

# Propuesta de digitalización de un Sistema Hidropónico Autocontenido.

## Proposal for digitalization of a Self-Contained Hydroponic System.

Presentación: 17/10/2023

### Agustín Aicardi

Universidad Tecnológica Nacional (UTN) – Facultad Regional Santa Fe (FRSF)  
aaicardi@frsf.utn.edu.ar

### Tomás Auday

Universidad Tecnológica Nacional (UTN) – Facultad Regional Santa Fe (FRSF)  
audaytomas@gmail.com

### Resumen

Este trabajo se enfoca en la digitalización de un sistema para el ensayo de la producción de plantas medicinales a través de la hidroponía. Se describe cómo lograr la interoperabilidad de activos con capacidad de comunicación pasiva dentro de las arquitecturas de la Industria 4.0, a un bajo costo. Esto se consigue a través de un control automático, que regula los parámetros del sistema a través de mediciones de sensores y el procesamiento de datos, para que las plantas puedan desarrollarse en un ambiente controlado. Además, se propone la creación de un gemelo digital del sistema para integrar los datos del sistema en tiempo real, proporcionando una visión completa y actualizada del mismo. Se presenta un sistema innovador y eficiente que demuestra el potencial de estas novedosas tecnologías y sus arquitecturas de referencia en esquemas productivos.

**Palabras clave:** Industria 4.0, Hidroponía 4.0, automatización, gemelo digital.

### Abstract

This study focuses on the digitalization of a system for testing the production of medicinal plants through hydroponics. It describes how to achieve interoperability of assets with passive communication capabilities within Industry 4.0 architectures, at a low cost. This is achieved through automatic control, which regulates system parameters through sensor measurements and data processing, so that plants can develop in a controlled environment. In addition, the creation of a digital twin of the system is proposed to integrate system data in real time, providing a complete and updated view of it. An innovative and efficient system is presented that demonstrates the potential of these novel technologies and their reference architectures in production schemes.

**Keywords:** Industry 4.0, Hydroponics 4.0, automation, digital twin.

### Introducción

La Industria 4.0 se ha convertido en un elemento clave para la competitividad y la innovación en el panorama industrial actual. Su capacidad para digitalizar, automatizar e interconectar los procesos de producción brinda beneficios significativos en términos de eficiencia, calidad, toma de decisiones y adaptabilidad (P. Leitão et al., 2023), como, por ejemplo:

- Mejora de la eficiencia y la productividad: permite la automatización de procesos, reduciendo la necesidad de intervención manual y aumentando la eficiencia y la productividad.
- Calidad mejorada: permite el seguimiento y control de los procesos en tiempo real, lo que puede mejorar la calidad de los productos y servicios.
- Mayor flexibilidad: permite la personalización de productos y servicios para satisfacer las necesidades específicas de los clientes, aumentando la flexibilidad y la capacidad de respuesta.

- Mejora de la toma de decisiones: brinda acceso a datos y análisis en tiempo real, lo que permite una mejor toma de decisiones y resolución de problemas.
- Seguridad mejorada: La digitalización puede mejorar la seguridad al permitir el monitoreo y control remotos de procesos y equipos peligrosos.

Por otra parte, el sistema de cultivo elegido es la Hidroponía. Este es un método de cultivo sin suelo que ha adquirido una gran relevancia en los últimos tiempos debido a sus numerosos beneficios, como lo son, una menor utilización de agua en comparación con el método convencional, la posibilidad de realizar un control preciso de los nutrientes y las condiciones de crecimiento de las plantas, la disminución de la necesidad de pesticidas y herbicidas y la flexibilidad en términos de ubicación y una menor superficie para una misma cantidad de plantas con respecto a la agricultura tradicional.

Este trabajo se realiza en el marco del Proyecto de Investigación y Desarrollo TEUTIFE0007860TC, perteneciente a diferentes grupos de investigación de UTN FRSF (GIEDI, CIDISI) el cual cuenta con especialistas en sistemas de información, mecánica, electrónica y biotecnología, donde se plantea aplicar los conceptos de esta nueva era tecnológica a un sistema de cultivo hidropónico de plantas medicinales.

Resulta una etapa posterior a un mapeo sistemático de la literatura en el cual se analizó el estado del arte en la aplicación de los diferentes componentes inteligentes y de conectividad en el marco de la Industria 4.0, que permiten implementar Hidroponía 4.0. (Aicardi, 2022).

Además, se basa en un prototipo de sistema de Hidroponía Indoor 4.0 el cual usa dispositivos de bajo costo que sientan las bases para la elaboración de una herramienta que permita digitalizar el proceso de crecimiento de plantas medicinales, buscando su optimización y estandarización (Mattei et al., 2022).

