo A/B, mini ou micro).

## MÓDULO DE SENSORES

### 4) Sensor de dióxido de carbono

O sensor de dióxido de carbono é un elemento crítico do sistema para que o proxecto resulte de utilidade na avaliación da calidade do aire e verificación da ventilación. A continuación faremos unha descrición das tecnoloxías existentes:

a) Sensores Electroquímicos: Baséanse na xeración de ións nunha cela electrolítica mediante reaccións redox en presenza do gas obxectivo. De custo reducido pero tempo de vida limitado, selectividade cruzada ante outras substancias. Exemplo: MG-812 de Winsen.



b) Sensores SMO (Semiconducting Metal Oxide): Empregan a variación de conductividade dun material semiconductor (óxidos metálicos como SnO<sub>2</sub>) a alta temperatura en presenza de gases. Baixo prezo, facilidade de fabricación, baixa selectividade, pouca estabilidade e curta vida útil. Consumo eléctrico elevado para calefactar o material. Exemplo: MQ-135, moi empregado en proxectos con Arduino.



c) Sensores NDIR (Non-Dispersive Infrared): Empregan a absorción selectiva de lonxitudes de onda infravermellas por parte de certos gases (4.3  $\mu\text{m}$  para o CO<sub>2</sub>). Alta selectividade, elevada precisión. A medida pode resultar afectada por outros parámetros (temperatura, humidade, presión), requiren calibración. Exemplos: Senseair Sunrise, Winsen MH-Z19C, Sensirion SCD30 o Honeywell CRIR.



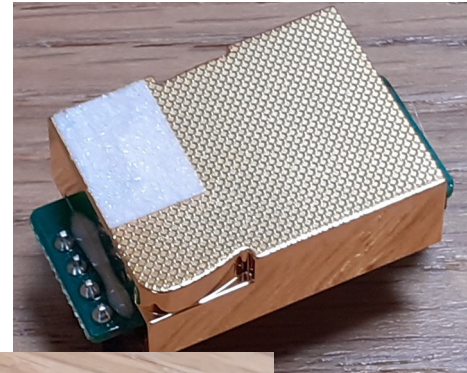
d) Sensores PAS (Photoacoustic Spectroscopy): Detectan a vibración mecánica das moléculas de dióxido de carbono cuando absorben radiación infravermella modulada. É a tecnoloxía máis novedosa, precisa e fiable. Exemplos: SCD-40 de Sensirion, XENSIV-PAS-CO2 de Infineon.



## MÓDULO DE SENSORES

Para este proxecto escollemos o sensor NDIR Winsen MH-Z19C, co criterio de que teña unhas prestacións boas a un prezo reducido. As guías de ventilación (CSIC, Harvard School of Public Health) recomendan este tipo de sensores. As súas características:

- Rango de medida 400-2000 ppm
- Temperatura -10..+50°C, humedad relativa 0-95%.
- Tensión de alimentación:  $5V \pm 0.1V$ .
- Consumo medio: 40mA (máximo 125mA).
- Tempo de estabilización: <1 minuto.
- Salida: UART-TTL, PWM.
- Duración: >10 anos.
- Prezo aproximado: 15-20 euros.



## **MÓDULO DE SENSORES**

### *5) Sensores de temperatura e humidade relativa*

No mercado hai unha ampla gama de sensores de temperatura e humidade.

Aproveitando proxectos anteriores escollimos o sensor SHT30 de Sensirion que mide ambos parámetros e ten saída dixital en formato I2C.

Hai moitas placas con este sensor en formato SIL-4 a prezos <2 euros.



### *6) Sensor de luz*

O sensor de luz estaba pensado para proporcionar información sobre o uso diario dos espazos a través dos niveis de luz natural (apertura de ventás) e artificial.

Entre as numerosas opcións existentes (LDR, fotodiodos, fototransistores...), seleccionamos o fotodiodo BPW34 que ten una boa sensibilidade (rango luz visible, superficie de  $7\text{mm}^2$  con responsividade  $0,62\text{A/W}$ ) e un amplo ángulo de captación ( $60^\circ$ ). Este sensor ponse en serie cun potenciómetro de  $10\text{K}\Omega$  para axuste do rango de medida, xa que pode chegar a saturar con luz natural intensa (por exemplo preto dunha ventá).

A lectura do sensor faise directamente a través das entradas analóxicas do microcontrolador.

Non está prevista a calibración a unidades normalizadas ( $\text{W/m}^2$  ou lux) para non complicar en exceso a realización del proxecto.

