

# Maqueta didáctica para la optimización de la ventilación en estancias con presencia de CO<sub>2</sub>

José Luis Rodríguez-Fernández  
Dep. Electrónica  
IES Escolas Proval  
Nigrán, España  
[chechu@edu.xunta.gal](mailto:chechu@edu.xunta.gal)

Javier Diz-Bugarín  
Dep. Electrónica  
IES Escolas Proval  
Nigrán, España  
[javier.diz@edu.xunta.gal](mailto:javier.diz@edu.xunta.gal)

Montserrat Rodríguez-Paz  
Dep. Xeografía e Historia  
IES Auga da Laxe  
Gondomar, España  
[montserpaz@edu.xunta.gal](mailto:montserpaz@edu.xunta.gal)

**Abstract—** Este proyecto surge de la necesidad de contribuir a la mejora de la ventilación en edificios con múltiples estancias. La pandemia por COVID-19 obliga a buscar alternativas a la ventilación natural para el ahorro de energía además de crear espacios de trabajo más confortables sin renunciar a la salud de los usuarios. La maqueta presenta un modelo de ventilación por extracción. Optimiza el caudal en función de la calidad del aire. Este trabajo realizado en el IES Escolas Proval se enmarca en un Proyecto de Innovación premiado en el presente curso 2020-21 con participación del IES Val Miñor y la empresa Hermes Smart Control.

**Keywords—** Ventilation, Carbon dioxide, Educational model.

## I. MOTIVACIÓN PARA EL DESARROLLO DE LA MAQUETA

En el momento que se declaró la pandemia por COVID-19 se despertó el interés por aspectos relacionados con la calidad del aire en espacios cerrados. Enseguida surgieron estudios e ideas ingeniosas para contribuir a alcanzar hábitáculos más saludables. En la gran mayoría de los casos se ha adoptado como solución de ventilación la apertura de puertas y ventanas durante el tiempo de utilización de estos recintos para facilitar la ventilación natural. Las propias administraciones autonómicas a través de sus departamentos de salud pública han emitido órdenes dando instrucciones a tal efecto [1,2]. Esto ha hecho que la lucha contra el virus haya empeorado las condiciones en las que se desenvuelve el trabajo en estos recintos. A partir de este momento hay que convivir con ruidos molestos, empeoramiento de la temperatura de confort, corrientes de aire que provocan cierres bruscos de ventanas y puertas, ...

Muchas han sido las noticias [3,4] que han informado sobre las recomendaciones de las Administraciones y de las iniciativas privadas para conseguir un aire de calidad que puedan respirar los alumnos en las aulas. Junto a la ventilación “cruzada” de puertas y ventanas, se han sumado otras soluciones para vigilar la calidad ambiental como el uso de medidores de CO<sub>2</sub> o filtros HEPA, así como generadores de ozono o luz ultravioleta que elimine el virus en suspensión o que se haya depositado sobre las superficies.

Por otro lado, el Departamento de Electrónica del IES Escolas Proval colabora con empresas próximas al centro para que sus alumnos puedan realizar prácticas de formación. Durante la pandemia un alumno del Ciclo Superior de Mantenimiento Electrónico desarrolló durante sus prácticas un generador de ozono (O<sub>3</sub>) en colaboración con la empresa Hermes Smart Control que fue presentado y comercializado durante diciembre del año 2020. También, con esta misma empresa, otro alumno, como trabajo de proyecto de final de

ciclo desarrolló un medidor comercial de dióxido de carbono que fue presentado en junio de 2021 [5,6].

Fruto de esta situación, iniciado el curso 2020-21 se constituyó un grupo de trabajo de varios profesores de diferentes disciplinas. Con esta maqueta se presenta un modelo de ventilación que pretende medir y controlar las variables de un sistema de ventilación forzada en el que se optimice el caudal de renovación de aire en función de las estancias que contengan aire con mayor concentración de dióxido de carbono. Un objetivo que se ha conseguido es que la construcción de la maqueta sea económica y que pueda realizarse haciendo uso de software libre que evite tener que pagar licencias.

Poco a poco fueron surgiendo ideas y se realizaron pequeñas pruebas con diferentes sensores y recintos de prueba como botellas de plástico. Esto permitió familiarizarse con estos dispositivos y enseguida se ideó un boceto de prototipo que luego se podría utilizar en los talleres de Electrónica. Se pensó en un sistema que permitiera aplicar cierto grado de automatización sobre un sistema de ventilación por extracción de aire donde existiesen medidores de CO<sub>2</sub> de cierta fiabilidad que sirvan como medida para actuar sobre un extractor. Además, debería disponer de un interfaz de usuario, en este caso, basado en una pantalla táctil. También debería integrar un sistema de explotación de los datos del sistema que permita estudiar el comportamiento de la ventilación.

Con esta maqueta educativa se podrán realizar diferentes actividades de formación en los ciclos de Electrónica. Los alumnos podrán aprender a medir e interpretar los valores de los sensores de CO<sub>2</sub> de diferente tipo de tecnología. También serán capaces de controlar el accionamiento y la velocidad de ventiladores. Además, desarrollarán interfaces para pantallas táctiles que gestione la lectura de las variables del sistema, los objetos gráficos que controlen manualmente las rejillas de ventilación y el ventilador, además de poder graficar en tiempo real la evolución de las concentraciones de dióxido de carbono, la velocidad del ventilador y el estado de las rejillas. Por último, tendrán que instalar y configurar un servidor LAMP que permitirá la explotación del histórico de datos almacenados.

