

Estación meteorológica Arduino: un proyecto de radiocomunicaciones en Formación Profesional

Javier Diz-Bugarín
Dep. Electrónica
IES Escolas Proval
Nigrán, España
javier.diz@edu.xunta.gal

José L. Rodríguez-Fernández
Dep. Electrónica
IES Escolas Proval
Nigrán, España
chechu@edu.xunta.gal

Abstract—El proyecto presentado consiste en una aplicación de un módulo de radiocomunicaciones digitales desarrollado para prácticas y proyectos de formación profesional. El módulo se ha usado como transmisor y receptor de una estación meteorológica automática de diseño propio. Se ha mejorado el radioenlace mediante tecnología LoRa, implementado nuevos sensores digitales y cambiado a un microcontrolador programable en entorno Arduino. Los datos se almacenan en un servidor LAMP bajo MySQL. El sistema se ha integrado en un proyecto educativo a nivel autonómico, ha servido como base para proyectos didácticos de hardware y software y ya están previstas diferentes mejoras.

Keywords—Estación meteorológica, radiocomunicaciones, microcontroladores, formación profesional.

I. INTRODUCCIÓN

En este artículo se describe un proyecto de aplicación del módulo de radiocomunicaciones digitales desarrollado para prácticas y proyectos de formación profesional que fue presentado en la edición anterior del congreso TAEF [1]. Se ha actualizado la estación meteorológica del instituto Escolas Proval de Nigrán (Pontevedra), un proyecto de automatización iniciado hace 20 años que continúa una larga tradición de observación meteorológica en el centro que se remonta a un siglo atrás [2]. Para ello se ha utilizado el mismo tipo de módulo tanto para enviar los datos de sensores instalados en una garita meteorológica como para recibirlos y reenviarlos a un servidor LAMP donde se almacenan en bases de datos MySQL mediante consultas programadas en PHP, obteniendo bajos tiempos de respuesta y difusión en tiempo casi real. La tecnología LoRa del transceptor empleado permite aumentar la distancia de transmisión, pero también mejorar la fiabilidad del sistema y ubicar el receptor en casi cualquier punto del centro educativo.

El microcontrolador anterior se ha sustituido por un modelo compatible con el entorno Arduino, lo que permite el uso de numerosas bibliotecas ya existentes, reduce el tiempo de desarrollo y facilita futuras actualizaciones. También se han mejorado los sensores cambiando a nuevos modelos digitales, reemplazando a los iniciales que en algunos casos aún eran de tecnología analógica. Como aprovechamiento didáctico se han elaborado proyectos de hardware y software de lectura de sensores y transmisión de datos realizados por el alumnado de diferentes módulos del ciclo superior de formación profesional “Mantenimiento Electrónico”.

La nueva estación meteorológica forma parte del proyecto educativo “Meteoescolas” que estamos desarrollando durante el curso actual, y está en proceso de integración con el servicio meteorológico oficial de Galicia (Meteogalicia). Como mejoras del sistema estamos modificando el diseño para utilizar nuevos modelos de microcontroladores como el ESP32, con mayor capacidad de memoria y conectividad

Wi-Fi, manteniendo la compatibilidad con el entorno Arduino. Además, aprovechando la proximidad del centro educativo a la costa, tenemos previsto construir un prototipo de boya oceanográfica para medir nuevas variables como la temperatura del mar, altura de las olas y mareas.

II. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Los antecedentes de observación meteorológica del Val Miñor (Galicia) comienzan en 1917 en la escuela creada por la Unión Hispano-Americana Valle Miñor (UHAVM), una asociación de emigrantes gallegos en Argentina [2]. Los datos se recogían manualmente y enviaban por correo postal al Instituto Nacional de Meteorología (INM). Todavía se conservan ejemplos de las tarjetas usadas para el envío de datos, como se muestra en la Fig. 1.

Provincia de *Pontevedra* Mes de *Junio* de 1917
Estación *Valle Miñor* Observador *D. Celedonio del Río*
Hora de las mediciones *12 m.* Altura del pluviómetro sobre el suelo *1'26 m.*

Día	Altura m.m.	Forma-Hora-Viento	Día	Altura m.m.	Forma-Hora-Viento	Día	Altura m.m.	Forma-Hora-Viento
1		9. N.W.	11			21	19.8	9. N.W.
2	0.7		12			22	0.8	
3		9. N.W.	13			23	0.8	
4		9. N.W.	14			24		
5	0.8		15			25		
6			16			26		
7			17	1.8	N.S.E. - 4 T.m. - 0.8	27		9. N.W.
8			18	0.2	9. N.W. - N.S.	28	6.7	9. N.W.
9			19	0.4	9. N.W.	29	0.8	
10			20	1.5	9. N.W. - 0.8	30		
						31		
Suma	0.7		Suma	3.2		Suma	26.9	Suma mensual 58.1 m.m.

Número de días de lluvia *Prueba* Número de días de nieve *ninguna*
Altura mayor de lluvia recogida en 24 horas *1.9 m.* el día *21*

Fig. 1. Una de las tarjetas con datos meteorológicos (1917).