## MÓDULO DE SENSORES

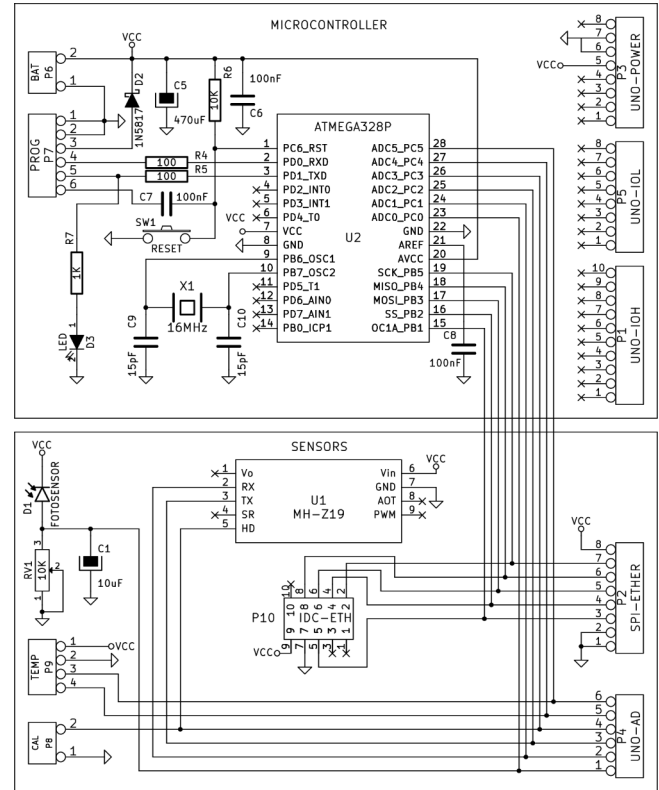
O esquema electrónico do módulo de sensores está dividido en zona de control e zona de sensores.

A idea inicial era crear un módulo de sensores conectable a unha placa Arduino UNO comercial. Para isto deixáronse previstos os conectores POWER, IOH, IOL, AD.

Finalmente fixemos unha placa integrada co microcontrolador e sensores mantendo o formato de Arduino UNO), cun cable plano de conexión ao adaptador Ethernet.

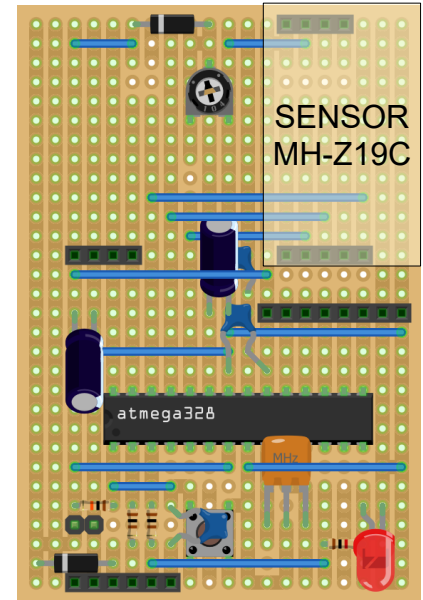
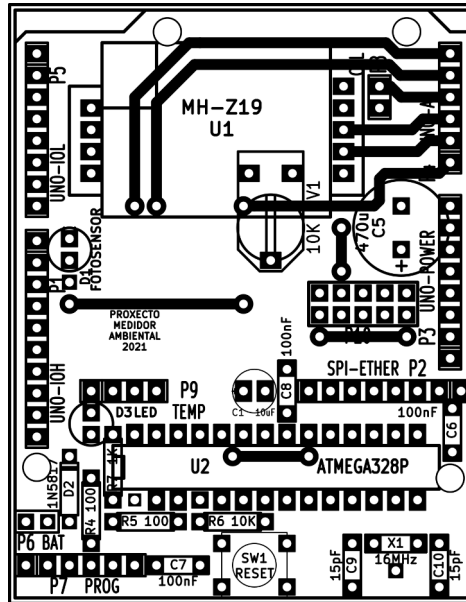
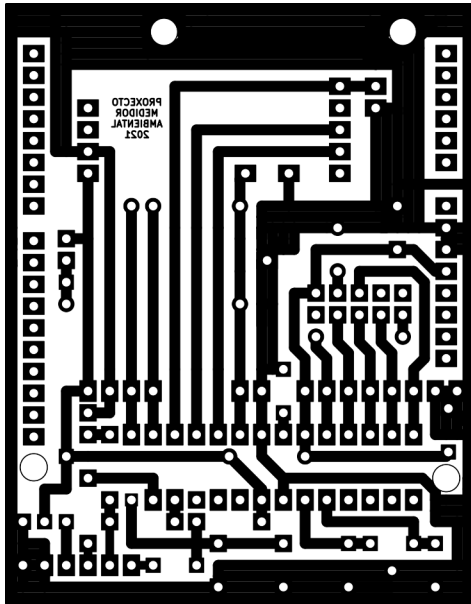
A placa leva un conector de alimentación SIL-2 para permitir diferentes alimentadores usb, un conector IDC-10 para o módulo ethernet, zócalos para os sensores de CO2, temperatura e humidade e un conector de programación SIL-6 para módulos comerciais serie-usb. O sensor óptico BPW34 vai soldado directamente na placa.