Por otro lado, desde el instituto se solicitó un proyecto de innovación a la Consellería de Educación de la Xunta de Galicia que fue premiado durante el curso 2020-21. El proyecto se denomina “Monitorización de parámetros físicos para la mejora de la calidad ambiental en entornos educativos”. En este proyecto se han desarrollado diversos trabajos en los que han colaborado varios centros educativos de la zona y alumnos de diferentes niveles educativos. El socio del ámbito de la industria ha sido la ya comentada empresa Hermes Smart Control con la que se han compartido

experiencias tecnológicas a través de un convenio de colaboración donde un alumno ha estado realizando las prácticas de empresa desarrollando un prototipo de medidor de dióxido de carbono que han presentado a los medios en junio de 2021 con el nombre de Qair [7]. Esta maqueta se enmarca pues como uno de varios trabajos dentro de este proyecto de innovación.

## II. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA MAQUETA

Como se ha comentado anteriormente, esta maqueta educativa pretende servir de ejemplo para la optimización de la ventilación en edificios de múltiples estancias donde la concentración de dióxido de carbono es irregular en cada una de ellas. Se busca poder gestionar un sistema de ventilación para dos habitáculos. Se controlará la apertura de dos rejillas controladas mediante servomotor y la velocidad de un extractor de aire. El control de velocidad facilitará modular el caudal de aire desalojado y por tanto el tiempo en que se ventila cada habitación. En la Fig. 1 se muestran dos instantáneas del acabado final de la maqueta. Se puede apreciar la conexión al servidor instalado en una máquina virtual corriendo en un portátil. La conexión local se realiza a través de un router Wifi.



Fig. 1. Aspecto de la maqueta

El aire circula por un conducto de ventilación gracias al accionamiento de un ventilador que permite extraer la mezcla de CO<sub>2</sub> de cada uno de los huecos mediante el control servomotorizado de las rejillas de ventilación. El uso de este tipo de rejillas optimiza el caudal que se extrae de cada estancia y esto permite conducir el caudal por aquellas estancias que necesitan ser ventiladas con más urgencia, manteniendo la rejilla cerrada si la concentración de dióxido de carbono es baja. Las ventanas seccionables permiten aumentar o disminuir la superficie por la que entrará el aire. De esta manera, mediante la regulación de velocidad del ventilador y la sección de la ventana conseguimos controlar el caudal de aire y por tanto el tiempo de ventilación.

Por otro lado, disponemos de un pulmón de CO<sub>2</sub> implementado con un globo que hemos llenado de aire y al que le hemos acoplado dos válvulas neumáticas con las que suministramos más o menos cantidad de dióxido de carbono. Un globo común como el utilizado en celebraciones puede almacenar alrededor de 1,5 litros de aire con contenido de dióxido de carbono. El contenido se mantiene a una presión

similar a la atmosférica y se vaciará gracias a la fuerza elástica de la membrana del globo [8]. En las pruebas el contenido del globo puede durar unos 50 minutos, tiempo suficiente para poder realizar entre cinco y diez ciclos de regulación durante una sesión normal de clase.

El tamaño de cada uno de los habitáculos es similar y representan un cubo de unos 15 cm de lado (algo más de 3 litros de volumen). Hay que indicar aquí que antes de dar con esta solución se había pensado en utilizar otros dispensadores. Una de las que se había barajado era utilizar botes de CO<sub>2</sub> a presión como los que utilizan los ciclistas para inflar las ruedas. También se pensó en bombonas de dióxido de carbono como las que utilizan en la hostelería para bebidas carbonatadas como la cerveza. Estas soluciones requerían el uso de válvulas reductoras de presión cuyo coste era elevado. Además, requería de un sistema de instalación fiable que evitase situaciones de peligro durante su uso en el taller. Otra posible solución surgió de la posibilidad de generar dióxido de carbono mediante una reacción química entre ácido acético y bicarbonato sódico. Esta manera de generar CO<sub>2</sub> originaba problemas para capturarlo en un recipiente a presión y en algunas pruebas no se estaba seguro de la cantidad de dióxido generado. Esto hizo que el sistema de dispensación de dióxido de carbono se realizara a través del globo que aportaba claras ventajas por su facilidad de uso, seguridad y disponibilidad.

La cantidad de dióxido de carbono presente en el aire del globo se introduce en las estancias a través de un regulador neumático que estrangula el conducto por el que circula el gas hacia los habitáculos. El regulador tiene un actuador multivuelta lo que permite regular la velocidad de crecimiento de la concentración en cada estancia de forma precisa. En la Fig. 2 se aprecian las válvulas neumáticas que dejan pasar más o menos cantidad del aire contenido en el globo. También podemos observar la entrada de aire hacia las estancias a través de dos ventanas de agujeros que se seccionan mediante una ventana deslizante y controlan la superficie de aireación desde el exterior.