La escuela primitiva cerró en 1934. Muchos años más tarde, en 1980, el antiguo edificio recuperó su función educativa como un moderno instituto de educación secundaria, y el profesor de física D. Salvador Rodríguez Muñoz inició un nuevo proyecto meteorológico que también enviaba datos al INM [3]. Como el nuevo centro estaba dedicado principalmente a formación profesional de electrónica, el siguiente paso lógico era la automatización de las mediciones, un proyecto educativo que comenzó en 2005 y continúa en la actualidad.

El primer sistema era un diseño distribuido [4] formado por un módulo remoto situado en la garita meteorológica y un segundo módulo que recibía los datos mediante un enlace por radio y transfería la información a un servidor web [5]. Los datos se actualizaban cada minuto y eran inmediatamente accesibles a través de la página web mediante gráficas y tablas diarias. El módulo remoto estaba alimentado por dos pequeñas células fotovoltaicas que proporcionaban energía suficiente tanto en verano como en invierno. Este primer proyecto

obtuvo en 2007 un premio de innovación concedido por el Instituto Enerxético de Galicia (INEGA).

Los elementos de este primer proyecto de automatización (microcontrolador, sensores, módulo de radio) han funcionado de forma eficiente durante 20 años, pero se han quedado desfasados y consideramos necesario actualizarlos. Para el nuevo diseño se han considerado diferentes factores: la existencia de sensores digitales mejorados que ya usamos de forma habitual en nuestras actividades educativas, el amplio uso de Arduino para la enseñanza de la electrónica y programación, y la aparición de nuevos módulos de comunicaciones digitales, junto al desarrollo del Internet de las Cosas (IoT), que han simplificado la transmisión de información desde puntos de adquisición remotos, alcanzando distancias de decenas de kilómetros con las tecnologías más eficientes como LoRa.

III. NUEVO DISEÑO DE LA ESTACIÓN

El nuevo diseño de los módulos de transmisión y recepción está basado en el sistema descrito en [1] que se utiliza para uso docente desde hace varios cursos. Se ha creado un módulo ampliado en el que se han añadido los elementos necesarios para la conexión de los sensores típicos de una estación meteorológica (termómetro, higrómetro, barómetro, anemómetro, veleta, pluviómetro, piranómetro). Además se ha prestado especial atención al sistema de carga solar y el diseño del sistema de radiofrecuencia para conseguir las mejores prestaciones de todos los elementos. La Fig. 2 muestra el esquema de la nueva placa, con los reguladores de carga solar a la izquierda y los módulos de radio a la derecha. En los apartados siguientes se describe en detalle cada uno de los elementos del sistema.

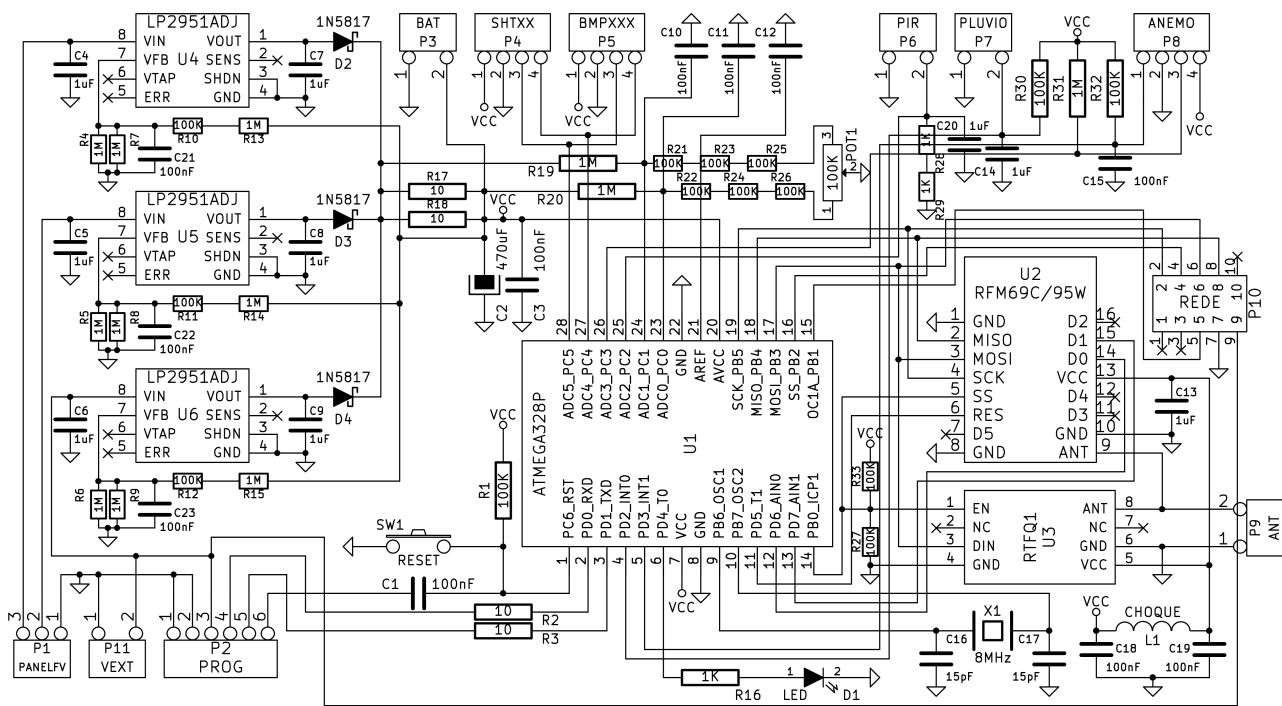


Fig. 2. Esquema electrónico de la placa principal de la nueva estación meteorológica.

