ENVIHEI

Título del reto de ABP:
Diseño y desarrollo de sistemas automatizados inteligentes y sostenibles

Nombre del profesor responsable

Anna Korczak, Józef Wiora y Marcin Pacholczyk

Universidad / Departamento / Titulación

Universidad Tecnológica de Silesia / Departamento de Mecánica Computacional e Ingeniería / Grado en Automatización Industrial y Robótica

Curso / Asignatura en la que se ha implementado

4º curso / Proyectos en Informática Técnica

Periodo de implementación (fechas)

1 de marzo de 2026 – 30 de junio de 2026

Duración total (semanas/horas)

16 semanas / 45 horas

Número de estudiantes participantes

18 estudiantes

Todos los resultados desarrollados en el marco de ENVIHEI están disponibles bajo la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Cofinanciado por la Unión Europea. No obstante, las opiniones y los puntos de vista expresados son exclusivamente los del autor o autores y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea o del Servicio Español para la Internacionalización de la Educación (SEPIE). Ni la Unión Europea ni el SEPIE pueden ser considerados responsables de ellos. [2024-1-ES01-KA220-HED-000246733]

1. Diseño del proyecto

1.1 Breve descripción del proyecto y del reto propuesto

Los estudiantes trabajaron en tres proyectos prácticos centrados en aplicar la programación, la automatización, los métodos computacionales y las tecnologías basadas en sensores para abordar problemas reales. Los retos propuestos fueron:

- **Proyecto Strength Calculator**: Desarrollar una herramienta de software en C++ para automatizar los cálculos estructurales y mecánicos. Strength Calculator aborda cuatro casos de carga fundamentales en resistencia de materiales: tracción axial, flexión simple, torsión de ejes circulares y cálculo de momentos flectores mediante el método de Clebsch. El reto general consistía en minimizar los errores humanos de cálculo y reducir drásticamente el tiempo necesario para el análisis estático de elementos estructurales.
- **Proyecto Smart Dual-Action Plant Pot**: Un sistema inteligente de cuidado de plantas diseñado para controlar de forma autónoma el riego y la iluminación UV a partir de datos ambientales en tiempo real. El proyecto pretende resolver el problema doméstico habitual de descuidar las plantas por falta de tiempo o por olvidos. Aunque inicialmente se había previsto utilizar un microcontrolador ESP32, el sistema se implementó con éxito en un ATmega328p (plataforma Arduino). Utiliza un sensor capacitivo de humedad del suelo y un sensor de intensidad luminosa para garantizar unas condiciones óptimas de crecimiento de las plantas sin intervención manual
- **Proyecto Automated Greenhouse**: Desarrollar un concepto integral de invernadero automatizado. El sistema está diseñado para controlar de forma independiente las condiciones ambientales esenciales para el crecimiento óptimo de las plantas, específicamente la temperatura, la

humedad del aire y la humedad del suelo. Con la implementación de este sistema se reduce significativamente la necesidad de trabajo manual, se mejora la estabilidad del microclima y se ofrece a los usuarios la posibilidad de realizar un seguimiento en tiempo real. El sistema gestiona automáticamente la calefacción, el riego y la ventilación (accionamiento de las ventanas) a partir de datos de los sensores en tiempo real, y funciona en modo completamente automático o con control manual.

En conjunto, estos proyectos plantearon a los estudiantes el reto de aplicar sus conocimientos técnicos y de programación al diseño de soluciones funcionales, combinando conceptos teóricos con la resolución práctica de problemas y la implementación tecnológica.