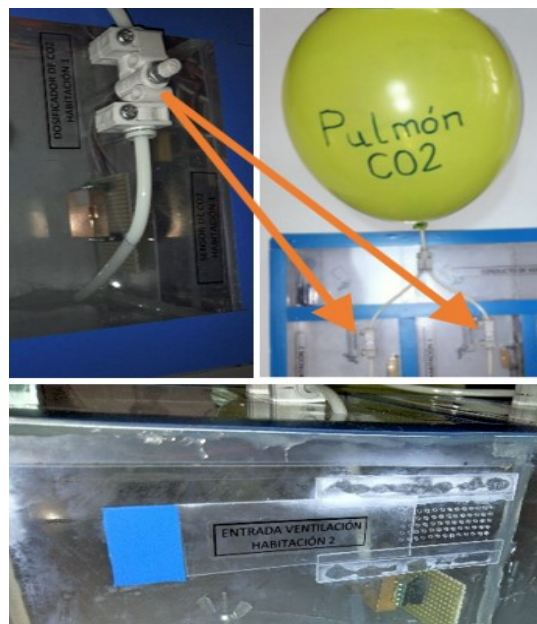


Fig. 2. Control mecánico de la concentración de CO<sub>2</sub>

Otra característica de la maqueta es que se puede extraer más o menos cantidad de aire controlando la velocidad del ventilador. Si esto se combina con una dispensación de CO<sub>2</sub> controlada y una ventana de acceso de aire exterior seccionable, esto permite crear varios escenarios donde podamos observar diferentes situaciones de ventilación:

- Introducir dióxido de carbono en una estancia y comprobar que su rejilla se acciona y el ventilador comienza a funcionar una vez se alcanza un valor determinado de concentración, por ejemplo, 800ppm. Esta misma situación también se podría comprobar con la otra estancia.
- Introducir dióxido de carbono a las dos habitaciones y observar cómo actúa cada rejilla en el tiempo.
- Se pueden aplicar diferentes algoritmos de regulación de la velocidad del ventilador. Por ejemplo, que el ventilador arranque a máxima velocidad si alguna estancia supera el umbral de concentración. O que actúe con una velocidad si solo existe un exceso de dióxido de carbono en una estancia y que aumente a la velocidad máxima si se supera la concentración en ambas estancias. Otro tipo de regulación podría hacer que la velocidad vaya en aumento, esto es, que la velocidad aumente de manera proporcional a la concentración de ambas estancias. Otra regulación interesante sería aplicar un regulador PID, de tal manera que la velocidad no atienda solo al valor absoluto de la concentración sino también a su velocidad de crecimiento. En definitiva, podríamos observar la evolución de la velocidad de diferentes maneras y comparar este valor con la variación de concentración de CO<sub>2</sub>.

En un principio, en el momento que se estaba planteando la solución constructiva de la maqueta, se pensaba que sería muy importante la estanqueidad de la tapa superior de la maqueta. Después de las primeras pruebas se observó que el comportamiento del dióxido de carbono hacía que este se acumulase en el fondo de los habitáculos. Por este motivo se decidió que los sensores de CO<sub>2</sub> quedasen por debajo del límite de las ventanas de ventilación para que la medida de concentración no se viese alterada por posibles corrientes de aire que se produjesen a la altura de la ventilación. En la Fig. 3 se indica la diferencia de altura entre la ventana de aireación y la posición del sensor de CO<sub>2</sub>.

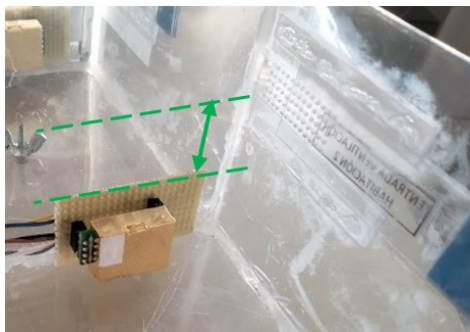


Fig. 3. Diferencia de altura entre el sensor de CO<sub>2</sub> y la ventana de ventilación

También era un motivo de preocupación la estanqueidad de las rejillas de ventilación. Finalmente, dado que las rejillas se encuentran por encima de la ventana de ventilación y por el mismo motivo que se explicaba con el ajuste de la tapa, se observó que el sistema de extracción funcionaba correctamente. Esto se reflejó en las primeras pruebas donde se observó que cuando una rejilla permanece cerrada, el aire circula de forma masiva por la otra estancia donde su rejilla se encuentra abierta.

La maqueta está realizada en policarbonato de 1mm. Este material se puede trabajar con facilidad ya que al ser rayado por una herramienta cortante parte con facilidad. Por otro lado, también es sencillo doblarlo aplicando calor. En este último caso se ha de tener cuidado con proteger las partes que no han de recibir calor con madera u otro aislante térmico. En

la Fig. 4 se puede apreciar una envoltura realizada con policarbonato para proteger la electrónica de la maqueta didáctica.

Otra herramienta que ha sido útil para el ensamblado de las diferentes partes, fue la pistola de silicona. Con esta herramienta se ha conseguido pegar las diferentes láminas de policarbonato y se observó que no había fugas de aire, esto se comprueba observando que la concentración de CO<sub>2</sub> se mantiene estable hasta que no arranca la ventilación. Lo cierto es que la estética de la unión no refleja un buen acabado, pero si se consiguen buenos resultados de estanqueidad. De igual forma, se ha comprobado que el calor del pegamento no supone un problema para la deformación que pudiera sufrir el policarbonato. Se recomienda que la potencia de la herramienta no sea elevada. Además, se consigue un tiempo de enfriado más corto. Por el contrario, otros tipos de pegamentos tienen el problema de que al curar disminuyen su volumen y esto hace que se produzcan pequeños huecos por donde se puede escapar el aire. Esto es especialmente problemático cuando se trata de las uniones en la base de la maqueta. Algunos pegamentos basados en cianocrilato deterioran la superficie del plástico, reflejándose daños visibles con respecto a las superficies adyacentes.



