

Propuesta de Diseño – Bloque 2

Ignacio Sánchez Gil, Álvaro Salvador Ruiz, Nizar El Azeouzi Amine y

Aitor Casado de la Fuente

“Diseño e implementación de un invernadero inteligente con monitoreo remoto basado en IoT”

1. Objetivos y descripción

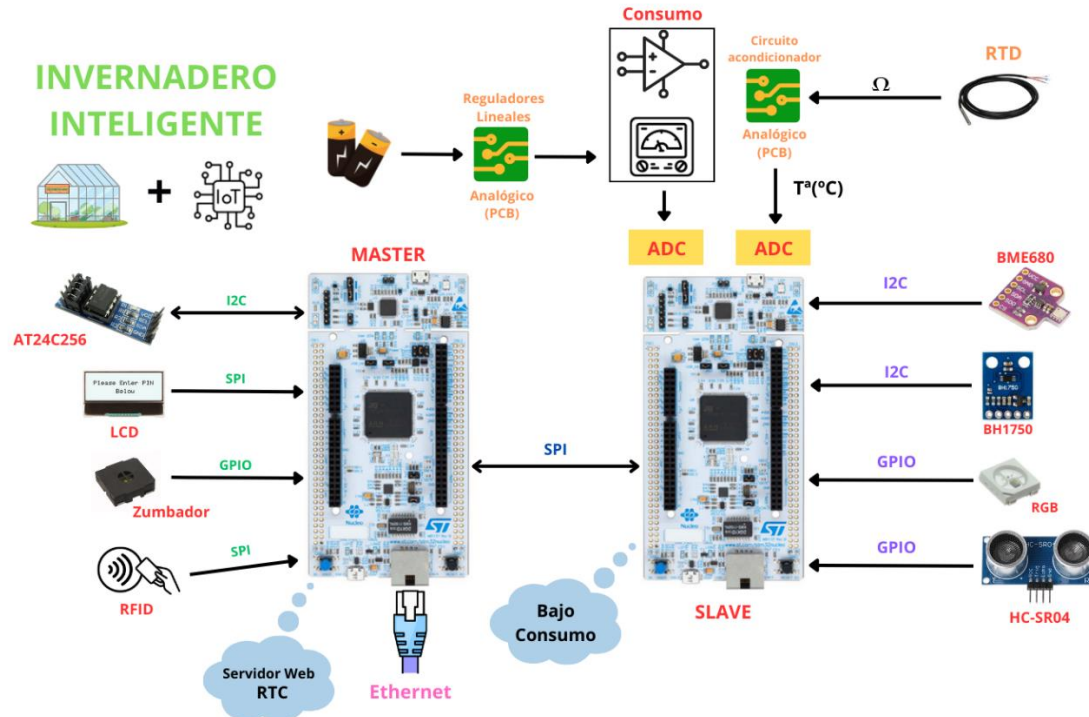
El objetivo de este proyecto es diseñar un sistema de control automatizado para la monitorización y optimización de un invernadero, permitiendo así el seguimiento remoto de dichas condiciones ambientales. Además, se pretende mostrar dichos parámetros en un servidor web de forma que el usuario pueda tener controlado el invernadero en cuestión. Dicho sistema contará con múltiples sensores y actuadores que permiten medir los parámetros físicos claves de un invernadero, tales como temperatura, humedad, luminosidad, calidad del aire, capacidad del tanque de agua para el riego, de forma que permite analizar las variables críticas para el crecimiento de los cultivos.

Con el auge de las ciudades inteligentes (Smart Cities), se está poniendo cada vez más de moda su implementación a través del Internet de las Cosas (IoT), y con ello que cada vez más vayan apareciendo en azoteas de los edificios de las ciudades los invernaderos. Por ello, la facilidad y comodidad que supone tener todo controlado a través del dispositivo móvil provoca poder automatizar y sensorizar dichos invernaderos. Concretamente, la idea principal de este proyecto es tener la posibilidad de tener controlado de forma remota un invernadero situado a cientos de kilómetros de distancia, como por ejemplo en el pueblo, y con ello poder observar en tiempo real los parámetros más importantes presentes en dicho invernadero, permitiendo así hacer un seguimiento.