## Propuesta

La propuesta se desarrolló tomando como base el esquema RAMI 4.0 (Reference Architecture Model Industry), el cual se apoya en un conjunto de estándares organizados en un modelo tridimensional. Este modelo tiene la finalidad de describir aspectos críticos de la Industria 4.0 de una manera que permita descomponer interrelaciones complejas en grupos más pequeños y simples.

La digitalización de los procesos de producción y los activos juega un papel fundamental en la implementación de los conceptos de la Industria 4.0. Utilizando el modelo RAMI, podemos identificar los activos involucrados en un problema específico, analizar su posición en la pirámide de automatización y en el ciclo de vida, e integrar los activos en diferentes niveles de las tecnologías de la información, lo que abre la puerta a una mayor eficiencia y mejor toma de decisiones en el entorno industrial.

Del proceso de cultivo de plantas medicinales, se encontraron las siguientes ventajas que puede conllevar la digitalización del activo y la aplicación de los conceptos de Industria 4.0:

- Relacionado con el proceso de cultivo: trazabilidad de procesos, optimización del rendimiento del cultivo y desarrollo y ensayo de nuevas técnicas de cultivo.
- Relacionado con los aditivos utilizados en nutrición: desarrollo y ensayo de nuevas soluciones nutritivas y fertilizantes e identificación de concentraciones óptimas de nutrientes para diferentes tipos de plantas y etapas de crecimiento.
- Relacionado con la información del microclima: desarrollo de nuevas técnicas de iluminación, estudio del comportamiento de los cultivos bajo diferentes condiciones ambientales e identificación de los factores ambientales que más influyen en el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

## Descripción del activo a digitalizar

El sistema físico sobre el cual se trabaja es un prototipo de un Sistema Hidropónico Autocontenido, dedicado al cultivo de plantas medicinales (Mattei et al., 2022).

Teniendo en cuenta los resultados conseguidos en el mapeo sistemático de la literatura y los objetivos propios del proyecto en el que este trabajo se enmarca, se decidió implementar este sistema indoor de cultivo hidropónico tipo NFT de plantas de menta, automatizado gracias a sensores y actuadores controlados por una placa Arduino [4], que posibilitan la obtención de un muestreo

de las distintas variables de interés, el cual se almacenará de manera temporal en memoria de una placa Raspberry Pi [5]. Posteriormente, estos datos serán enviados a un servidor en la nube donde un API Rest [6] permitirá que los datos puedan ser almacenados en una base de datos NoSQL [7] (MongoDB), a la cual se podrá acceder mediante una aplicación web que permitirá la visualización de la información relevada, de forma organizada. La Figura 1 muestra la esquematización del Sistema.

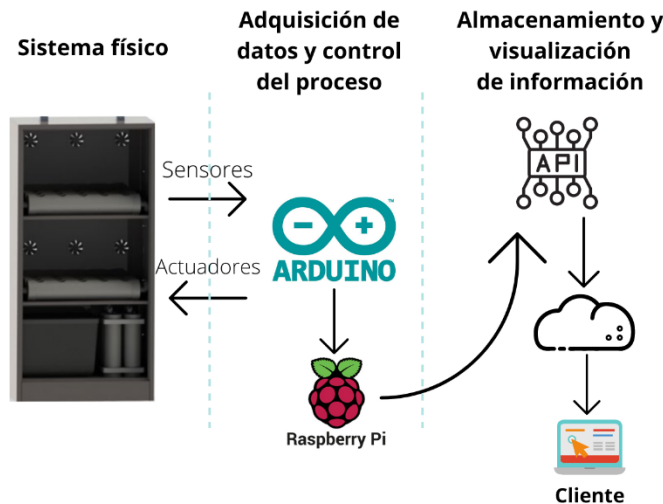


Fig. SEQ "Figure" \\* ARABIC1. Esquematización del Sistema.

## Control

Persiguiendo el objetivo de aplicar los conceptos de Industria 4.0 al sistema hidropónico mencionado, como primer paso se plantea comenzar con la recolección de datos que fundamenten la digitalización. Para ello, existe una amplia variedad de sensores ubicados estratégicamente en el sistema físico, que se encargan de recolectar dichos datos (específicamente, variables del ambiente que son de interés para el correcto desarrollo de las plantas). Los mismos se detallan a continuación en la Tabla 1.