1.2 Resultados de aprendizaje esperados (competencias académicas y transversales)

Los tres proyectos proporcionaron a los estudiantes experiencia práctica en la aplicación de conocimientos teóricos al diseño, la programación, la implementación y el control de soluciones tecnológicas. Las principales competencias desarrolladas incluyeron:

- **Ingeniería de software**: Desarrollar lógica en C++ en el IDE de Arduino, implementar la calibración de sensores, crear algoritmos con retardos no bloqueantes (lógica de intervalos), desarrollar arquitecturas de código modular que faciliten su ampliación, implementar lógica matemática y validación para evitar errores de programación (p. ej., división por cero), traducir conceptos complejos de física teórica y mecánica a código funcional en C++ y profundizar en la comprensión de las relaciones entre las magnitudes físicas en el análisis de resistencia.
- **Diseño electrónico**: Separar de forma segura los circuitos lógicos de 5V de los circuitos de actuadores de mayor potencia mediante módulos de

transistores MOSFET y gestionar fuentes de alimentación dobles con una masa común.

- **Mecánica & Prototipado rápido**: Diseñar y fabricar carcasas y soportes físicos mediante impresión 3D FDM (filamento PLA) y ensamblar componentes hidráulicos.
- **Automatización industrial y sistemas de control**: Diseñar e implementar sistemas de visualización SCADA (utilizando SCADA Promotic) vinculados a bases de datos relacionales; especificar e integrar equipos de calidad industrial (neumática, contactores, sensores de 4-20mA) para resolver problemas reales; y desarrollar lógica de control con arquitectura dual, comparando PLC industriales (Siemens LOGO!) con microcontroladores educativos (Arduino Mega).
- **Ingeniería de seguridad**: Aplicar principios de ingeniería de seguridad, como el uso de dispositivos de corte térmico cableados y válvulas neumáticas biestables para evitar fallos catastróficos ante una pérdida de alimentación.

1.3 Competencias en sostenibilidad que se pretende desarrollar

Los proyectos se orientan directamente a la sostenibilidad ambiental al abordar la conservación de recursos y las prácticas sostenibles de informática e ingeniería. Minimizan el desperdicio de agua al garantizar que la planta se riegue únicamente cuando sea estrictamente necesario, mediante el uso de sensores precisos de humedad del suelo y bombas automatizadas de agua de retención. Además, al optimizar el proceso de fotosíntesis con iluminación UV automatizada, reducen el riesgo de pérdida de los cultivos y evitan así el desperdicio de suelo, fertilizantes y agua asociado a la muerte de las plantas. La lógica inteligente de control de la calefacción y la ventilación garantiza que solo se consuma energía cuando los parámetros ambientales se sitúen fuera del

intervalo óptimo de crecimiento. Los proyectos también se centran en la optimización del uso de materiales mediante cálculos precisos que evitan el sobredimensionamiento de los materiales, en la informática sostenible mediante la optimización del código y la limitación de los recursos computacionales necesarios, y en la seguridad ambiental mediante la prolongación del ciclo de vida de los productos a través de ensayos precisos de los límites mecánicos.

1.4 Enfoque de sostenibilidad y su integración en el proyecto

La sostenibilidad se abordó mediante diferentes enfoques en los tres proyectos:

- El **proyecto Automated Greenhouse** integró la sostenibilidad en la selección de los equipos y en la lógica de funcionamiento. El sistema utiliza agua de lluvia/retención mediante la bomba Omnigena WQ 180F, lo que reduce la dependencia de las redes municipales de abastecimiento de agua. Los sensores de suelo FDR (reflectometría en el dominio de la frecuencia) son inmunes a la corrosión causada por los fertilizantes, lo que garantiza la sostenibilidad operativa a largo plazo sin sustituir los equipos con frecuencia. La eficiencia energética también se aborda mediante válvulas neumáticas biestables (SMC SY5220-5LZD) que mantienen la posición de las ventanas sin consumir energía de forma continua.
- El **proyecto Smart Dual-Action Plant Pot** abordó la sostenibilidad mediante un sistema de riego inteligente basado en umbrales que garantiza que la bomba se active únicamente cuando la humedad del suelo descienda por debajo del 30%. Además, el uso de un sensor capacitivo de humedad en lugar de uno resistivo evita la corrosión galvánica rápida, prolonga considerablemente la vida útil del dispositivo y reduce los residuos electrónicos.