El funcionamiento se basará en dos posibles escenarios: presencial y remoto. La idea no es que el sistema esté constantemente midiendo, si no que cada cierto tiempo, el sistema se despierte (salga del bajo consumo) y realice las medidas, se envíen y cuando se hayan almacenado se vuelva al modo de bajo consumo, de esa forma, el sistema no estará constantemente consumiendo. Claro está que, si el usuario se conecta a la web ya que quiere ver las medidas, el sistema tendrá que despertarse y ponerse en funcionamiento. El escenario presencial será cuando el usuario se encuentre en el propio invernadero, realizando cualquier tipo de revisión. La forma de acceso al invernadero será empleando NFC, el cual se detallará más adelante, de esta forma cuando se lea el lector, se podrá “acceder” a dicho invernadero. Además, al acceder, se mostrará en el LCD los parámetros en ese momento en el invernadero. En lo que a la parte remota se refiere, cuando el usuario acceda a la web para visualizar los datos, al acceder a la web habrá un botón que ponga: “Acceso al invernadero”. Al clickar se le solicitará una contraseña y cuando la introduzca, se enviará un flag para indicar que el usuario se ha conectado despertando al sistema del bajo consumo para que se ponga a realizar medidas. Si el usuario desea salir, habrá otro botón que ponga: “Salir del invernadero” y que al clickar, se vuelva a enviar otro flag, provocando que el sistema se ponga en modo bajo consumo.

2. Diagrama de bloques y explicación

Como se indica en las especificaciones, el sistema dispondrá de dos tarjetas núcleo, comunicadas entre sí mediante el protocolo de comunicaciones SPI, ya que permite comunicación Full-Duplex. El diagrama de bloques es el siguiente:



Como se observa en el diagrama, habrá dos placas “Máster” y “Slave”, comunicadas mediante SPI como se ha indicado previamente. La placa principal, implementará el servidor web, además de implementar la hora y días actuales (RTC + SNTP). En esta estará incluida el LCD y NFC (SPI) además de la memoria flash EEPROM (I2C). También será la que tenga la conexión Ethernet y la conexión directamente a la alimentación de 5 V, sin necesidad de disponer de fuente de alimentación externa.

Respecto a la segunda tarjeta, “Slave”, será la que implemente todos los sensores para su posterior envío a la placa Máster, además de implementar en esta los modos de bajo consumo. El funcionamiento de estos sensores se detallará más adelante, pero estos serán de temperatura, humedad, nivel del agua y luminosidad. También, esta placa estará alimentada con alimentación externa mediante baterías, además de disponer de dos PCB: alimentación + medida del consumo en una, y acondicionador en otra, como se observa en el diagrama.

La configuración de la comunicación SPI entre las dos placas:

La comunicación entre dos placas STM32F429ZI se realizará mediante el protocolo SPI, en el que una placa actuará como maestro y la otra como esclavo.

- Modo de operación: SPI en modo Full-Duplex
- Frecuencia de reloj: Configurada según la velocidad de operación deseada, garantizando estabilidad en la transmisión.
- Orden de bits: MSB primero.
- Polaridad y fase del reloj (CPOL, CPHA): por defecto, modo 0: CPOL=0, CPHA=0.
- Tamaño de datos: 8 bits por transferencia.
- Selección de esclavo (NSS): Controlado manualmente mediante un pin GPIO.

I. Asignación de pines:

- MOSI: PA7 (maestro) conectado a PA7 (esclavo).
- MISO: PA6 (maestro) conectado a PA6 (esclavo).
- SCK: PA5 (maestro) conectado a PA5 (esclavo).
- NSS: Configurado manualmente en un GPIO.

II. Proceso de comunicación:

1. El maestro activa la comunicación bajando el pin NSS (PA4) a nivel bajo.
2. Se envía un byte de comando para solicitar una lectura de datos.
3. El esclavo responde con los datos correspondientes en los bytes siguientes.
4. Una vez terminada la transmisión, el maestro pone NSS en alto para finalizar la comunicación.

III. Comandos a utilizar:

Para la comunicación entre maestro y esclavo, se definirá un conjunto de comandos de un solo byte, que el maestro enviará para solicitar la lectura de distintas variables. Cada comando estará seguido de los bytes correspondientes a la respuesta del esclavo.