Variable	Razón de ser medida	Sensor
pH del agua	Crítico para el crecimiento saludable de las plantas, ya que afecta la disponibilidad de nutrientes.	Sensor PH-4502C + Electrodo E201-BNC
Conductividad eléctrica del agua	Es un indicador de la cantidad de sales disueltas en ella. Un nivel adecuado de conductividad eléctrica permite un suministro adecuado de nutrientes a las plantas.	Sensor TDS con electrodo
Temperatura del agua	Afecta el crecimiento y la salud de las plantas de menta.	Ds18b20
Temperatura del ambiente	Afecta el crecimiento y la salud de las plantas de menta.	DHT22
Humedad relativa del ambiente	Afecta la transpiración de las plantas y su capacidad para absorber nutrientes.	DHT22
Iluminación	Es esencial para el crecimiento y la fotosíntesis de las plantas. La cantidad y la calidad de la luz afectan directamente el rendimiento de la planta.	Fotorresistencia
Nutrientes	Son esenciales para el crecimiento de las plantas y deben estar disponibles en la cantidad y proporción adecuadas.	Caudalímetro
Fluido nutritivo	Según los requerimientos, tanto la cantidad de veces al día como el caudal del fluido nutritivo que es recirculado por el sistema puede ser regulado.	Caudalímetro

Tabla 1 - Sensores y variables a medir.

Además de medir los distintos parámetros mencionados, resulta de interés realizar un control del proceso que permita regularlos y ajustarlos de manera automática a valores deseados previamente definidos. Para esto, se realizará una continua comparación entre ambos para establecer la condición de acción de los distintos actuadores, entre los cuales encontramos:

1. Bomba principal: ubicada dentro del recipiente principal, encargada de hacer recircular la solución nutritiva por todo el sistema, permitiendo que todas las plantas tengan acceso a ella.
2. Bombas secundarias: ubicadas dentro de los recipientes secundarios, encargadas de suministrar los distintos aditivos, ya sea los reguladores de pH como los nutrientes
3. Luces LED: ubicadas de manera tal que dos de ellas iluminen cada estante, encargadas de simular las condiciones de exposición al sol para el correcto desarrollo de las plantas.
4. Ventiladores: tres por nivel, ubicados en la pared posterior de la envolvente metálica, encargados de extraer el aire circulante en el sistema con el fin de disminuir la temperatura.

La Figura 3, extraída de [2], presenta los diferentes actuadores del sistema, detallados en los incisos previos. Los números que se observan referencian a cada actuador.



**Fig. 3.** Actuadores del Sistema.

Teniendo en cuenta que, como se mencionó en la Sección 2, se utilizarán tecnologías de bajo costo, se eligió una placa Arduino Mega 2560 para recibir las mediciones de los sensores y accionar los actuadores.

En esta primera instancia, el control que se realizará será de tipo on/off, a través de sucesivas comparaciones entre los valores medidos y los de referencia. Por ejemplo: la temperatura será obtenida de manera regular y, si se detecta que supera los límites establecidos, se ejecutará la acción para encender los ventiladores que extraerán el aire caliente del sistema, expulsándolo y permitiendo que se renueve por otro a menor temperatura que ingresará debido a la presión negativa. Los mismos permanecerán funcionando hasta que el valor medido de temperatura disminuya por debajo del límite.

De igual manera se plantea regular el pH, la humedad y la cantidad de nutrientes (obtenida con la conductividad), así como el agregado de las distintas soluciones al recinto principal. Para el caso de las luces LED y la recirculación del fluido nutritivo, en lugar de utilizar datos medidos y compararlos con uno límite, se trabajará con intervalos de tiempo.

Los valores obtenidos de los sensores y el estado de los actuadores no solo permiten realizar un control automático del sistema, sino que también resultan de utilidad para almacenarlos, mostrarlos y compararlos. Es por ello que, gracias al mismo código de Arduino que realiza la automatización, cada una de estas mediciones son almacenadas en variables, que periódicamente son enviadas a través del puerto serial a la placa Raspberry Pi.

## Modelo RAMI 4.0 y gemelo digital

Una vez identificado y caracterizado el activo a digitalizar se procede a describir cómo se ubica éste dentro del modelo tridimensional de la RAMI 4.0. Para integrarlo se definen las siguientes tres capas de interoperabilidad que posibilitarán que se comuniquen e intercambie información.