O trazado de pistas ten un ancho e separación suficientes para facela con insoladora no instituto. Os taladros teñen un diámetro mínimo de 1mm. Fixemos prototipos en placa de tiras, pcb e finalmente enviáronse a fabricar a un proveedor externo.



## MÓDULO DE SENSORES

Placa de circuito impreso e exemplo de montaxe en placa de tiras:



## **PROGRAMACIÓN: MÓDULO DE SENSORES**

O programa do módulo de sensores fíxose en linguaxe C sobre contorno Arduino. O programa está estruturado nos seguintes bloques funcionais:

1. *Bloque de lectura de sensores.* Fixéronse funcións específicas para a lectura de cada sensor. Nalgún caso (SHT30) reutilizando código. A lectura faise cada minuto.
2. *Cliente web.* O programa emprega funcións de comunicación tcp/ip para enviar os datos dos sensores ao servidor externo en modo cliente. Os datos son capturados nun script realizado en PHP que se ocupa do procesamento.
3. *Micro servidor web.* O programa dispón dun servidor interno que se emprega para visualizar a información dos sensores (en rede local) e para a configuración do módulo. Poden modificarse os datos de rede ou o número de medidor en caso de cambio de ubicación.
4. *Configuración eeprom.* Os datos de configuración de rede (ip, máscara, gateway, dns) gárdanse na memoria eeprom interna do microcontrolador. Tamén se almacenan outros parámetros como o número de identificación do medidor, enderezo web do servidor ou a ruta do script de lectura remota. O programa dispón de parámetros por defecto para a posta en marcha ou fallo da memoria.
5. *Calibración de sensores.* O programa dispón dunha función de calibración para o sensor de CO<sub>2</sub>.

O contorno Arduino dispón de numerosas bibliotecas de funciones integradas como a biblioteca Ethernet e outras externas como a biblioteca MH-Z19 de Jonathan Dempsey, o que permitiu acelerar o desenvolvemento do código.



## **PROGRAMACIÓN: SERVIDOR DE DATOS**

Para o tratamento e almacenamento dos datos proporcionados polos medidores configurouse un servidor LAMP, que proporciona a xestión da páxina web e permite executar scripts en contorno php, replicando a estrutura do proxecto Meteoproval, que ten dado bos resultados desde hai anos. As súas características:

1. O sistema funciona baixo o subdominio específico: <http://codos.meteoproval.es>.
2. O servidor recibe os datos mediante scripts php e crea arquivos diarios en formato texto csv.
3. Cada medidor dispón dunha carpeta propia no servidor con scripts php independentes e o seu propio interfaz web, que presenta os últimos datos recibidos nunha barra lateral ou widget. Tamén permite o acceso aos datos diarios minutais en formato texto. Ademáis, preséntanse gráficas diarias de temperatura, humidade, luz e dióxido de carbono. Pódese navegar polas datas anteriores para ver datos ou gráficas e localizar eventos de interés.
4. Na páxina de cada medidor pode abrirse unha pantalla de medida instantánea con alarma sonora.
5. O sitio web está feito con Wordpress Multisite. Cada centro educativo ou entidade ten a súa propia páxina dentro do sitio (exemplo: <http://codos.meteoproval.es/iesproval>) con ligazóns aos medidores.
6. Cada módulo de sensores leva impreso un código QR coa ligazón á la web.

Esta estrutura modular do sitio facilita a súa xestión e ampliación, xa que para engadir medidores só hai que crear unha nova carpeta e copiar os scripts, enlazando o novo medidor desde a páxina principal e sitios locais. As carpetas dos medidores están todas baixo unha ruta común (como /datos/medidor1/). Isto facilita o acceso para copias de seguridade ou descarga de datos por ftp.