Fig. 4. Herramientas utilizadas en el ensamblado de las partes

Con las pruebas preliminares se desarrolló un boceto 3D para estudiar la mejor disposición de los elementos. Para el desarrollo del boceto se utilizó freeCAD, herramienta de diseño 3D de software libre. En la fig. 5 se aprecia el modelo realizado con piezas obtenidas en servidores donde los diseñadores las comparten para que los usuarios lo puedan descargar de forma libre.

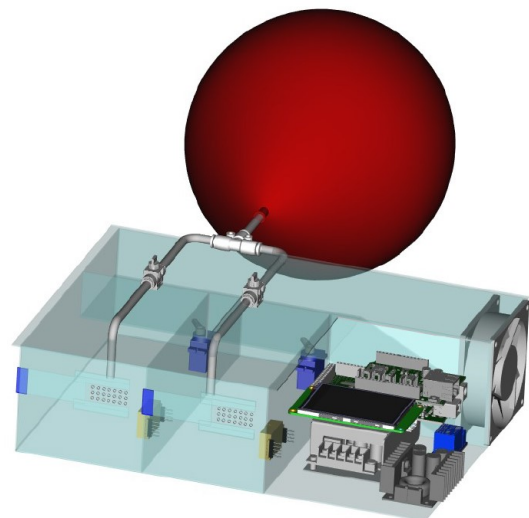


Fig. 5. Modelo 3D de la maqueta

### III. CARACTERÍSTICAS DE LA ELECTRÓNICA DE LA MAQUETA

La maqueta dispone de un controlador de la familia Arduino que se conecta con varios periféricos. En el diagrama de bloques de la fig.6 se puede observar la conexión entre las diferentes partes.

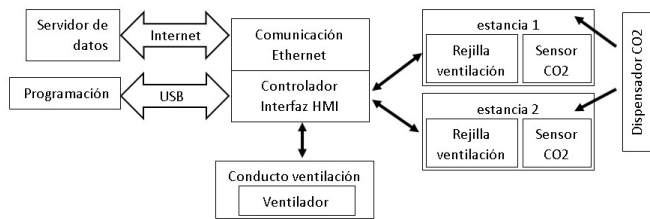


Fig. 6. Diagrama de bloques de la electrónica

El equipo de control escogido es un Arduino Mega 2560 [9]. Dispone de suficiente memoria para manejar gran cantidad de datos. Permite también probar múltiples escenarios de hardware. Esto facilita la escalabilidad del prototipo.

Para poder controlar localmente la maqueta y poder ver los gráficos se utilizará una pantalla táctil. En este caso se utilizará el modelo Enhanced de 3,2 pulgadas de Nextion [10]. Esta pantalla permite refrescar con eficiencia la representación simultánea de hasta cuatro variables. Además, incorpora un reloj en tiempo real (RTC) que asegura el tiempo mediante una pila de botón. Esta característica permite implementar un eje con el que detallar en la gráfica la indicación temporal del RTC.

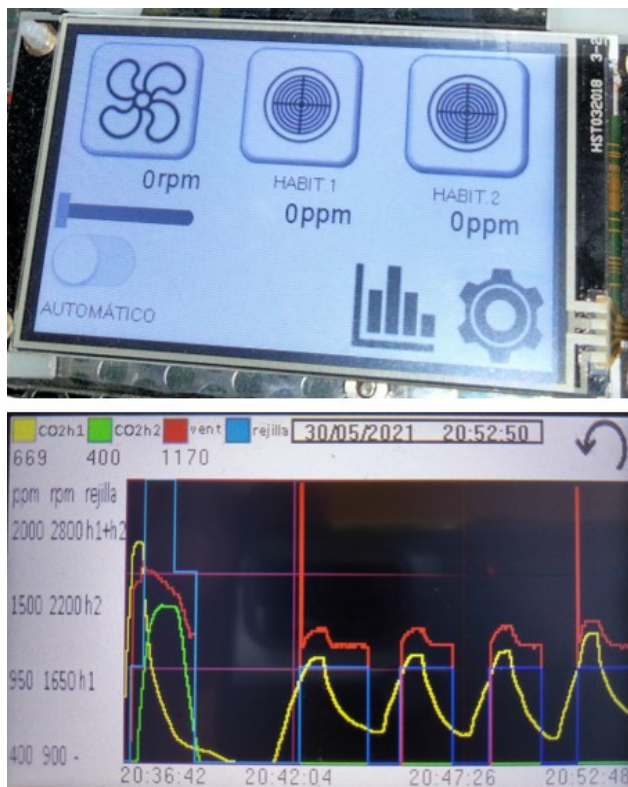


Fig. 7. Detalle del interfaz de usuario y gráfico de datos en tiempo real

En las instantáneas de la fig.7 se observan dos pantallas de la interfaz de usuario. La primera corresponde a la página principal donde podemos seleccionar si se quiere que el sistema sea operado manualmente mediante los botones y el deslizador gráficos o si se desea en cambio que sea el controlador quien gestione la ventilación.