Comando	Descripción	Respuesta del esclavo
0x01	Leer temperatura	2 bytes (valor en grados)
0x02	Leer humedad	2 bytes (valor en %)
0x03	Leer calidad aire	2 bytes (valor numérico)
0x04	Leer luminosidad	2 bytes (valor numérico)
0x05	Leer cantidad de agua	2 bytes (valor en ml)
0x06	Leer estado de batería	2 bytes (voltaje en mV)
0x07	Escribir la hora	3 bytes (hora, minutos y segundos 1 byte cada uno)
0x08	Escribir la fecha	4 bytes (días y meses 1 byte, año 2 bytes)

Cada respuesta de los sensores está compuesta por 2 bytes, donde el primer byte corresponde a la parte alta del valor y el segundo a la parte baja, permitiendo una representación precisa de los datos.

IV. Manejo del NSS en la comunicación:

Dado que solo hay un esclavo en la comunicación, se utilizará un pin GPIO para manejar manualmente la selección del esclavo (NSS). En cada transmisión:

1. Se pone el pin NSS en bajo antes de enviar un comando.
2. Se envía el byte de comando.
3. Se espera la respuesta del esclavo y se leen los bytes recibidos.
4. Se pone el pin NSS en alto al finalizar la comunicación.

3. Desarrollo de subsistemas

3.1. Subsistemas digitales

3.1.1 Tarjeta “Máster”:

- **Memoria EEPROM:** a fin de guardar los datos de la aplicación de manera permanente, se pretende hacer uso de la memoria **EEPROM AT24C256** empleando el protocolo de comunicaciones **I2C**, la cual tiene una capacidad de 256 Kbit.
- **LCD:** con el objeto de poder visualizar datos en el invernadero “real”, se dispondrá del LCD de la **tarjeta de aplicaciones mbed**, haciendo uso del protocolo **SPI**. Cuando se lea el lector NFC, se mostrará un mensaje por dicha pantalla.
- **RFID:** para poder tener un control del acceso al invernadero y hacerlo más “privado”, dispondremos de un lector **NFC** que funcionará mediante el protocolo de comunicaciones **SPI**.
- **Altavoz/Zumbador:** para comunicar que la lectura de la tarjeta por NFC ha sido exitosa, se implementará el zumbador de la **tarjeta de aplicaciones mbed**, generando un pitido si se ha leído correctamente. Este sonido se generará mediante **PWM**.
- **RGB:** este led de la **tarjeta mbed de aplicaciones**, será un indicador de la cantidad de agua disponible en el depósito de agua del invernadero. Verde, indicará nivel correcto de agua; amarillo, que está a la mitad; y rojo que necesita llenado. Esto se realizará mediante **GPIO**.

3.1.2 Tarjeta “Slave”:

- **BME680:** este será el sensor encargado de realizar la lectura de la **humedad** y de la **calidad del aire**, empleando el protocolo de comunicaciones **I2C**.
- **BH1750:** se va a realizar un seguimiento de la luminosidad presente en el invernadero, además que da un feedback sobre el tiempo presente en el invernadero al estar de forma remota. Esto podría servir para realizar un control automático de cortinas y mallas, el cual no se va a implementar en este proyecto. Se empleará el protocolo de comunicaciones **I2C**.
- **HC-SR04:** ya que todo cultivo necesita ser regado, se hará uso de este sensor. Una de las posibles aplicaciones, aparte de la detección de objetos, es la de medir el nivel de agua en recipientes. Dado a que este sensor emite pulsos ultrasónicos de 40 kHz, el agua los refleja perfectamente, ya que la superficie del agua es lo suficientemente densa para generar un rebote claro. Este sensor mediría la distancia desde el sensor hasta la superficie del agua, por lo que, para saber el nivel de agua restante, bastaría con la siguiente operación: Nivel agua = Altura Recipiente – Distancia media. El propio datasheet del sensor indica la posibilidad de esta aplicación, aparte de haberse empleado en aplicaciones reales. Posible vídeo explicativo para la aplicación de dicho sensor: <https://www.youtube.com/watch?v=bzdiinjFPio>. Por otra parte, este sensor funciona generando un pulso a nivel alto (**GPIO**), genera la onda esperando al rebote. Esta espera se traduce en el tiempo de ida y vuelta del pulso, obteniendo así la distancia.

3.2. *Subsistemas analógicos*

Para este proyecto, se dispondrán principalmente de dos subsistemas analógicos. Para ello, se utilizarán **dos PCBs** diseñadas mediante la herramienta de diseño KiCad: **alimentación + consumo y acondicionador**.