A. Fuente de alimentación y cargador solar

El antiguo transmisor remoto de la estación meteorológica se alimentaba con energía solar y ha funcionado durante mucho tiempo prácticamente sin interrupciones. La fuente de alimentación estaba formada por dos celdas Ni-MH y un regulador elevador que generaba una tensión constante de 4,0 V. Este esquema no estaba suficientemente protegido contra sobrecarga de las baterías (frecuente en verano) y el uso del elevador generaba una pérdida constante de energía, por lo que se ha eliminado en el nuevo diseño. Actualmente pueden conseguirse en el mercado cargadores solares para baterías de distintos tipos, pero se ha optado por desarrollar nuestro propio cargador por motivos didácticos, para mejorar la fiabilidad y minimizar el consumo energético. Para ello, hemos incorporado reguladores de tensión separados que permiten dos posibles fuentes de alimentación separadas o simultáneas.

Si el transmisor está conectado a un ordenador mediante USB (o a una fuente de alimentación externa compatible de 5 V), un regulador reduce la tensión a un máximo de 4,0 V

para cumplir las especificaciones de las baterías, los módulos de radio y la mayoría de sensores digitales existentes en el mercado.

Si alguno de los paneles solares está produciendo energía su regulador asociado actúa como limitador de tensión y carga las baterías si es necesario, interrumpiendo el proceso de carga cuando se alcanza la tensión máxima. La presencia de dos paneles con su propio regulador evita fallos si uno de ellos está parcialmente sombreado o averiado. Esta solución presenta ventajas frente a conectar los paneles solares directamente en paralelo a un único regulador o añadir diodos que producen caídas de tensión adicionales.

Todos los circuitos reguladores son idénticos y están conectados a las baterías. Por lo tanto, en caso de fallo, cualquier regulador puede sustituirse simplemente cambiando las conexiones de entrada.

Se ha escogido el regulador de baja caída (LDO) LP2951 [6]. Este regulador es un modelo ajustable que tiene

muy bajo autoconsumo ($50\text{ }\mu\text{A}$) y caída de tensión (típicamente 350 mV). Tiene una tensión máxima de entrada de 30 V y una corriente de salida superior a 100 mA , suficiente para cargar las baterías y alimentar el sistema en cualquier circunstancia, adaptándose a una amplia variedad de células solares y fuentes de alimentación. La corriente de salida es relativamente baja, lo que evita la sobrecarga y calentamiento de la mayoría de los tipos de baterías como Níquel-Cadmio (Ni-Cd), Níquel-Hidruro Metálico (Ni-MH), Litio-Polímero (LiPo) u otras. Hemos preferido conectar 3 celdas Ni-MH en serie (tensión típica $3,6\text{ V}$) por su amplio rango de temperatura y presentar menos problemas en caso de sobrecarga que las baterías de litio.

Hemos preferido evitar el uso de reguladores conmutados para reducir el ruido durante la lectura de tensiones analógicas (tensión de la batería, sensores analógicos). Además, todos los componentes (microcontrolador, sensores, módulo de radio) admiten la conexión directa a la tensión de la batería. Esta solución evita el uso de reguladores elevadores conmutados u otros componentes con un consumo energético significativo, como el regulador LT1303 utilizado en el diseño anterior.

Las células solares empleadas tienen una tensión nominal de salida de 6 V y una intensidad de 150 mA . Para garantizar la recarga, su tensión debe ser superior a la de las baterías durante todo el año (teniendo en cuenta las caídas de tensión en los reguladores, diodos y otros componentes). El número de células solares podría incrementarse a 3 o 4 en el caso de un transmisor móvil para asegurar que siempre haya una de ellas generando energía, por ejemplo, si está montado en una boya para la medición de parámetros del agua de mar. Asimismo, para maximizar la producción de energía en invierno, las células solares se han montado en posición vertical, una solución que ha dado muy buenos resultados en el diseño anterior, evitando también la acumulación de agua o residuos.

El diseño propuesto para este cargador solar se ha probado con éxito y ha mantenido el transmisor continuamente en funcionamiento incluso durante un invierno riguroso como el actual (2025-26) con períodos muy largos de lluvia y mal tiempo, pero no se validará completamente hasta que haya estado en funcionamiento durante un año completo en todas las condiciones climáticas posibles.

B. Diseño de la nueva placa de circuito impreso

El antiguo circuito de la estación meteorológica utilizaba un módulo de radio RFSolutions RTFQ1-FSK que se ha quedado obsoleto y será reemplazado por un módulo RFM95W que puede usar indistintamente FSK o LoRa. Para mantener la compatibilidad con el sistema actual, hemos diseñado una placa de circuito impreso que puede montar cualquiera de los dos módulos. Se han realizado pruebas iniciales con el módulo antiguo, pero ya se ha reemplazado por el nuevo módulo que permite el uso de diferentes técnicas de modulación. Además, hemos diseñado una placa que puede utilizarse tanto para el transmisor como para el receptor, eliminando o incorporando los componentes necesarios.