La maqueta dispondrá de conexión a la red local para poder almacenar los datos en un servidor Apache-MySQL que permite visualizar en una gráfica las concentraciones de

CO<sub>2</sub>, la velocidad del motor y el estado de las rejillas. Para esto se utilizará la versión 2 de la tarjeta Ethernet Shield [11] que se conectará de manera sencilla sobre el controlador Arduino Mega. Esto va a permitir comunicar al controlador con el servidor que se encontrará dentro de la misma red. Este accesorio se basa en el chip W5500 de Wiznet. Con esta tarjeta podremos implementar diferentes escenarios de comunicación haciendo que Arduino se pueda comportar como cliente o servidor. Como servidor permitiría un máximo de 8 conexiones simultáneas de clientes. Dependiendo del número y el tipo de consultas y de la cadencia con que estas se realicen, hace que el uso como servidor esté bastante limitado. Además, la capacidad de Arduino para almacenar datos es muy escasa. Una alternativa a la escasez de la memoria de datos es el uso de la tarjeta SD. En las pruebas realizadas se han encontrado dificultades para el tratamiento eficaz del filtrado de las consultas de selección utilizando este medio de almacenamiento. Esto precipitó que la solución del tratamiento de datos se realizara a través de un servidor LAMP, en el que la información de los sensores se almacena en una base de datos MySQL donde es más sencillo y eficiente la ejecución de consultas SQL.

Los sensores de CO<sub>2</sub> son de tipo NDIR (detección de la presencia del gas en el espectro del infrarrojo) con un rango de medición entre 400 y 2000ppm. El modelo es el MHZ19C de Winsen [12]. Estos sensores permiten la lectura mediante comunicación serie y disponen de un pin de calibración. Son muy sensibles en cuanto a la tensión alimentación. La variación no debe ser mayor de 0,1V entorno a la tensión de 5V. Para conseguir una alimentación estable de 5V con un error de una décima de voltio, se ha diseñado un alimentador mediante un regulador conmutado LM2575. Esto garantiza las especificaciones del sensor. A través de este regulador se alimentará también la pantalla ya que se ha comprobado que el regulador de la tarjeta de control de Arduino se calienta demasiado si la pantalla se alimenta a través de esta placa. Por otra parte, se ha construido otro regulador conmutado basado en la misma familia que alimentará Arduino con una tensión de 9V. La tensión de entrada de ambos reguladores se hace desde una fuente regulada de 12V. Esta última se trata de un regulador de continua que alimentará el ventilador que extraerá el aire de las estancias.

El extractor utilizado es un ventilador de 12V utilizado en la refrigeración por aire de los equipos informáticos. Es un motor que permite controlar y leer la velocidad. Se debe tener especial cuidado con la orientación para que realice correctamente la extracción de aire. Normalmente, en algún lugar del bastidor se indica la dirección de extracción de aire. Si no se localiza este indicativo, se puede adoptar como norma general el colocar la rejilla de protección hacia el exterior de la maqueta. Es importante que no se confunda la polaridad en la alimentación o sino el ventilador girará al contrario y no funcionará correctamente el control de velocidad. El ventilador dispone también de sensores de efecto hall que permiten leer el número de revoluciones y por tanto la velocidad. Para su activación utilizaremos un relé de 5V. En la fig. 8 se aprecian las señales para controlar (PWM) y leer (RPM) la velocidad del motor. Los colores de estos cables son estándar.

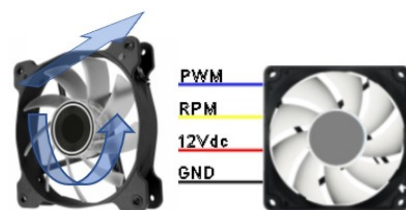


Fig. 8. Extractor. PWM: control de velocidad, RPM: lectura de velocidad

La velocidad del motor se controla por modulación de anchura de pulsos, PWM. La frecuencia de trabajo debe ser de 25KHz. Esto hará que no podamos utilizar las librerías estándar. Para controlar la velocidad deberemos programar el temporizador timer4 asociado con el puerto 8. La velocidad, RPM, se obtiene midiendo el tiempo entre cada dos pulsos que se generan cada vez que gira el ventilador. Este variable será la que se registre en la base de datos. El rango de funcionamiento de este tipo de ventiladores oscila entre unos 600 y 3800 rpm. Tal y como se apuntaba anteriormente, cuanto mayor sea su velocidad más rápido desalojará aire de los habitáculos de la maqueta.

En la Fig. 9 se dibujan las conexiones entre los elementos de la maqueta. Por el tamaño de la figura no se puede ver con detalle el número de cada puerto. Cada línea representa cada una de las conexiones eléctricas entre cada uno de los dispositivos que conforman la maqueta.

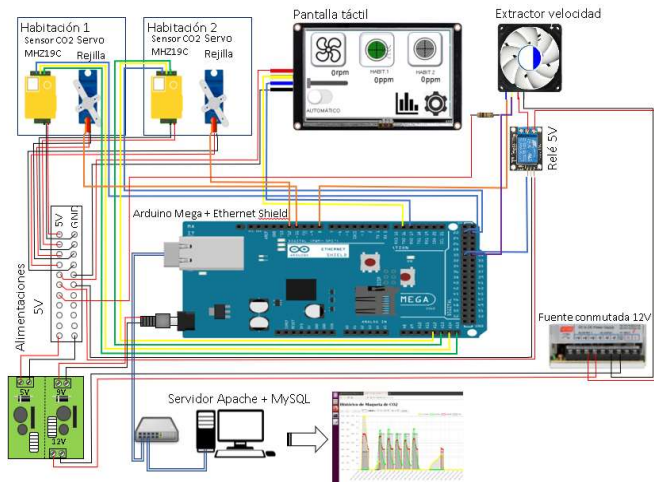


Fig. 9. Diagrama de conexiones de los elementos de la electrónica de la maqueta

Una característica interesante de la maqueta es que el ciclo de control es repetitivo. Si mantenemos la válvula de CO2 en la misma posición, la velocidad de concentración es siempre bastante similar. Esto permite probar varios algoritmos de control de velocidad: todo/nada, control proporcional, control PID, ...).