## PROGRAMACIÓN: INTERFAZ DE USUARIO

Pantallas do servidor web e local e remota para un dos medidores:

### Medidor Ambiental – Proxecto de Innovación

*IES Escolas Proval – IES Val Miñor –  
Hermes Smart Control*



Inicio
Rede de Medidores
Sitios
Documentación do Proxecto
Páxina de artigos

**Medidor 1 – Taller 3 Proval**  
Publicado o 14 Febrero, 2021 por admin

Páxina de datos do Medidor 1 situado no Taller 3 de Proval. Aquí poden consultarse as medidas e gráficas actuais e o histórico de datos gardados en arquivos csv:

- [Consulta de medida actual e alarma](#)
- [Arquivos de datos csv: diario minuto – dezminuta](#)
- [Consulta histórico por data](#)

**CONCENTRACIÓN CO<sub>2</sub>**



**RESUMO MEDIDAS**

```

medidor: 001
data: 16/12/2021
hora (UTC): 10:18:58
temperatura: 015.6 °C
humidade: 062.1 %
CO2: 00946 ppm
luz: 0120 lx
presion: ---- mbar
http://10.66.216.164/
                    
```

Primeiras probas →

**Menú**

- Lista de Medidores
- Sitio do IES Escolas Proval
- Sitio do IES Val Miñor
- Sitio de Hermes Smart Control
- Documentación do Proxecto

**Últimas publicacións**

- Medidor 25
- Medidor 24
- Medidor 23
- Medidor 22
- Medidor 21

11:10 📶 51%

192.168.1.80

**Proxecto Medidor Ambiental**  
*IES Escolas Proval - IES Val Miñor - Hermes Smart Control*

MEDIDOR 10

**CO<sub>2</sub>: 0409 ppm**

**Temp: 12.8°C**

**Hum: 69.1%**

**Luz: 0000 lx**

máis info: <http://codos.meteoproval.es>

11:18 📶 51%

codos.meteoproval.es/datos/me

**Proxecto Medidor Ambiental**  
*IES Escolas Proval - IES Val Miñor - Hermes Smart Control*

MEDIDOR 10

**CO<sub>2</sub>: 406 ppm**

**Temp: 13.2 °C**

**Hum: 69%**

**Luz: 0 lx**

**Pres: ---- mbar**

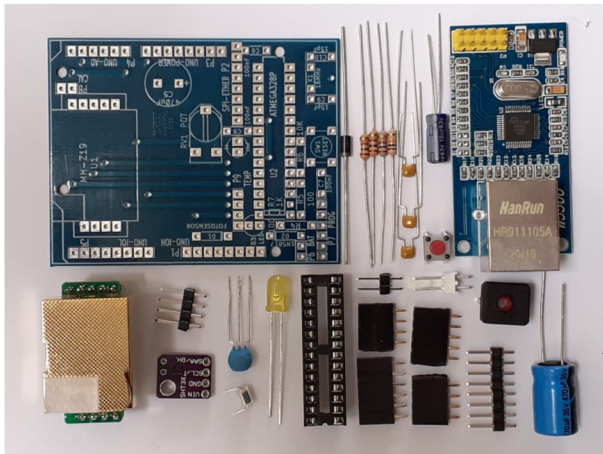
ALARMA

## CONSTRUCCIÓN DOS PROTOTIPOS

Despóis de facer os primeiros prototipos en placas de tiras e placa fotosensible (e correxir fallos) encargáronse as placas de circuito impreso a un proveedor externo.

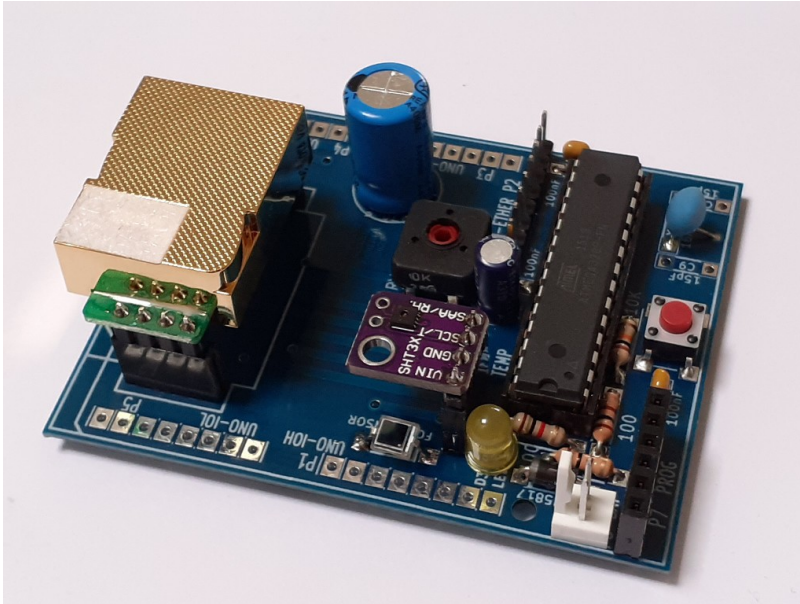
A montaxe dos medidores fíxose no IES Escolas Proval coa participación de estudantes e profesores do C. S. "Mantemento Electrónico".