El nuevo diseño conserva los elementos principales del módulo didáctico de radiocomunicaciones digitales (microcontrolador Atmega328P-PU y transceptor de radio RFM95W) y añade el cargador solar y los circuitos de interfaz para los sensores, así como las redes resistivas para medir el voltaje de la batería y la corriente de carga.

Los primeros prototipos de circuito impreso se han montado en el laboratorio de electrónica del instituto (Fig. 3). Se han revisado todos los elementos y corregido pequeños

errores de diseño. Posteriormente, los archivos Gerber se han enviado a un fabricante externo para la producción de las placas definitivas.

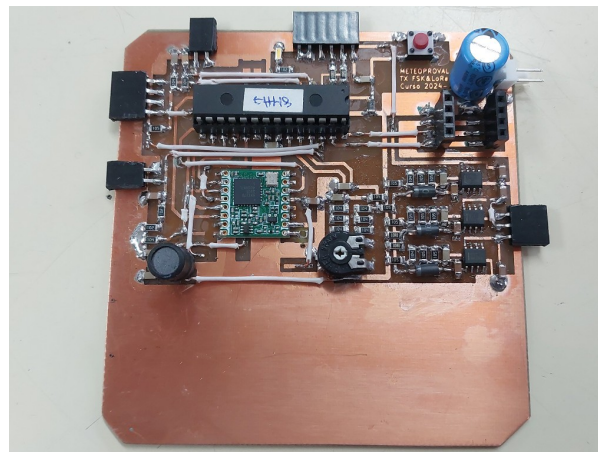


Fig. 3. Primer prototipo de transmisor/receptor montado en el instituto.

Actualmente están en funcionamiento los prototipos fabricados en el instituto. Para el próximo curso, cuando se haya superado un periodo de prueba de varios meses que atravesase todas las etapas climáticas, se procederá a una nueva revisión del diseño y al montaje de las placas definitivas.

C. Pruebas LoRa

Durante el desarrollo del módulo de radiocomunicaciones anterior ya se había realizado un conjunto de pruebas amplio para verificar sus prestaciones, principalmente en modo FSK. Con estas nuevas placas se ha estudiado el funcionamiento en modo LoRa, buscando mejorar la fiabilidad en el envío de datos al servidor. Llevamos a cabo dos series de pruebas: la primera se centró en el enlace a corta distancia entre la estación meteorológica y el receptor ubicado en el edificio del instituto, y la segunda para intentar recibir datos de sensores situados a grandes distancias.

Para las pruebas a corta distancia realizamos transmisiones tanto en modo FSK como LoRa. La recepción fue buena en ambos casos, pero LoRa permitió la recepción de datos en recintos cerrados a varios cientos de metros de distancia, incluso con factores de dispersión bajos. Para esta prueba, utilizamos un factor de dispersión intermedio ($SF = 8$) y un ancho de banda bajo ($BW = 62,5\text{ kHz}$), resultando un tiempo de transmisión típico de $0,57\text{ s}$. Este tiempo cumple con el requisito de ciclo de trabajo del 1% para sistemas LoRa si planeamos enviar datos cada minuto ($0,57\text{ s}/60\text{ s} = 0,95\%$). Los resultados indican que el receptor puede colocarse en el interior de las aulas del instituto, protegido de la lluvia, viento u oscilaciones grandes de temperatura.

Para las pruebas a gran distancia, utilizamos LoRa con el máximo factor de dispersión ($SF = 12$) y el mínimo ancho de banda posible ($BW = 62,5\text{ kHz}$). Con estos valores, la cantidad de datos debe ser muy pequeña (10 bytes o menos) para evitar la pérdida de sincronización entre el transmisor y el receptor, ya que el tiempo de transmisión puede superar fácilmente los 4 segundos. Un ancho de banda inferior a $62,5\text{ kHz}$ sería deseable, pero no se recomienda debido al error de frecuencia causado por el oscilador de cristal del módulo. Este problema podría solucionarse utilizando un oscilador de cristal con compensación de temperatura (TCXO). Las pruebas demostraron que era posible recibir datos desde un punto situado en el puerto de Panxón, a más de 5 km del

instituto. La Fig. 4 muestra el perfil de elevación entre ambos puntos, donde se puede apreciar la falta de visión directa (LOS). Este resultado preliminar abre la posibilidad a instalar un transmisor en una boya fondeada en este punto para recibir nuevos datos, como la temperatura del aire o agua de mar, el nivel del mar, altura de ola u otros.



Fig. 4. Perfil de elevación y distancia alcanzada en modo LoRa.

D. Comparación con el sistema anterior

El sistema anterior, basado en un microcontrolador 89S4051 de Atmel, resultaba difícil de mantener en funcionamiento porque en nuestra práctica docente ya no utilizamos este circuito ni su entorno de desarrollo. El cambio a Arduino ha facilitado enormemente esta tarea resultando por sí solo un motivo suficiente para la actualización.

El nuevo microcontrolador Atmega 328P-PU (del mismo fabricante), además de compatible con Arduino, es de arquitectura RISC por lo que su velocidad de ejecución de instrucciones es 12 veces mayor en la mayoría de los casos, lo que permite reducir la frecuencia de reloj a valores de 1MHz o inferiores sin pérdida de eficiencia y mejorando el consumo. Además, el tamaño de memoria y el conjunto de periféricos integrados son superiores, como el convertidor analógico digital que se usa para algunos de los sensores.