3.2.1. *Alimentación + Consumo*

Para suministrar una tensión estable al microcontrolador y a los distintos circuitos del sistema, hemos diseñado una fuente de alimentación basada en baterías recargables y reguladores lineales.

El sistema contará con dos bloques de alimentación:

- **Parte positiva (+11.1V):** Utilizaremos tres baterías 18650 de 3000mAh recargables de 3.7V nominales conectadas en serie, lo que nos proporciona un total de 11.1V.
- **Parte negativa (-11.1V):** De manera similar, usaremos otras tres baterías 18650 en serie, pero conectadas de forma que nos proporcionen -11.1V.

La elección de contar con una alimentación positiva y otra negativa se debe a la necesidad de suministrar diferentes niveles de voltaje a distintos componentes del sistema:

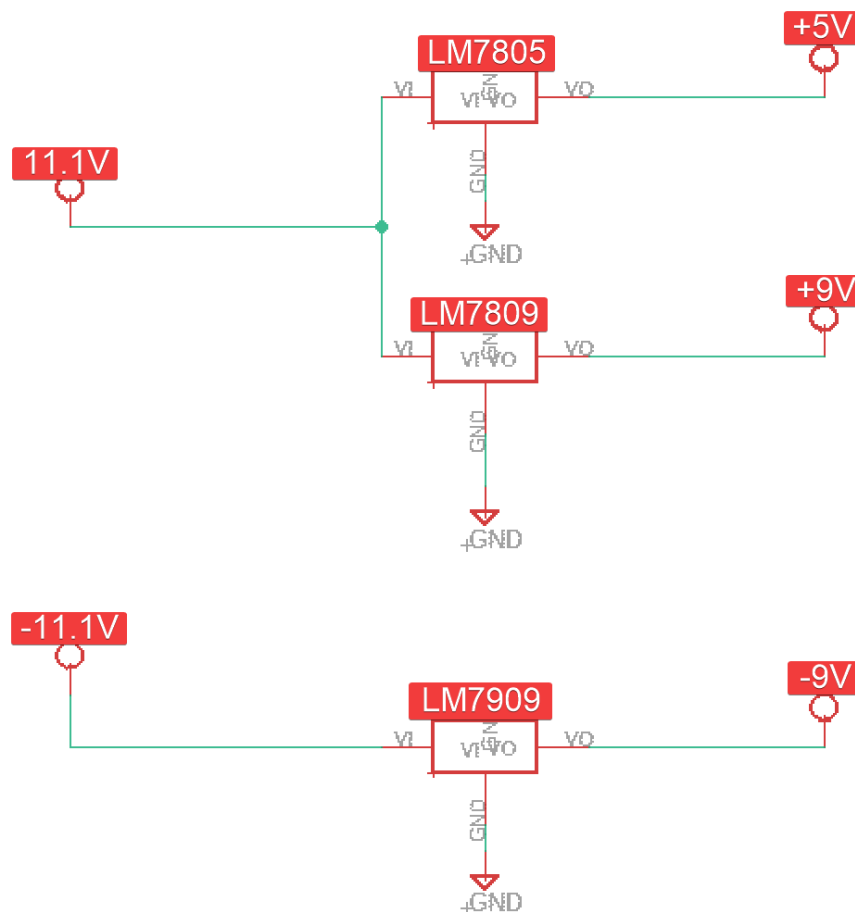
I. Regulación de la parte positiva:

- Los 11.1V de las baterías pasarán por un regulador lineal LM7805, cuya salida será de 5V, destinada a alimentar el microcontrolador.
- En paralelo, los 11.1V también pasarán por un regulador lineal LM7809, obteniendo 9V, que se utilizarán para alimentar los amplificadores operacionales del sistema de consumo.

II. Regulación de la parte negativa:

- Los -11.1V generados por las tres baterías conectadas en serie se estabilizarán con un regulador lineal LM7909, cuya salida será de -9V, necesarios para la alimentación de los amplificadores operacionales del sistema de consumo.

Además, la salida de 5V obtenida después del LM7805 se dirigirá hacia la resistencia shunt, donde se encuentra el sistema de consumo, y posteriormente alimentará al microcontrolador.



Para conocer el **consumo** del microcontrolador, se implementará un sistema de medición basado en una resistencia shunt de bajo valor óhmico y un amplificador de instrumentación diseñado con tres amplificadores operacionales OP07.