A carcasa dos medidores está composta por dous rectángulos de policarbonato transparente para que a luz chegue ao sensor luminoso, e as caras laterais cunha lámina pregada de celosía de aceiro inoxidable para permitir o acceso do aire ao sensor de dióxido de carbono.



## CONSTRUCCIÓN DOS PROTOTIPOS

Detalle da placa de circuito impreso cos compoñentes e o módulo finalizado



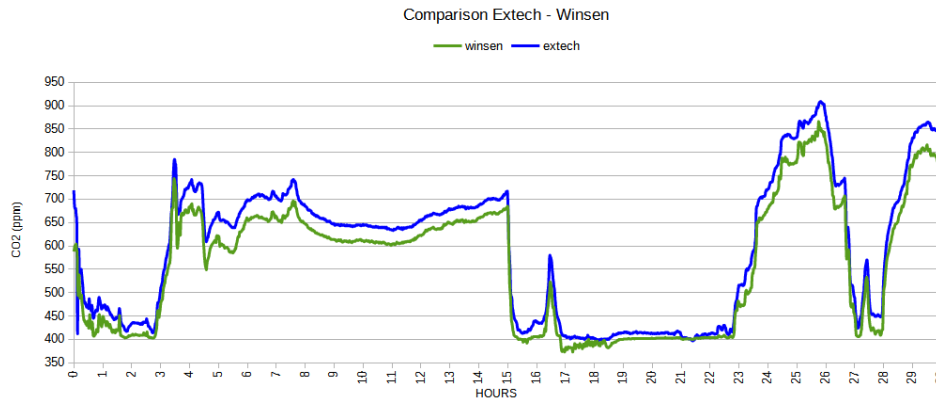
## VALIDACIÓN DAS MEDIDAS

Para a validación dos prototipos realizados fixemos probas comparativas cun medidor de referencia (CO-260 de Extech Instruments/FLIR). Este medidor incorpora un sensor Senseair K30, de mellores características que o Winsen MH-Z19C.

### PROBA 1

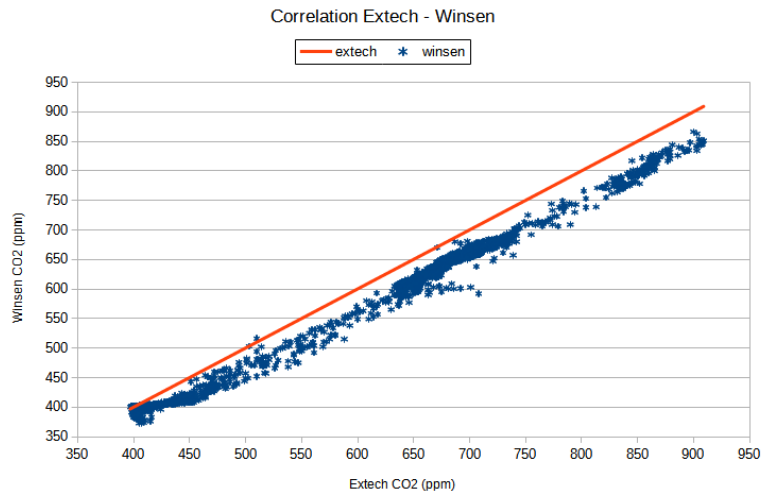
Consiste no rexistro continuo e simultáneo de cada medidor xunto ao de referencia durante un período prolongado de tempo con oscilacións importantes de concentración de dióxido de carbono. Dos resultados obtivemos as seguintes conclusións:

- Hai unha boa correlación entre ambos tipos de sensores.
- A diferenza de nivel é aproximadamente constante en todo o rango de medida e pode corrixirse mediante calibración.



## VALIDACIÓN DAS MEDIDAS

- No caso do erro de ganancia fíxose o cálculo da regresión lineal entre ambos medidores, resultando unha diferenza aproximada do 3%.
- Para este cálculo elimináronse os valores próximos a 400ppm que corresponde ao nivel mínimo de medida.
- Os resultados son similares en tódolos sensores verificados con pequenas variacións.