- El **proyecto Strength Calculator** integró la sostenibilidad mediante una filosofía de "Informática sostenible". Al crear una herramienta que facilita el trabajo remoto preciso (capacidad de funcionamiento en línea), reduce indirectamente la huella de carbono asociada a los desplazamientos a laboratorios de ensayos físicos o a lugares de trabajo. Además, la elevada precisión de la herramienta contribuye a diseños mecánicos más seguros y sostenibles que evitan fallos prematuros.

1.5 Metodologías y herramientas utilizadas (estructura del ABP, técnicas de facilitación, etc.)

Los proyectos utilizaron diferentes metodologías y herramientas según sus objetivos específicos, combinando enfoques de ingeniería colaborativa, ingeniería de software, ingeniería de sistemas modulares, simulación, prototipado y ensayos:

- El **proyecto Smart Dual-Action Plant Pot** utilizó un enfoque de ingeniería colaborativa con funciones diferenciadas asignadas a cada miembro. Las principales herramientas y componentes incluyeron:
  - **Hardware**: Microcontrolador ATmega328p, sensor capacitivo de humedad del suelo, módulo de luz MH-Sensor-Series, minibomba de agua, LED UV y módulos XY-MOS.
  - **Software**: Se utilizó el IDE de Arduino (C++) para programar la lógica de control.
  - **Metodología de ensayos**: Prototipado iterativo en placa de pruebas, fases de calibración en seco/húmedo y ensayos de esfuerzo prolongados de 24 horas.
- El **proyecto Strength Calculator** se basó en gran medida en metodologías de ingeniería de software, específicamente en la

programación modular en C++. Las principales herramientas y normas técnicas incluyeron:

  - **Normalización estricta de las unidades del SI**: Exigir el uso de newtons (N), milímetros (mm), megapascales (MPa) y newton-milímetros (Nmm) para garantizar la coherencia con las normas de diseño de los Eurocódigos.
  - **Implementación algorítmica del método de Clebsch**: Utilizar el corchete de Clebsch (una función escalón condicional) para describir el estado de carga de una viga completa mediante una única ecuación matemática, evitando la segmentación tradicional basada en intervalos.

- El **proyecto Automated Greenhouse** utilizó una metodología de desarrollo centrada en la ingeniería de sistemas modulares y la simulación. Las principales herramientas incluyeron:
  - **SCADA Promotic**: Se utilizó para crear la interfaz de usuario, visualizar el microclima del invernadero y proporcionar un panel de control para cambiar entre los modos manual/automático.
  - **Especificación del hardware**: Un proceso riguroso de selección de componentes industriales (Festo, Danfoss, Mean Well) basado en la durabilidad ambiental (grados de protección IP65, resistencia a la humedad).
  - **Sistemas de control**: Se evaluaron dos vías: una vía basada en el estándar industrial (Siemens LOGO! 8 24CE) y una vía educativa (Arduino Mega 2560 con Ethernet).

1.6 Organización del proyecto (formación de grupos, cronograma, hitos)

Los proyectos se ejecutaron de forma colaborativa por equipos de estudiantes de distintos tamaños, con una distribución del trabajo acorde con los requisitos específicos y las áreas técnicas de cada proyecto:

- El **proyecto Smart Dual-Action Plant Pot** fue realizado por un equipo de cinco miembros, con responsabilidades distribuidas entre la programación, la construcción 3D, la electrónica, el montaje mecánico e hidráulico, los ensayos y la documentación.
- El **proyecto Strength Calculator** fue ejecutado de forma colaborativa por un equipo de ingeniería de siete miembros, con una distribución del trabajo entre el diseño conceptual, la creación de algoritmos (como el módulo específico de la función de Clebsch), el diseño de la interfaz de usuario y los ensayos/validación.
- El **proyecto Automated Greenhouse** fue ejecutado por un equipo de seis miembros, con una distribución del trabajo entre la especificación del hardware, el diseño de la interfaz SCADA, la programación de la lógica de control y la documentación de la integración del sistema.