Por otra parte, el transceptor RFM95W supera claramente al módulo RTFQ1 anterior no sólo por su versatilidad (modos FSK o LoRa, potencia de salida y velocidad de datos programable), mejora de alcance e incluso menor consumo. Hemos realizado diferentes medidas en uso real de la estación meteorológica, que transmite una trama de datos por minuto:

1) módulo anterior RTFQ1. El tiempo de transmisión de una trama de la estación meteorológica es 800 ms, con una velocidad de 4,8 Kb/s, intensidad 10 mA y potencia 5 dBm (4 mW). El consumo diario resulta 3,2 mAh. El alcance típico de este módulo se sitúa en el rango de 50 m o menos para una recepción estable.

2) módulo RFM95W en modo FSK. El tiempo de transmisión en este caso es 98 ms para una velocidad de 9,6 Kb/s, intensidad 130mA y potencia 20 dBm (100 mW). En este caso el consumo diario resulta 3,92 mAh. Con este módulo hemos conseguido recibir datos hasta 1 km en campo abierto.

3) módulo RFM95W en modo LoRa (SF=8, BW=62,5 kHz). Resulta un tiempo de transmisión de 576 ms y un consumo diario de 29,95 mAh. En este caso la distancia de recepción supera los 4 km en campo abierto.

El resultado más evidente de estas pruebas es que se se aumenta de forma muy notable la distancia alcanzada con igual consumo. Con el nuevo módulo de radio también podría reducirse el tiempo de transmisión (y con ello el consumo diario) manteniendo la distancia alcanzada. Al cambiar a modo LoRa, el tiempo de transmisión aumenta de forma importante pero también lo hace la distancia alcanzada, y en la misma medida la fiabilidad del enlace en distancias más cortas por lo que se ha optado por este método. El módulo anterior no permite ninguna de estas mejoras y tampoco puede aumentarse la velocidad a 9,6 Kb/s porque la comunicación ya no es fiable.

El sistema de alimentación se ha mejorado aumentando la potencia de los paneles solares (2 células de 6 V, 150 mA, 900 mW en el nuevo sistema frente a 2 células de 4,4 V, 88 mA, 310 mW en el anterior). Combinado con una nueva batería de 3,6 V, 3300 mAh se obtiene una autonomía de varios meses en condiciones de mínima radiación solar.

Por lo que respecta al mantenimiento, el nuevo sistema resulta más fácil de mantener y actualizar por el uso del entorno Arduino y por el cambio a modelos actuales de circuitos y sensores ampliamente disponibles en el mercado. También se ha simplificado el diseño por el uso de periféricos ya integrados en el microcontrolador.

E. Presupuesto aproximado

Se ha calculado el coste aproximado de materiales para la construcción de un nodo transmisor, que se presenta en la Tabla 1. La placa del receptor comparte muchos de los elementos, excepto los sensores, baterías y células solares, que se sustituyen por un alimentador usb y un módulo ethernet o wifi, por lo que el coste es similar. Los precios están en euros y corresponden a los proveedores más económicos. El total aproximado es inferior a 50 euros para un transmisor o receptor completo.

TABLE I. PRESUPUESTO POR NODO

Nodo Transmisor			
Componente	Cantidad	Precio	Total
Micro ATMEGA328P-PU	1	3	3
Módulo LoRa RFM95W	1	5	5
Sensor T-H SHT35	1	6	6
Sensor P BMP180	1	0,6	0,6
Regulador LP2951	3	0,5	1,5
Conjunto R,C SMD	1	5	5
Diodos	1	2	2
Conectores y cables	1	10	10
PCB	1	2	2
Panel Solar 6V-150mA 80mm	2	1,5	3
Baterías Ni-MH	3	1	3
Cajas estancas	2	2	4
TOTAL (EUR)			45,1

Aparentemente el coste podría ser menor utilizando módulos comerciales, por ejemplo, combinando un Arduino UNO con una placa RFM95W y un cargador solar de baterías. Esta solución podría ser válida para pruebas o en centros que no dispongan de un taller de electrónica, ya que los programas

podrían reutilizarse. Sin embargo, la fiabilidad sería escasa por problemas de oxidación, fallos de conexión o mala adaptación de los elementos de radiofrecuencia. Además, en el caso del alumnado de formación profesional, tiene que considerarse el valor didáctico del diseño, montaje, soldadura y verificación de los módulos construidos.

En el presupuesto no se han incluido otros elementos como el pluviómetro, anemómetro, veleta o piranómetro. Estos elementos pueden tener un coste elevado, superior a 200 euros en modelos de buena calidad. Por lo tanto resulta necesario abordar el diseño y construcción mediante impresora 3D de estos elementos como parte de las futuras tareas del proyecto, como se comenta en los siguientes apartados.

IV. ACTIVIDADES EDUCATIVAS PREVISTAS

A lo largo de los cursos anteriores el alumnado de formación profesional ya había participado en el diseño y montaje del módulo de radiocomunicaciones digitales y en la fase de pruebas, así como en el Desafío CanSat 2023 organizado por la Agencia Espacial Europea [7]. En el curso actual y siguientes se plantea el desarrollo de aplicaciones basadas en el módulo, como la estación meteorológica presentada en este artículo o la boya oceanográfica.