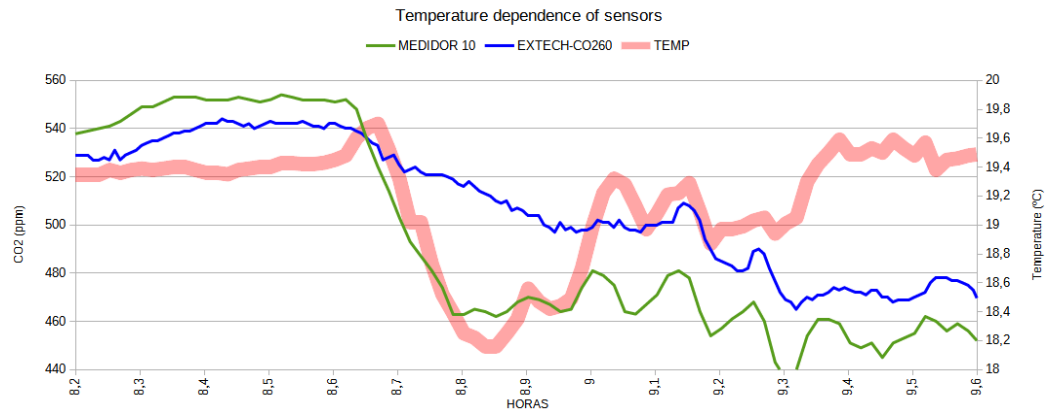


## VALIDACIÓN DAS MEDIDAS

### PROBA 2

Tamén fixemos probas para establecer a dependencia das medidas coa temperatura, un dos factores que afectan aos sensores de tipo NDIR.

- As probas consistiron na comparación co medidor de referencia xerando diferencias de temperatura e observando os datos resultantes.
- Aprécianse diferencias no sensor Winsen de ata 90 ppm para un salto térmico de 1.3°C, mentres o medidor Extech permanece practicamente estable.
- Destas probas obtivemos como conclusión que os sensores Winsen teñen unha variabilidade maior coa temperatura que o medidor de referencia, factor que debe terse en cuenta nas medición reais, como cando hai correntes de aire por ventilación.





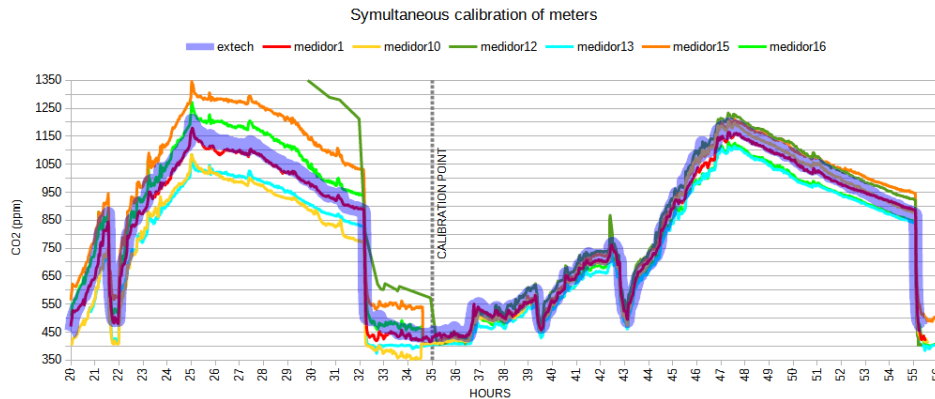
## CALIBRACIÓN DOS MEDIDORES

Por último fixemos a calibración simultánea de varios medidores e comparación co medidor de referencia.

O sensor dispón dun procedemento interno de calibración que se inicia mediante hardware ou por software. O procedemento de calibración está definido polo fabricante e require un período de funcionamento mínimo de 15 minutos en condicións atmosféricas estables en presenza de aire libre.

Tamén existe un algoritmo de auto calibración periódica (ABC, Automatic Baseline Calibration) que no noso caso está desactivado porque nas aulas típicas de instituto non hai garantía de renovación periódica de aire. A calibración manual ten facerse cada certo tempo, unha vez ao mes ou con máis frecuencia se é posible.

Para a calibración o grupo de medidoresponse en funcionamento xunto ao medidor de referencia durante varias horas. Unha vez estabilizadas as condicións ambientais activase o procedemento de calibración simultaneamente en todos os medidores e continúa o rexistro de datos para verificar o éxito da operación. En caso necesario pode repetirse o procedemento.