La resistencia shunt se colocará en serie con la línea de alimentación de 5V, que proviene de la salida del convertidor DC-DC reductor. Su valor será bajo para minimizar la pérdida de energía en el sistema y reducir su impacto en la alimentación del microcontrolador. Cuando la corriente fluye a través de la resistencia shunt, se genera una pequeña caída de

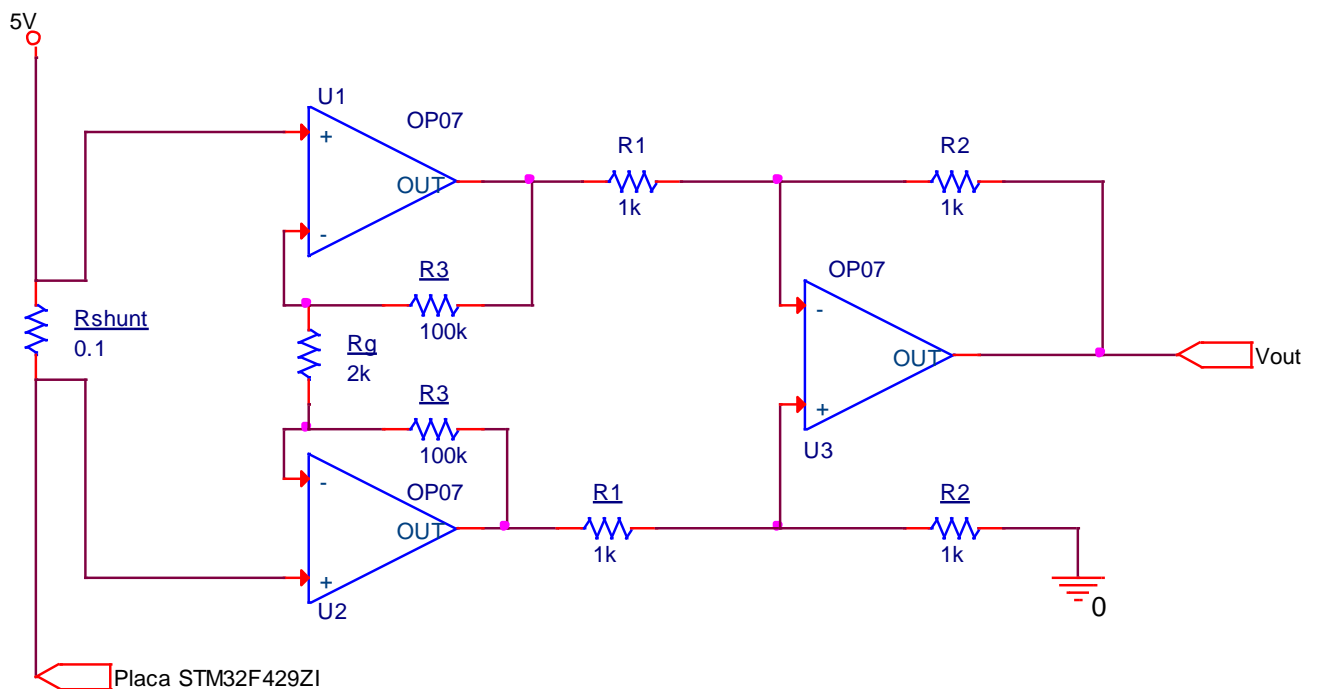
tensión proporcional a la corriente consumida por el microcontrolador. Esta diferencia de potencial es capturada por el amplificador de instrumentación para ser amplificada y posteriormente leída por el microcontrolador.

La salida del amplificador de instrumentación amplificada en un factor de 100 se conectará a una entrada analógica del microcontrolador. A partir de esta lectura, se realizará el cálculo del consumo en la placa mediante la relación:

$$I_{consumo} = \frac{V_{shunt}}{R_{shunt}} = \frac{V_{adc}}{100}$$

Donde:

- V_{shunt} es la caída de tensión en la resistencia shunt.
- $R_{shunt} = 0.1 \text{ ohm}$ es el valor de la resistencia.
- V_{ADC} es la lectura obtenida por el microcontrolador tras la amplificación.