Las actividades del curso actual 2025-26 se han realizado en el marco del Programa Meteoescolas convocado por la Consellería de Educación de la Xunta de Galicia en colaboración con Meteogalicia [8], Agencia Meteorológica de Galicia. Aunque el Programa Meteoescolas está principalmente dirigido a la divulgación de la meteorología y climatología en escuelas de primaria y secundaria, en los últimos años se ha abierto a la participación de otros niveles educativos como la formación profesional. Hemos aprovechado esta posibilidad para incluir tareas de un marcado perfil tecnológico que en el futuro podrán extenderse a otros centros que lo deseen ya que todo el material elaborado es de uso libre, tanto hardware como software.

En el proyecto participa el alumnado del Ciclo Superior Mantenimiento Electrónico. En el futuro está prevista la colaboración de alumnado de otros ciclos del centro e incluso de otras etapas educativas como Educación Secundaria Obligatoria (ESO) o Bachillerato de Ciencias y Tecnología.

Se han previsto inicialmente diez actividades distribuidas en tres tipologías: formación básica en sistemas de adquisición y transmisión, diseño y construcción de elementos de la estación y actividades de divulgación de datos. Se describen brevemente a continuación:

1) Construcción de módulos de sensores. Actividad de formación pensada para familiarizar al alumnado con la adquisición de datos de sensores y su transmisión por radio. Se utiliza el módulo de radiocomunicaciones conectado a diferentes tipos de sensores ambientales (temperatura, humedad, presión atmosférica, radiación solar).

2) Instalación y conexión de router LoRaWAN. Como complemento de la anterior, en esta actividad se practica la conexión de módulos comerciales a un router instalado en el centro.

3) Diseño y construcción de sensores meteorológicos. Mediante el uso de impresoras 3D existentes en el centro se plantea la construcción de las piezas necesarias para el montaje de anemómetros, veletas y pluviómetros de bajo coste con sensores electrónicos como relé reed, sensores de efecto

Hall o potenciómetros sin fin y los elementos mecánicos necesarios.

4) Construcción de garita meteorológica. Se plantea la construcción de una garita con impresión 3D o piezas prefabricadas de madera o plástico para el alojamiento y protección de los sensores de la estación. Esta actividad y la anterior podrán contar con la colaboración de alumnado de materias como Tecnología u otras iniciativas de innovación como los Polos Creativos que se desarrollan en numerosos centros.

5) Construcción de estación completa con módulos electrónicos y sensores, programación de la transmisión y recepción y envío a servidor web.

6) Tratamiento de datos en servidor. Esta actividad consistirá en la programación de scripts en lenguajes como PHP o Python para la recepción, almacenamiento y divulgación de los datos adquiridos. También se realizará el reenvío de datos a redes externas (como Meteogalicia) mediante el protocolo requerido por cada una de ellas.

7) Maqueta de boya oceanográfica. A partir de las actividades relacionadas con los módulos de sensores se desarrollará un equipo autónomo alimentado mediante energía solar, construido con materiales estancos y capaces de resistir el ambiente marino, para la adquisición de nuevos datos como la temperatura del agua del mar y aire, altura de las mareas u olas.

8) Análisis de datos. A partir de los datos actuales y pasados se harán diferentes tipos de análisis con aplicación de los algoritmos adecuados para la detección de errores, medidas de máximas y mínimas, tendencias y variabilidad, con elaboración automática de informes y divulgación de los resultados.

9) Desarrollo de interfaces web para visualización de datos. Diseño de paneles web interactivos para la representación en tiempo real de variables meteorológicas mediante gráficas, tablas y sistemas de alerta. Esta actividad permitirá trabajar aspectos relacionados con programación web, bases de datos y visualización de información científica.

10) Aplicación de técnicas de inteligencia artificial. Desarrollo de herramientas basadas en algoritmos de inteligencia artificial y aprendizaje automático para el análisis de los datos meteorológicos adquiridos. Esta actividad incluirá la detección automática de anomalías en sensores, la identificación de patrones y tendencias climáticas, así como la realización de predicciones meteorológicas básicas a partir de series temporales. Además, permitirá al alumnado introducirse en conceptos relacionados con ciencia de datos, tratamiento masivo de información y uso de herramientas de IA aplicadas a sistemas IoT.

Por su envergadura, este conjunto de actividades se ha pensado para dar continuidad al proyecto en cursos siguientes.

V. RESULTADOS DE APRENDIZAJE Y EVIDENCIAS

Las tareas de este curso se han desarrollado dentro de los módulos Equipos Microprogramables, Mantenimiento de Radiocomunicaciones y Mantenimiento de Equipos de Voz y Datos del Ciclo Superior Mantenimiento Electrónico. Una de las características de nuestro centro, situado en el entorno rural de una gran ciudad como Vigo, es un número de alumnos reducido en los niveles superiores, con un total de 19 en primer curso y 6 en segundo curso del Ciclo Superior de Electrónica.

Estos grupos reducidos facilitan un alto nivel de diversificación de tareas y su adaptación a las características personales del alumnado.