1.7 Entregables solicitados a los estudiantes (tipo, formato, plazos)

Los proyectos dieron lugar a una serie de entregables técnicos y documentales, incluidos prototipos funcionales y aplicaciones de software, documentación técnica, informes de proyecto, presentaciones y diseños de sistemas:

- El **proyecto Smart Dual-Action Plant Pot** entregó un prototipo funcional de hardware, código fuente documentado en C++ para el microcontrolador, un esquema eléctrico y un informe exhaustivo del proyecto que detalla las fases de ensayos y calibración.

- El **proyecto Strength Calculator** entregó con éxito una aplicación ejecutable funcional en C++ con una interfaz gráfica de usuario (GUI) intuitiva, un informe técnico exhaustivo que describe las normas de cálculo, los módulos y las métricas de rendimiento, y una presentación que resume las funcionalidades principales y los aspectos ecológicos.
- El **proyecto Automated Greenhouse** produjo un documento exhaustivo de especificaciones técnicas que detalla la selección de componentes y el planteamiento del cableado, un diseño de panel de visualización SCADA completamente funcional y un informe final del proyecto que describe la lógica de funcionamiento del sistema y las posibilidades de ampliación futuras.

1.8 Colaboradores externos participantes (mentores, empresas, expertos...) y su función

No participaron colaboradores externos en esta implementación.

2. Evaluación del proyecto

2.1 Criterios y métodos de evaluación utilizados

Los tres proyectos se evaluaron según sus requisitos técnicos específicos, con una evaluación centrada en la validación práctica, la precisión, el rigor técnico, la seguridad y la funcionalidad:

- El **proyecto Smart Dual-Action Plant Pot** se evaluó mediante una rigurosa validación práctica en el entorno para el que fue diseñado. Uno de los principales métodos de evaluación fue la "Prueba de esfuerzo de 24h," diseñada para verificar la estabilidad de la arquitectura híbrida de alimentación bajo carga continua sin provocar bloqueos del microcontrolador ni sobrecalentamiento de los MOSFET.

- El **proyecto Strength Calculator** se evaluó comparándolo con métodos analíticos manuales. Los criterios de evaluación se centraron en la precisión algorítmica, la velocidad de ejecución, la gestión de errores (validación de entradas como momentos de inercia negativos) y el cumplimiento de los marcos normalizados de ingeniería (unidades del SI).
- El **proyecto Automated Greenhouse** se evaluó según su rigor técnico, sus consideraciones de seguridad y la integridad de su lógica de automatización. Los criterios principales incluyeron el uso adecuado de señales de 4-20mA para mitigar la caída de tensión en tendidos largos de cable, la inclusión de dispositivos de corte de seguridad a nivel de hardware (p. ej., termostato Danfoss KP79) y la claridad y funcionalidad de la interfaz SCADA.

2.2 Evidencias del aprendizaje de los estudiantes (ejemplos, productos, resultados)

Las evidencias de resolución satisfactoria de problemas y de aprendizaje se manifiestan en la capacidad de los equipos para adaptar tecnologías, perfeccionar la lógica, mejorar el rendimiento y tomar decisiones de diseño técnicamente justificadas:

- El **proyecto Smart Dual-Action Plant Pot**: demostró una resolución satisfactoria de problemas mediante la capacidad de cambiar de tecnología y perfeccionar la lógica:
    - Migrar con éxito de un ESP32 a un ATmega328p para adaptarse a los requisitos de lógica de 5V de los sensores y módulos.
    - Superar los problemas de permisos del puerto serie en Linux para grabar correctamente el cargador de arranque y el código
    - Desarrollar un algoritmo de riego "anti-inercia".