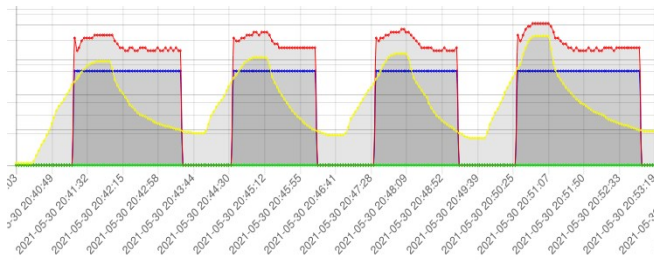


Fig. 10. Detalle de control proporcional de la concentración de CO2 (amarillo) y la velocidad del ventilador (rojo).

#### IV. EXPLOTACIÓN GRÁFICA UTILIZANDO EL SERVIDOR LAMP

El servidor de datos está basado en software libre. Se ha instalado sobre una versión de Ubuntu 16.04. El motivo de escoger esta versión del sistema operativo es por sus escasos requerimientos de hardware y que corre satisfactoriamente sobre una máquina virtual.

La instalación de este servidor se realiza básicamente mediante los paquetes del servidor web Apache, el gestor de bases de datos MySQL y el lenguaje PHP. Con PHP se puede programar la gráfica y el acceso a la base de datos. Para poder definir las tablas se utilizará el entorno web

phpMyAdmin. Esta herramienta permite diseñar bajo un entorno web de forma sencilla la base de datos MySQL.

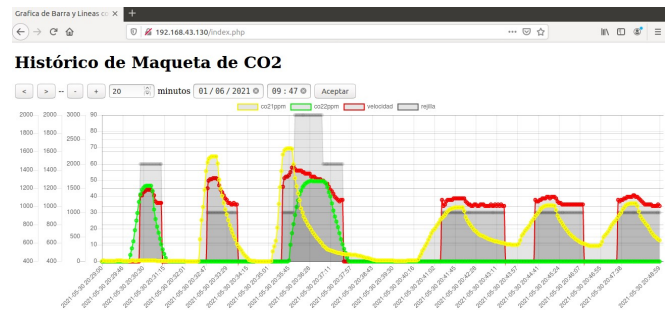


Fig. 11. Interfaz web sobre servidor LAMP para explotación gráfica de datos.

La Fig. 11 es el aspecto que tiene la página de la gráfica que permite consultar los datos mediante diferentes controles. Para programar la gráfica se ha utilizado el paquete Chart.js [13] que facilita su uso libre bajo licencia MIT. Esta librería realizada en JavaScript nos permite representar gráficos lineales con varias curvas y ejes independientes. Gracias a esto se pueden comparar variables y observar la influencia de unas sobre otras.

Para seleccionar la ventana de datos para representar se realiza una consulta de selección sobre la base de datos. Esta consulta se parametriza con el valor de la fecha y el ancho temporal seleccionado en el control zoom. Dentro del fichero principal del servidor web se configura esta consulta a partir de los datos de los controles del formulario. Luego se ejecutará la consulta haciendo uso de los métodos de la clase mysql.

En la Fig. 12 se pueden ver tres situaciones diferentes de la ventilación de los habitáculos de la maqueta. En el primer ciclo se aprecia como la concentración del segundo habitáculo va aumentando (curva verde) de tal manera que cuando el sensor detecta una concentración superior a 800ppm pone en funcionamiento el ventilador (curva roja). También se puede apreciar como se abre la rejilla (curva gris). Desde ese momento se observa el cambio de pendiente en la curva de concentración de CO2. Además, dado que se ha implementado un control proporcional, se ve como la forma de las dos curvas siguen la misma tendencia. En un momento determinado la concentración comienza a disminuir rápidamente, lo que hace que también lo haga la velocidad del ventilador. En un momento determinado, cuando la concentración baja por debajo de 600ppm, el ventilador se detiene.

En el segundo ciclo de regulación se puede apreciar la misma evolución de las variables, pero en este caso la ventilación corresponde al primer habitáculo. La curva amarilla representa la concentración en este recinto.

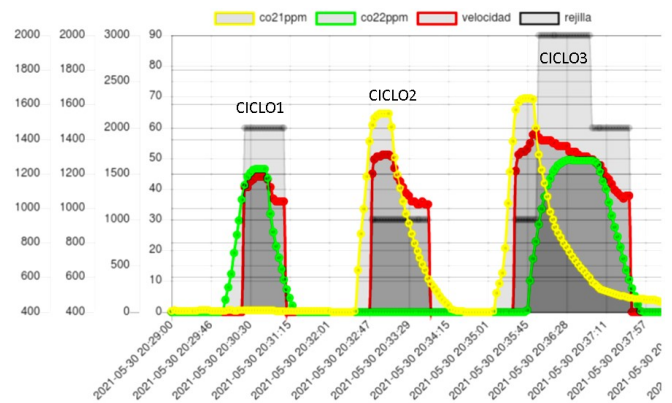


Fig. 12. Diferentes situaciones de ciclos de regulación

En el tercer ciclo el sistema de ventilación actúa sobre los dos recintos. Primero se incrementa la concentración del primer recinto. Al igual que ocurría antes se activa el ventilador y se abre la rejilla al superar los 800ppm. Mientras ventila el primer recinto aumenta la concentración del segundo recinto. Se observa que sin dejar de funcionar el ventilador y cuando la concentración supera la barrera de los 800ppm se abre la segunda rejilla (curva gris al máximo valor). Las dos rejillas se mantienen abiertas hasta que la concentración del primer recinto baja por debajo de 600ppm. Un tiempo después se puede apreciar como la concentración del segundo recinto disminuye su concentración y también se cierra su rejilla.