En el módulo Equipos Microprogramables de primer curso los alumnos han utilizado las placas propias de microcontroladores para desarrollar proyectos personales entre los que podemos mencionar ejemplos como una cerradura electrónica, regulación de motores, un control de temperatura y PH para piscina, e incluso un videojuego simple con visualizador lcd. En este módulo se desarrollan competencias relacionadas con diseño de hardware electrónico y programación, por lo que estas tareas sirven de preparación para abordar el próximo curso proyectos más complejos.

En el módulo de Radiocomunicaciones de segundo curso, que desarrolla competencias relacionadas con el montaje y mantenimiento de sistemas de transmisión, se han utilizado las placas específicas para prácticas de transmisión y recepción en interior y exterior, aprovechando la distribución del centro en dos edificios separados por una zona ajardinada con pistas deportivas. Este tipo de actividades ayudan a la comprensión por parte del alumnado de los principios básicos de funcionamiento de las comunicaciones por ondas.

En el módulo Mantenimiento de Equipos de Voz y Datos el alumnado ha preparado servidores LAMP en máquinas Linux con sistema Ubuntu sobre el que se han instalado los paquetes software necesarios para crear un servidor Apache, MySQL y PHP. Sobre este servidor se ha construido un sitio web dinámico capaz de visualizar los datos almacenados en una base MySQL. Para la presentación gráfica se ha aprovechado la experiencia adquirida con bibliotecas como Echarts Apache, que permiten elaborar gráficas directamente a partir de la base de datos. Estas tareas sirven de preparación para el nuevo esquema de almacenamiento de la estación meteorológica en bases de datos MySQL mediante consultas programadas en PHP.

En el proyecto Meteoscoolas se han completado parcialmente varias tareas, como las pruebas con sensores y construcción de la parte electrónica de la estación completa (utilizando provisionalmente un anemómetro, veleta y pluviómetro comerciales), y el tratamiento de datos en lenguaje PHP actualizando la versión ya existente.

Estas actividades han sido realizadas por el alumnado del Ciclo Superior contando con la colaboración del profesorado para las tareas más complejas.

También se ha completado la conexión con redes externas añadiendo un módulo para el envío de datos a Meteogalicia. En la versión anterior de la estación ya se había efectuado la conexión con las redes Meteoclimatic y Awakas, pero la

integración en Meteogalicia supone una mejora importante ya que se trata de una red meteorológica oficial, lo cual no habría sido posible sin la participación en el Programa Meteoscoolas. Este proceso también demuestra la utilidad del desarrollo de un software propio, porque los sistemas comerciales como Davis u otros suelen provocar incompatibilidades o limitar el número de conexiones posibles. En nuestro caso puede añadirse un módulo de software para cada red con la que se desee conectar y adaptarse a cualquier requisito de conexión, formato o temporización. En la Fig. 5 puede observarse la pantalla de datos de la estación presentada en la página web de Meteogalicia [9].

Fig. 5. Pantalla de datos de la estación en la página de Meteogalicia.

VI. PROPUESTAS FUTURAS

En los próximos cursos está previsto completar el diseño del módulo electrónico de la estación, añadiendo nuevos modelos de microcontroladores como el ESP32, con mayor capacidad de memoria y conectividad wifi.

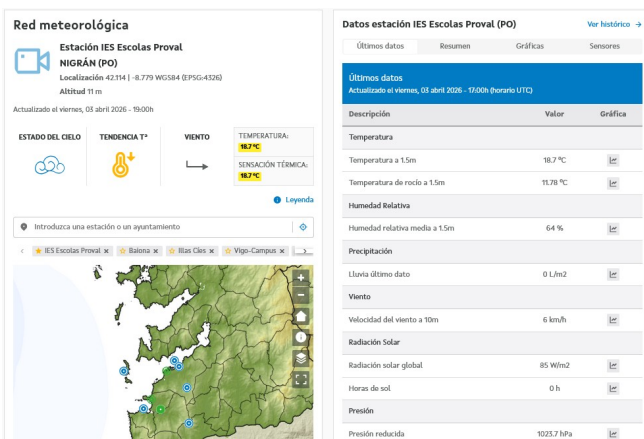
La versión actual del receptor utiliza un módulo Ethernet Wiznet 5500 con conexión RJ45. Esta configuración presentaba el inconveniente de requerir proximidad a una toma de red física, que no siempre está disponible en un centro educativo. En el Desafío Cansat [7], ya se había probado con éxito una configuración más flexible utilizando un módulo ESP32 con conexión Wi-Fi a un punto de acceso que actuaba como puerta de enlace entre el receptor y el servidor de datos. Esta solución portátil permitía a los estudiantes apuntar la antena receptora a la sonda descendente sin preocuparse de la longitud de los cables. En el caso de la estación meteorológica, es posible ubicar el módulo receptor en el lugar más apropiado para recibir los datos, incluso en el exterior, y retransmitirlos a la red inalámbrica del centro educativo. Las pruebas que hemos efectuado con módulos comerciales como el Heltec ESP32-LoRa [10] demuestran la viabilidad de esta solución.

Los microcontroladores ESP32 se venden en diferentes formatos y patillajes, por lo que pensamos diseñar una placa con diferentes zócalos y conexiones para permitir la utilización de cualquiera de los módulos del mercado, lo que evita problemas de roturas de stock o subidas de precio que afectan con frecuencia a algunos componentes electrónicos en los últimos años.