- El **proyecto Strength Calculator** demostró una ejecución satisfactoria mediante las métricas de rendimiento de la aplicación. Los ensayos comparativos mostraron que Strength Calculator redujo los tiempos de cálculo en más del 99% respecto a los métodos manuales tradicionales, manteniendo una repetibilidad perfecta de los resultados con parámetros de entrada variables.
- El **proyecto Automated Greenhouse** demostró una resolución satisfactoria de problemas mediante la especificación detallada de los componentes y la capacidad de los estudiantes para diseñar con éxito un sistema integrado (Tabla 1).

Tabla 1. *Componentes seleccionados y justificaciones técnicas de los subsistemas de calefacción, ventilación, riego y sensores del proyecto Automated Greenhouse.*

Subsistema	**Componente seleccionado**	**Justificación técnica**
Calefacción	Lighthouse 2kW & Danfoss KP79	La circulación forzada elimina la condensación. El termostato cableado evita el sobrecalentamiento de los cultivos a 40°C.
Ventilación	Festo DSBC-32-200 & SMC SY5220-5LZD	Los cilindros neumáticos con válvulas biestables garantizan que las ventanas permanezcan en su posición de forma segura ante una pérdida de alimentación.
Riego	Danfoss EV220B 15B & Omnigena WQ 180F	Válvulas solenoides y bombas protegidas por interruptores de flotador para una gestión segura del agua.
Sensores	APAR AR252 & JXBS-3001-TR	El bucle de 4-20mA evita la degradación de la señal. Los filtros sinterizados y el encapsulado en resina protegen frente a las condiciones adversas del invernadero.

3. Reflexiones y recomendaciones

3.1 Principales logros y fortalezas del proyecto

Los proyectos alcanzaron resultados significativos mediante el desarrollo de soluciones tecnológicas prácticas, eficientes e innovadoras:

- El **proyecto Smart Dual-Action Plant Pot** demostró que una electrónica sencilla y de bajo coste (presupuesto de ~30 PLN) puede dar lugar a sistemas automatizados muy eficaces y fiables. La implementación satisfactoria de un ciclo de riego basado en intervalos, que evita el encharcamiento de las plantas, pone de manifiesto una comprensión profunda de la dinámica de los sistemas físicos.
- El **proyecto Strength Calculator** logró una implementación innovadora del corchete de Clebsch en C++. Esto permite al programa calcular el momento flector M(x) de forma continua a lo largo de toda la viga. Esto acelera drásticamente el análisis estático y proporciona una base sólida para generar diagramas de esfuerzos internos.
- El **proyecto Automated Greenhouse** logró formular una arquitectura de control del invernadero muy robusta y tolerante a fallos. La opción de control por dos vías (Siemens LOGO! vs. Arduino) hace que el concepto sea adaptable tanto a la implementación comercial como a su uso educativo. La visualización SCADA proporciona una interfaz intuitiva y fácil de usar que integra datos complejos de los sensores en información útil para la acción.

3.2 Dificultades encontradas y cómo se abordaron

Los proyectos plantearon diferentes dificultades técnicas que se abordaron mediante la resolución práctica de problemas y decisiones de diseño adecuadas:

- El **proyecto Smart Dual-Action Plant Pot** afrontó dos dificultades principales:

  - **Gestión de la carga eléctrica**: Los actuadores (bomba, LED UV) consumen demasiada corriente para un microcontrolador. El equipo lo resolvió creando un circuito de potencia aislado mediante módulos de transistores XY-MOS.
  - **Inercia del sistema**: El agua tarda en infiltrarse en el suelo y llegar al sensor, lo que inicialmente hacía que la bomba funcionara durante demasiado tiempo y encharcara la planta. El equipo implementó un riego por intervalos (3 segundos de bombeo seguidos de 5 segundos de pausa) para permitir que el agua se absorbiera y el sensor se estabilizara antes de decidir si era necesaria más agua.