La velocidad del ventilador podría llegar hasta unas 3600rpm. A esta velocidad llegaría en el caso de que la concentración de CO2 suba hasta llegar a 2000ppm en cada recinto. El comportamiento de la regulación es configurable por programa.

Se ha subido un video a la plataforma Youtube donde se puede ver el funcionamiento de la maqueta.



Fig. 13. Video del funcionamiento de la maqueta [14].

## V. INTEGRACIÓN DE LA PERIFERIA DE ARDUINO

Uno de los aspectos más importantes en el desarrollo de la maqueta es resolver los conflictos que supone integrar en el mismo controlador la lectura de sensores, el control del ventilador y las comunicaciones con la pantalla y el servidor de datos. Durante este proceso se han tenido que realizar varios cambios en los puertos de conexión. Algunas librerías utilizan los mismos recursos hardware del microcontrolador. Esto ocurre con la librería Servo y la librería SoftwareSerial. Es importante no utilizar los puertos que utilicen los mismos temporizadores.

Por otro lado, para poder controlar la velocidad del motor debemos realizar un control por modulación de anchura de pulsos (PWM) a una frecuencia de 25KHZ. Para que este control no entrara en conflicto con el control de los servos y de la comunicación con los sensores, se programó el control utilizando el timer4 que va asociado al puerto 8.

La tarjeta Ethernet Shield utiliza los puertos 10 al 13. Esto implica que no debemos conectar ningún periférico en estos pines. La utilización de este recurso nos servirá para comunicar directamente Arduino a la base de datos MySQL. Para esto utilizaremos la librería MySQL Connector.

La pantalla táctil del fabricante Nextion tiene librerías propias para comunicarse con Arduino. Además, esta pantalla tiene un software que libera a Arduino de tareas como el tratamiento gráfico. El motivo de escoger esta pantalla es que permite graficar y utilizar un eje temporal ya que dispone de un reloj en tiempo real (RTC) que permite indicar el momento en que se van registrando los valores.

## VI. PROPUESTAS DIDÁCTICAS A DESARROLLAR CON LA MAQUETA

Dado que el trabajo se trata de una maqueta didáctica, uno de los objetivos es poder manipular las conexiones y requerir del alumnado que establezca el conexionado que se estime oportuno según la aplicación que se precise. La propuesta de actividades se debe graduar en dificultad de manera que se puedan acometer tareas cada vez más complejas. Algunas de las prácticas que se pueden realizar organizadas por nivel de dificultad serían las siguientes:

### A. Dificultad baja

1. Control del servomotor de la rejilla entre dos posiciones para que permita liberar el hueco de ventilación de cada estancia.
2. Lectura del sensor de CO2 utilizando un puerto serie. Realizar la lectura ejecutando previamente una calibración del sensor
3. Lectura de dos sensores de CO2 mediante el uso de puertos series virtuales y la librería SoftwareSerial.
4. Control de encendido y apagado del extractor de 12V mediante el uso de un relé.

### B. Dificultad media

1. Control de velocidad del extractor y lectura de revoluciones.
2. Programación de la pantalla táctil. Creación de páginas y navegación entre ellas.
3. Programación de la pantalla táctil. Visualizar el estado de una rejilla de ventilación y del estado del extractor.
4. Programación de la pantalla táctil. Activar el extractor y las rejillas mediante un botón.
5. Programación de la pantalla táctil. Leer la concentración de los sensores de CO2 y la velocidad del extractor. Control mediante caja de texto y barra deslizante la velocidad del extractor
6. Programación de la pantalla táctil. Visualizar en tiempo real una variable analógica. Visualizar cuatro variables en tiempo real.
7. Programación de la pantalla táctil. Establecer variables de configuración de la maqueta y sincronizar el estado de estas con el valor del controlador. Establecer el entorno de arranque del sistema de control.

### C. Dificultad alta

1. Diseño de un registrador de datos utilizando la tarjeta SD de la tarjeta Ethernet Shield. Explotación de los datos en la pantalla táctil a modo de histórico.
2. Instalación y configuración del servidor LAMP en Ubuntu16
3. Implementar una base de datos en MySQL con registro por tiempo que permita almacenar las variables de concentración de CO2, velocidad y estado de rejillas. Utilización del entorno phpMyAdmin.
4. Establecer comunicación con la base de datos y Arduino mediante la librería ConnectorMySQL. Comprobar que los datos se almacenan correctamente en el servidor y que la marca de tiempo coincide con la del sistema servidor Ubuntu16.

5. Programar en php el control y medición de variables de Arduino a través de la base de datos MySQL.
6. Programar en php la gráfica mediante el uso del paquete Chart.js. Establecer propiedades de los ejes y estudiar algunas configuraciones básicas. Establecer conexión con la base de datos MySQL y comprobar que se grafican algunos datos almacenados en la base de datos.
7. Establecer algunos controles para recorrer la gráfica. Control de zoom sobre la gráfica mediante la manipulación de sentencias SQL.

Durante el presente curso 2021-22 se ha trabajado con el alumnado en el taller utilizando la misma configuración hardware que la presentada en este artículo en la que han desarrollado muchas de las actividades prácticas enumeradas en los puntos anteriores. Para realizar estas prácticas los alumnos han tenido que montar una réplica del equipo de control con una pantalla táctil. Luego se ha establecido comunicación con un servidor LAMP implementado sobre una máquina virtual basada en Ubuntu 16.04 obteniendo gráficas similares a las expuestas en apartados anteriores.