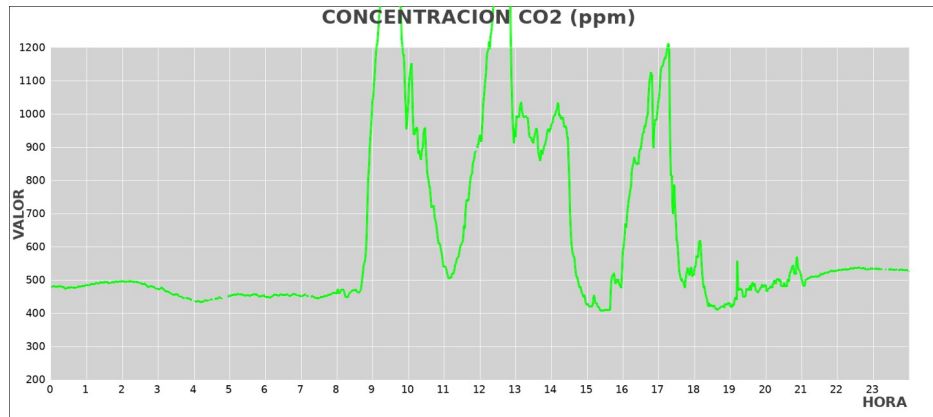
## RESULTADOS

Ao longo do curso 2020-21 construíronse e puxéronse en funcionamento 20 medidores, aos que se suman outros 4 no curso 2021-22 e 6 de reserva que se implantarán no 2023-24. Estes equipos xa teñen producido un importante volume de datos que comencamos a analizar para obter conclusións.

EXEMPLO 1: aula de Bacharelato do IES Escolas Proval en período de exames finais (maio 2021). En xeral os niveis de dióxido foron axeitados, excepto algúns días e horas concretos en que houbo niveis elevados de contaminación.

Caso peor: 3 de maio de 2021 con clase e exames de 11:30h a 12:50h e de 16:00h a 17:20h. A aula estivo probablemente sen ventilación durante varias horas, acadando valores máximos de 1680 ppm ás 9:34h, 1610 ppm ás 12:45h e 1213 ás 17:16h, cun promedio de 1005 ppm (8:45h-14:30h) pola mañá.

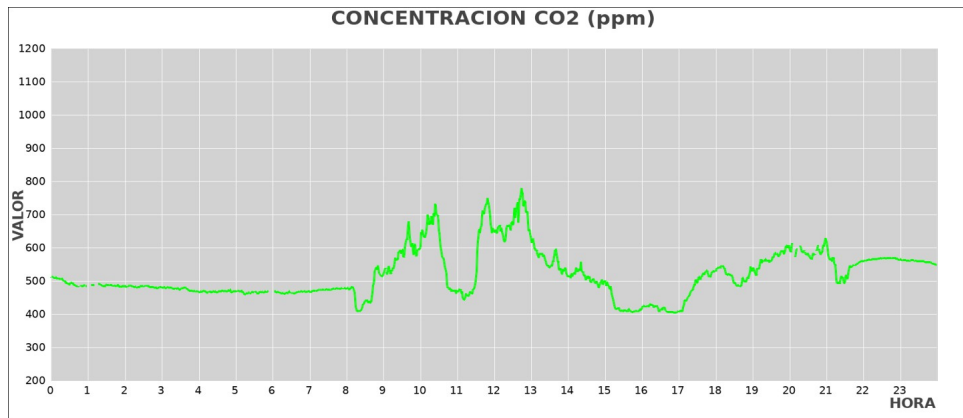
Estes datos superan os recomendados polo CSIC e os umbrais de deterioro cognitivo establecidos pola Universidade de Boulder, cun impacto no rendemento académico que habería que determinar.



## RESULTADOS

Caso mellor: 12 de maio de 2021, outra xornada de exames, entre 8:45h e 10:25h e entre 10:40h e 12:50h. Neste caso houbo ventilación na aula, acadando valores mínimos ás 11:30h. En ningún momento supera o valor máximo de 800 ppm, con picos de 733 ppm ás 10:24h ou 779 a las 12:44h. O valor promedio sitúase en 588 ppm entre as 8:45h e as 14:30h, claramente por debaixo do valor máximo recomendado.

Da gráfica pode deducirse que houbo un período de ventilación intensa ás 11:30h, momento en que as ventás e porta da aula estiveron probablemente abertas facilitando a renovación do aire.