- El **proyecto Strength Calculator** afrontó el importante reto de digitalizar la naturaleza compleja y definida por tramos del análisis de vigas. El equipo lo abordó con éxito programando una función lógica personalizada que anula automáticamente los términos entre corchetes cuando el argumento (x-a) es negativo. Esta lógica condicional reproduce perfectamente el método analítico de Clebsch y garantiza lecturas precisas en puntos intermedios de la viga.
- El **proyecto Automated Greenhouse** afrontó importantes dificultades relacionadas con el hardware al diseñar para un entorno agrícola con elevada humedad y potencialmente corrosivo. El equipo las abordó seleccionando deliberadamente componentes de calidad industrial: eligiendo sensores capacitivos de suelo FDR en lugar de sensores resistivos que se corroen fácilmente, seleccionando envolventes con grado de protección IP65 y utilizando bucles de corriente de 4-20mA para una transmisión fiable de señales analógicas a larga distancia.

3.3 Lecciones aprendidas para futuras implementaciones

El **proyecto Smart Dual-Action Plant Pot** demostró la importancia de seleccionar los componentes adecuados para entornos adversos (p. ej., utilizar sensores capacitivos para evitar la electrólisis del suelo). En futuras versiones, el proyecto podría ampliar sus capacidades de IoT, reintegrando la conectividad Wi-Fi (quizás utilizando el ESP32, como se había previsto inicialmente, pero con adaptadores adecuados de nivel lógico) para el seguimiento remoto mediante un panel web.

El **proyecto Strength Calculator** demostró que la estructura modular resultó ser una decisión de diseño muy eficaz. Para futuras versiones, el equipo recomienda utilizar la aplicación actual como un motor de cálculo ampliable con módulos de análisis de fatiga y estabilidad estructural (pandeo). También existe la posibilidad de conectar este motor a entornos de desarrollo de GUI más avanzados.

El **proyecto Automated Greenhouse** demostró que el diseño de base es muy modular, lo que abre múltiples vías de mejora futura. Para futuras versiones, las implementaciones previstas incluyen el desarrollo de una aplicación móvil específica para el control remoto y el seguimiento en tiempo real, la implementación del registro de datos históricos para analizar las tendencias del microclima a largo plazo, la integración de sistemas de alarma para eventos críticos (p. ej., fallo de la bomba, temperaturas extremas) y la incorporación de sensores de nivel de agua, sensores de intensidad luminosa y sistemas automatizados de iluminación suplementaria para las plantas.

4. Material de apoyo

4.1 Materiales del profesorado y documentación del proyecto

Los materiales del profesorado y la documentación del proyecto están disponibles en el siguiente enlace: https://drive.google.com/drive/folders/1bH_gyWJLXF3JNfLPTuDmviE-6Q9kIzx6?usp=drive_link

4.2 Entregables elaborados por los estudiantes, presentaciones finales o materiales de presentación breve

Un ejemplo de los entregables elaborados por los estudiantes está disponible en el siguiente enlace: https://drive.google.com/drive/folders/1yqQtFAqNGo6Xg6JoVg47F4F8QdFFDw7z?usp=drive_link

Las presentaciones finales de los estudiantes están disponibles en el siguiente enlace: https://drive.google.com/drive/folders/1hg6rp6XcuOSeGTOhn68S9s-vvt5u3Uly?usp=drive_link

4.3 Imágenes/vídeos (con consentimiento)

Se realizaron registros fotográficos y de vídeo con el consentimiento explícito de los estudiantes participantes, y están disponibles en el siguiente enlace: https://drive.google.com/drive/folders/1IHPRfaj88KLxRsvGqRjCOeM0fnBQxLCc?usp=drive_link

4.4 Cualquier otro material pertinente

Todos los materiales, incluido este informe, están disponibles en el siguiente enlace:

https://drive.google.com/drive/folders/1qGPSzd5J-A0DyTS82zYHQJWIjfXvB21u?usp=drive_link