Otra propuesta es la construcción del prototipo de boya oceanográfica que permitirá adquirir nuevos datos como la temperatura del mar, altura de las mareas u olas. Para ello ya estamos iniciando pruebas de una fuente de alimentación con múltiples células solares y elaborando prototipos estancos con tubería de pvc para hacer pruebas en un recipiente con agua o piscina.

También está previsto actualizar el almacenamiento de datos en el servidor con el sistema de base de datos MySQL descrito y mejorar la visualización de resultados. Durante la transición al nuevo sistema de almacenamiento se mantendrán ambas configuraciones (archivos diarios de texto actuales y base de datos), una vez validado el nuevo sistema se efectuará la migración de los datos previos al nuevo formato, manteniendo los archivos de texto como copia de seguridad.

Por último, se elaborarán análisis automatizados a partir de las series de datos almacenados en los 20 años transcurridos entre 2005 y 2025.



VII. CONCLUSIONES

En este artículo se describe el proceso de actualización de la estación meteorológica del Instituto Escolas Proval de Nigrán (Pontevedra), un proyecto iniciado hace 20 años que continúa una tradición de observación meteorológica que se remonta a un siglo atrás.

El proyecto se basa en un módulo de radiocomunicaciones desarrollado anteriormente que se emplea para enviar los datos de los sensores alojados en una garita meteorológica directamente hasta un servidor web. La tecnología LoRa del transceptor empleado permite aumentar la distancia de transmisión, pero también mejorar la fiabilidad del sistema y ubicar el receptor en casi cualquier punto del centro educativo. El microcontrolador anterior de la estación se ha sustituido por un modelo compatible con el entorno Arduino y se han mejorado los sensores.

La nueva estación meteorológica se ha desarrollado en el marco del Programa Meteoescolas convocado por la administración educativa, lo que ha servido para la elaboración de proyectos didácticos en diferentes módulos del Ciclo Superior de Formación Profesional “Mantenimiento Electrónico”. Este programa también ha permitido la integración de la estación en la red oficial gestionada por Meteogalicia, Agencia Meteorológica de Galicia.

Como mejoras futuras se plantea el uso de nuevos microcontroladores como el ESP32, el desarrollo de una boya oceanográfica basada en el sistema, el cambio del sistema de almacenamiento a bases de datos MySQL o el análisis automatizado del conjunto histórico de datos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a los alumnos de los últimos cursos de los ciclos formativos “Mantenimiento Electrónico” e “Instalaciones de Telecomunicación” del Instituto Escolas Proval que han

colaborado en las actividades de este proyecto. También a la oficina ESERO de la Agencia Espacial Europea por la organización de la actividad “Desafío CANSAT” que ha impulsado el desarrollo de los módulos presentados en este artículo. Y a Meteogalicia (Agencia Meteorológica de Galicia) por la puesta en marcha del Programa Meteoescolas que ofrece al alumnado gallego una valiosa experiencia científica y nos ha facilitado la integración en su red de estaciones meteorológicas.

REFERENCIAS

- [1] J. Diz-Bugarín, J. L. Rodríguez-Fernández, "Digital Radiocommunications Module for Learning Applications and Remote Sensing", in *XVI Technol. Appl. to Electron. Teaching (TAEE)*, 2024, pp. 1-7, <https://doi.org/10.1109/TAEE59541.2024.10604954>
- [2] S. Rodríguez-Muñoz, "Os estudos meteorolóxicos no Val Miñor no primeiro terzo do século XX", (in Galician), *Revista de Estudos Miñoráns*, no. 5-6, pp. 5-10, 2005. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9474693>
- [3] S. Rodríguez-Muñoz, "O clima no val Miñor", (in Galician), *Revista de Estudos Miñoráns*, no. 1, pp. 7-14, 2001. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9473394>
- [4] J. Diz-Bugarín, J. F. García-González, J. Darriba-Rodríguez, S. Rodríguez-Muñoz, "El proyecto de estación meteorológica automática del IES Escolas Proval", *XIV Congreso Ibérico y IX Iberoamericano de Energía Solar (CIES)*, 2008, pp. 1199-1206. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2763054>
- [5] Meteoproval weather station, 2026, [Online]. Available: <https://meteoproval.es>
- [6] LP2951 low-dropout voltage regulator, 2025. [Online]. Available: <https://www.ti.com/product/LP2951>
- [7] J. L. Rodríguez-Fernández, J. Diz-Bugarín, "Space probe to search for habitable worlds", in *XVI Technol. Appl. to Electron. Teaching (TAEE)*, 2024, pp. 1-8, <https://doi.org/10.1109/TAEE59541.2024.10605012>
- [8] Meteoescolas Project (Meteogalicia), 2025 [Online]. Available: <https://www.meteogalicia.gal/web/formacion-e-meteoescolas>
- [9] IES Escolas Proval page in Meteogalicia, 2026 [Online]. Available: <https://www.meteogalicia.gal/web/observacion/rede-meteorologica?idEstacion=10516>
- [10] Heltec ESP32-LoRa modules, 2025. [Online]. Available: <https://heltec.org/product-category/lora/lrnode/esp32-lora/>