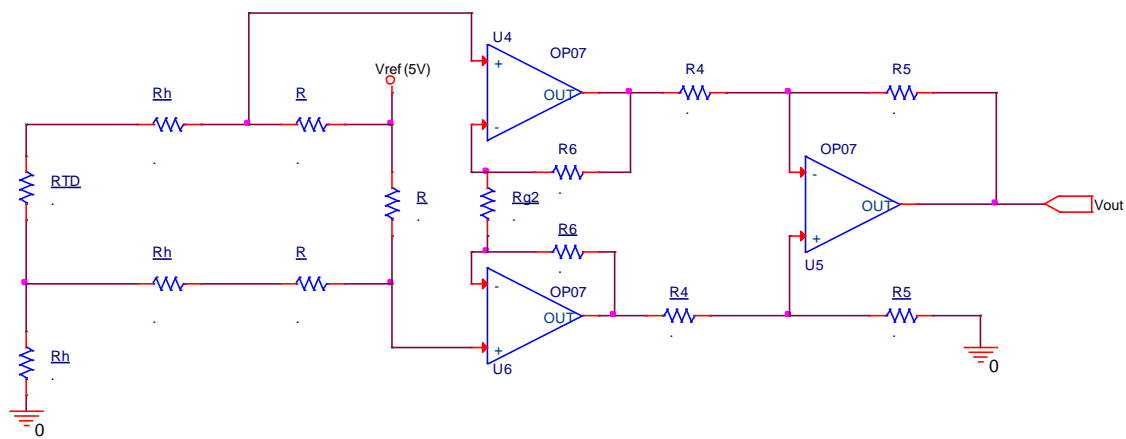


3.2.2. Acondicionador de la temperatura

Para poder obtener el dato real de la temperatura, se va a diseñar un sensor de temperatura basado en una RTD, concretamente una Pt-100, que permite variar su valor óhmico entre 0 y 100 Ω . Se trata de un componente pasivo, cuyo funcionamiento se basa en el principio de que la resistencia eléctrica de un material conductor cambia de manera predecible con la temperatura. En el interior, dispone de un alambre de platino, caracterizado por su precisión, estabilidad y amplio rango de temperatura. Como se ha dicho antes, la variación del sensor es de 0 a 100 Ω para temperaturas de -5 $^{\circ}\text{C}$ a 45 $^{\circ}\text{C}$, y para nuestra aplicación se ha optado por diseñar un puente de Wheatstone con una rama activa, conectando la RTD a 3 hilos, minimizando así el error por los cables. El valor de resistencias todavía no ha sido elegido, pero será el necesario para dar una tensión

diferencial de 0 a ≈ 50 mV. Para poder adaptar este margen, se empleará un amplificador de instrumentación, empleando amplificadores operacionales y con la ganancia necesaria de esta etapa, consiguiendo a la salida un margen dinámico de 0 a 3.3 V, adaptado al margen que pueden leer los ADCs de la tarjeta.

Dicho amplificador de instrumentación se compondrá de dos etapas: etapa 1 y etapa 2. La primera etapa está formada por dos amplificadores operacionales en topologías inversoras y no inversoras, mientras que la segunda se compone de un amplificador diferencial. Este tipo de configuración proporciona numerosas mejoras primordiales en la aplicación, eliminando el error y el offset gracias al CMRR y a la alta impedancia existente a la entrada. El parámetro CMRR, como su propio nombre indica (Common Mode Rejection Ratio), permite rechazar señales presentes en ambas entradas del AI. Para ello, a la primera etapa del AI se le da toda la ganancia, mientras que la segunda etapa tiene valor unitario. Esto permite amplificar la señal deseada y eliminar esa señal indeseada presente en el modo común. El esquemático es el siguiente:



4. Servidor Web + RTC + SNTP

La placa definida como “Máster” más arriba, será la encargada de lanzar el servidor web, además de tener habilitado el **RTC (Real Time Clock)** configurado mediante el protocolo **SNTP (Simple Network Time Protocol)** a fin de llevar un seguimiento real del sistema. Cuando la placa “Slave” envíe datos a la placa “Máster”, esta los almacenará en función a la fecha y hora.