## VII. MEJORAS FUTURAS

Este trabajo pretende ser la semilla de otras experiencias con las que continuar desarrollando prototipos o modelos de automatización de sistemas que permitan mejorar la calidad de aire en recintos cerrados. Algunas de estos trabajos podrían ser:

- Añadir accionamientos de construcción propia que ayude a mejorar la calidad del aire, tales como desinfección por luz ultravioleta o generación de ozono.
- Accionamientos para automatizar la apertura de puertas y ventanas si las condiciones climatológicas o acústicas son favorables. Los accionamientos serán compatibles con el uso manual de las mismas.
- Eliminar el cableado entre la unidad de control y los nodos utilizando conexión Wifi. Esto permitirá diseñar una arquitectura de instalación más sencilla en un recinto real.
- Abaratamiento del prototipo cambiando el formato de la tarjeta del microcontrolador y del chip de comunicaciones ethernet.

## VIII. CONCLUSIONES

El modelo didáctico presentado sirve como herramienta para el desarrollo de prácticas en el taller. Permite implementar aplicaciones prácticas basadas en microcontrolador y con un servidor de datos. Los sistemas que forman parte de la maqueta permiten probar de forma progresiva cada uno de ellos por separado para luego integrarlos consiguiendo un producto cada vez más complejo. Conseguir que los alumnos aprendan a construir un prototipo completo a partir de ejemplos más simples es una competencia profesional fundamental que sin duda les tocará defender durante el ejercicio de su profesión. En este sentido la maqueta permite ejercitar este tipo de competencias.

Todo el desarrollo se ha hecho persiguiendo que el coste del prototipo fuese lo más barato posible para que se pudiera reproducir fácilmente en cualquier centro educativo con escasos medios. Además, el uso de software libre contribuye a conseguir este objetivo.

El resultado de este trabajo es un prototipo inédito y los autores pretenden que despierte gran interés debido a la situación sanitaria actual.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Recomendaciones sobre la ventilación en centros educativos en el contexto de la COVID 19 [https://www.edu.xunta.gal/portal/sites/web/files/20201104\\_ventilacion\\_covid\\_final.pdf](https://www.edu.xunta.gal/portal/sites/web/files/20201104_ventilacion_covid_final.pdf)
- [2] Resolución conjunta , del 4 de noviembre de 2020, de las Consejerías de Cultura, de Educación y Universidad y Sanidad por las que se aprueban las “Recomendaciones sobre la ventilación en centros educativos en el contexto de la COVID-19” para centros educativos no universitarios en la Comunidad Autónoma de Galicia [https://www.edu.xunta.gal/portal/sites/web/files/resolucion\\_conxunta\\_ventilacion.pdf](https://www.edu.xunta.gal/portal/sites/web/files/resolucion_conxunta_ventilacion.pdf)
- [3] El Gobierno recomienda airear las aulas a pesar del frío o usar aparatos de ventilación contra la covid <https://elpais.com/ciencia/2020-10-21/el-gobierno-recomienda-airrear-las-aulas-a-pesar-del-frio-o-usar-aparatos-de-ventilacion-contr-la-covid.html>
- [4] Un colegio gallego reúne 5.000 euros en una colecta para comprar filtros HEPA contra el coronavirus [https://www.niusdiario.es/sociedad/sanidad/colegio-gallego-reune-5000-euros-comprar-filtros-hepa-purificadores-aire-contr-covid19\\_18\\_3026370139.html](https://www.niusdiario.es/sociedad/sanidad/colegio-gallego-reune-5000-euros-comprar-filtros-hepa-purificadores-aire-contr-covid19_18_3026370139.html)
- [5] KlinO3 <https://www.hermescontrol.com/klino3/>
- [6] Hermes, la empresa viguesa que fabrica tecnologías "sencillas y de fácil interpretación" <https://www.elespanol.com/treintayseis/articulos/economia/hermes-la-empresa-viguesa-que-fabrica-tecnologias-sencillas-y-de-facil-interpretacion>
- [7] Qair, así es el medidor de CO2 “made in Vigo” que emula a una vieira mientras monitoriza el aire <https://metropolitano.gal/extra/qair-asi-es-el-medidor-de-co2-made-in-vigo-que-emula-a-una-vieira-mientras-monitoriza-el-aire/>
- [8] PRESIÓN INTERIOR Y PRESIÓN EXTERIOR EN UN GLOBO. SUPERFICIAL <http://rsefalicante.umh.es/LaboratorioMateria/Globos/Globos.htm>
- [9] Arduino Mega 2560 Rev3 <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>
- [10] NX4024k032 <https://nextion.tech/datasheets/nx4024k032/>
- [11] Arduino Ethernet Shield 2 <https://store.arduino.cc/products/arduino-ethernet-shield-2>
- [12] Infrared CO2 sensor module [https://www.winsen-sensor.com/d/files/infrared-gas-sensor/mh-z19c-pins-type-co2-manual-ver1\\_0.pdf](https://www.winsen-sensor.com/d/files/infrared-gas-sensor/mh-z19c-pins-type-co2-manual-ver1_0.pdf)
- [13] Chart.js <https://www.chartjs.org/>
- [14] CO2 didactic model <https://www.youtube.com/watch?v=Xrd7KPNQEIQ>