## **PROPOSTAS DE MELLORA**

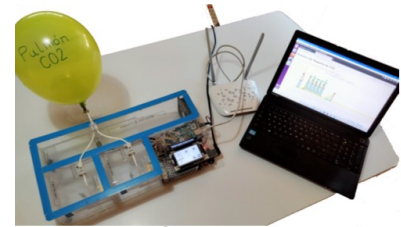
Durante o desenvolvemento do proxecto detectáronse problemas e xurdiron ideas de mellora:

- Limitación de memoria do microcontrolador Atmega328, que dificulta implementar no programa algunhas funcionalidades previstas. Proposta de cambio a outros micros como Atmega644 (64K), Atmega1284 (128K), Atmega2560 (Arduino Mega), Atmega4809 (48KB, usado en Arduino Nano Every), ou cambiar de arquitectura a ESP8266 ou STM32F103.
- Procesado automático de datos. Implementar scripts PHP no servidor para explorar os datos e detectar eventos de interés como:
  - 1) Detección de valores de dióxido de carbono que superen un umbral especificado ou unha porcentaxe de tempo diario.
  - 2) Detección de flancos de subida, baixada e picos.
  - 3) Promedio de dióxido de carbono en horario lectivo, por horas, diario ou semanal.
  - 4) Localización de valores mínimos diarios para avisar da necesidade de calibración.
- Automatización de procesos. Utilizar saídas dixitais do micro para control de extractores, apertura de ventás. Tamén envío de eventos a través da rede.
- Mellora do sensor luminoso. Presenta erros debidos á emisión do sensor NDIR e outras fontes, tamén se pode estudar a calibración aproximada para presentar os valores en lux, lumen, etc.

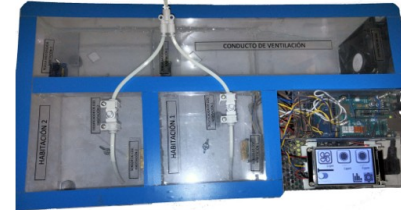
## OUTROS PROTOTIPOS E PROXECTOS

No marco deste proxecto fixéronse outros prototipos. Asemade noutros centros houbo iniciativas similares, algunhas das cales presentamos a continuación:

1) Maqueta didáctica de ventilación para prácticas de electrónica no IES Escolas Proval. Este sistema autónomo serve para analizar a eficiencia de sistemas de ventilación en recintos pechados, controlando parámetros como el fluxo de aire e o nivel de dióxido de carbono.



2) Medidor Qair. A empresa Hermes Smart Control fixo un produto comercial para o control de dióxido de carbono en hostelería, empresas ou centros oficiais. Este medidor presenta os valores nunha pantalla e proporciona un código de tres cores para verificar rápidamente o estado.



3) Colexio Apóstol Santiago (Vigo). Construíron 100 medidores baseados en proxectos existentes, imprimindo as carcasas para aforrar custos. Estes medidores son autónomos e non almacenan información.

4) IES Juan de Lanuza (Zaragoza, España). Sistema de medidores conectados a un servidor local SQL con placa ESP8266 NodeMCU e sensor Winsen MH-Z19C. Montado en placa de prototipos.

5) Carbosense Project. Este proxecto suízo ten unha rede de 300 medidores con sensores Senseair LP8 conectados mediante LoRaWAN. Inclúe medidores de referencia con espectrómetros de alta precisión e outros medidores con sensores estabilizados.

## **CONCLUSIÓNS**

Presentamos un proxecto cooperativo realizado polos institutos Escolas Proval e Val Miñor e a empresa Hermes Smart Control.

O proxecto, que ten como obxectivo o desenvolvemento de prototipos de medidores ambientais con sensores de dióxido de carbono, temperatura, humidade e luz entre outros, obtivo un dos Premios á Innovación Tecnolóxica e Científica outorgado pola Consellería de Educación.

O desenvolvemento dos prototipos acelerouse notablemente grazas ao aproveitamento de experiencias previas. Os medidores están conectados á rede educativa e envían información de forma continua a un servidor onde queda almacenada e pode consultarse libremente.

Fixéronse programas a medida en lenguaje C y PHP para o control dos medidores e tratamento de datos no servidor. Actualmente están en funcionamento un total de 24 medidores en catro centros educativos da zona do Val Miñor, inda que a rede podería extenderse fácilmente a moitas outras ubicacións.

O sistema xa está facilitando valiosa información sobre a ventilación dos espazos que servirá para mellorar o benestar e rendimento académico do alumnado.

A empresa Hermes Smart Control tamén ten creado produtos comerciais no marco do proxecto. O alumnado dos centros colaborou nas actividades, explorando as súas capacidades e contribuíndo ao fomento de vocacións STEM.

Para o futuro prantexamos diversas melloras e novos usos como o control automático da ventilación ou a mellora da eficiencia enerxética nos centros.