Como se detalló anteriormente, lo primero que habrá nada más acceder a la web será un botón de acceso para que el sistema sepa que un usuario se ha conectado a la web. En el momento en el que el usuario entre, habrá un “Menú principal” en el cual se visualizará la hora y fecha de ese momento. En este menú habrá tres hipervínculos disponibles:

- **Datos actuales del invernadero**
- **Media semanal de los datos**
- **Consumo actual del sistema**

En la primera sección, **datos actuales del invernadero**, nada más entrar, se podrá ver los datos reales actuales de los sensores disponibles en el invernadero. Se dividirá en cinco partes para cada parámetro: temperatura, humedad, calidad del aire, luminosidad y

cantidad de agua. De forma iterativa, el usuario podrá ver cada parámetro, aparte de apreciarse la fecha y hora actual de visualización. Respecto a la segunda sección, **media semanal de los datos**, al entrar a esa página, el usuario podrá ver una media de los parámetros del invernadero hasta el momento de la visualización. Por ejemplo, si es miércoles, el usuario verá una media diaria de los datos del invernadero hasta ese mismo miércoles. Por último, **consumo actual del sistema**, el usuario podrá ver el consumo actual del sistema en el momento de la visualización.

Los valores de **temperatura y hora** se presentan en formato numérico con su respectiva unidad (por ejemplo: 23.4°C, 14:35:20).

Los valores de **humedad y depósito de agua** se expresan como **porcentajes (%)**, reflejando el nivel relativo con respecto a su valor máximo o umbral predefinido.

Además, en el caso de la **luminosidad** y el **depósito de agua**, además del valor numérico, se incluye una **barra gráfica horizontal** (tipo *progress bar*) para representar visualmente el nivel actual., esto ofrecerá una indicación clara del nivel disponible y del nivel de luz en el invernadero, facilitando la toma de decisiones como el riego o recarga del depósito.

5. Modos de bajo consumo

Para garantizar la eficiencia energética del sistema y control del invernadero, se implementarán estrategias de bajo consumo en ambas placas.

La placa Máster y Slave entraran en el modo bajo consumo (Stop Mode) durante los periodos en los que no se requiera una medición inmediata. Este modo permite un despertar rápido por interrupciones del RTC, o de los sensores, y por la conexión de un usuario a la web o la entrada física al invernadero, reduciendo significativamente el consumo sin comprometer la respuesta del sistema.

El microcontrolador despertará del modo de bajo consumo en los siguientes casos:

- Por RTC:
 - Se programará un temporizador RTC para despertar el sistema en intervalos definidos, para realizar mediciones.
- Por sensores:
 - Si un sensor detecta una variación crítica, despertará el sistema inmediatamente para tomar una nueva medición y alertar a la placa Máster.
- Conexión a la Web:
 - Como se ha explicado en el apartado anterior, el botón de acceso en la web se encargará de despertar al sistema.
- Acceso físico al invernadero (RFID):
 - Cuando se acerca una tarjeta de acceso al lector NFC, se envía una señal para despertar al sistema.

Para reducir el consumo, los sensores y periféricos se activarán solo cuando sea necesario:

- BME680: Operará en intervalos de medición programados o en respuesta a cambios bruscos.
- BH1750: Se activará en ciclos específicos.

- HC-SR04: Se activará solo en momentos puntuales para verificar el nivel del agua.

6. Estimación de presupuesto

Componente	Cantidad	Precio unitario (€)	Subtotal (€)
Sensores			
BME680 (Humedad y Calidad Aire)	1	4,8	4,8
BH1750 (Sensor de luz)	1	En posesión *	En posesión
HC-SR04 (Sensor ultrasónico)	1	En posesión	En posesión
Memoria y almacenamiento			
AT24C256 (EEPROM I2C 256Kb)	1	2	2
Comunicación y conectividad			
Módulo NFC (para acceso presencial)	1	5	5
Alimentación y conversión de energía			
Reguladores	7	1,5	10,5
8 Baterías 18650 (3.7V cada una, para alimentar el sistema)	8	3	24
Placas PCB			
Placa PCB acondicionamiento RTD (Sensor)	1	20	10
Placa PCB alimentación y consumo	1	20	10
Componentes del amplificador de instrumentación			
Amplificador operacional (para el amplificador de instrumentación)	2	3	6
Resistencia Shunt (para medición de corriente)	1	2	2
Otros componentes electrónicos			
Resistencias, capacitores, cables, PCB prototipo	-	15	10
TOTAL			84,3 €

(*) Los estudiantes ya disponen de dichos componentes y por ende no forman parte del presupuesto