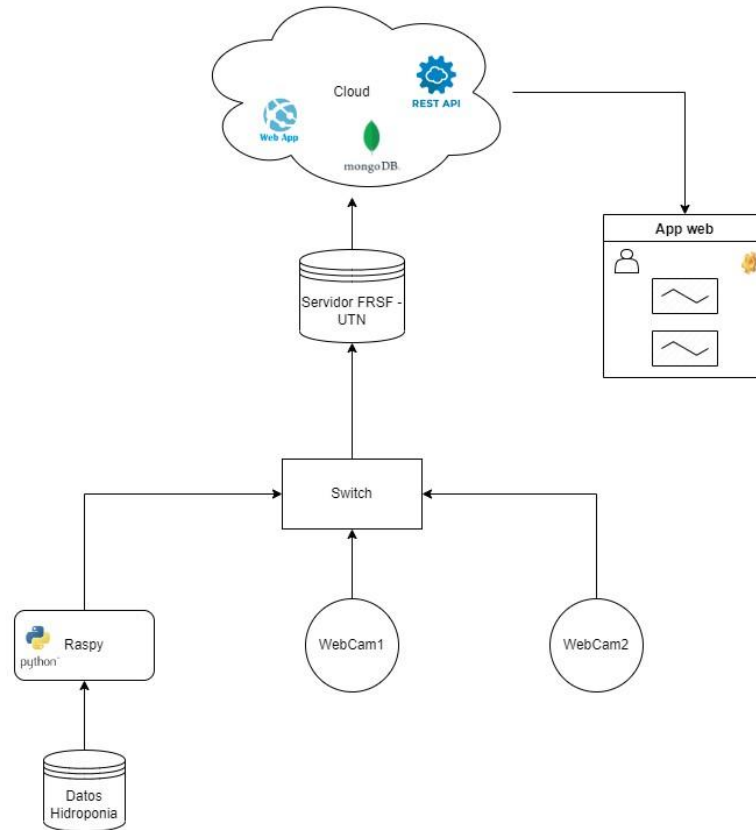
- Capa de integración: es la capa que posibilita la transición del “mundo real” o físico al mundo digital. En esta capa se realiza la obtención de los datos físicos mediante la medición de las variables anteriormente mencionadas.
- Capa de comunicación: se define cómo se gestionan, transmiten y distribuyen los datos. Para la transmisión de los datos obtenidos por los sensores se propone utilizar una comunicación serial entre la placa Arduino encargada de las mediciones y el control del sistema, y la placa Raspberry pi.
- Capa de información: En este punto, resulta de interés incorporar una representación digital del activo físico, o gemelo digital. Para ello se utiliza el Asset Administration Shell (AAS). Un AAS es una representación digital estandarizada de un activo, la cual permite modelarlo. Además, brinda la posibilidad de identificar cada una de las variables de interés del sistema, etiquetándolas inequívocamente para su futuro procesamiento.

## Almacenamiento y visualización de la información

Como se describió anteriormente, una vez que los datos llegan a la Raspberry Pi, comienzan a ser procesados para finalmente poder ser mostrados en una interfaz web.

Este proceso de almacenamiento y visualización de la información se compone de los siguientes pasos:

1. Los datos son tratados de manera local en la Raspberry Pi, haciendo uso de una aplicación desarrollada en Python que, con la información recibida del Arduino, genera archivos XML para almacenarlos en la memoria interna de la Raspberry Pi.
2. Estos archivos XML, serán enviados por medio de internet, haciendo uso de la infraestructura de red mostrada en la Figura 4, y serán recibidos por un servidor alojado en la nube.
3. En dicho servidor se ejecutará una API REST, desarrollada en Spring Boot, que nos brindará el servicio de recibir estos datos en formato XML y los convertirá en formato JSON para ser almacenados en la base de datos MongoDB.
4. Una vez en MongoDB los datos estarán disponibles para ser visualizados y tratados por una aplicación web, la cual también estará alojada y se ejecutará en la nube. Dicha aplicación web contará con una interfaz de usuario donde los datos podrán ser accedidos por quien lo requiera. Además, contará con una ventana donde se podrá ver en tiempo real la imagen de dos cámaras web que monitorean continuamente el Sistema Hidropónico Autocontenido.



**Fig. 4.** Esquema de transferencia y visualización de datos.

## Conclusiones

En primera instancia, el conexionado de sensores y actuadores a la placa Arduino será realizada por medio de cables tipo “Dupont”, permitiendo llevar adelante pruebas y modificaciones de manera sencilla. En el futuro, se confeccionará una PCB (Printed Circuit Board) que aloje al Arduino y permita conexiones a través de pistas de material conductor, consiguiendo una electrónica más robusta y confiable.

Una vez el sistema se encuentre funcionando, deberá ponerse a prueba para determinar si es necesario realizar mediciones constantemente (en el orden del segundo o menor) o si es técnicamente conveniente y no presenta ningún problema para el desarrollo de las plantas realizar los muestreos en rangos de tiempo mayores.

El sistema de control será reemplazado por uno que permita realimentación, para realizar un ajuste más eficiente y preciso.

## Referencias bibliográficas

1. P. Leitão, S. Karnouskos, T. I. Strasser, X. Jia, J. Lee and A. W. Colombo, "Alignment of the IEEE Industrial Agents Recommended Practice Standard With the Reference Architectures RAMI4.0, IIRA, and SGAM," in IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society, vol. 4, pp. 98-111, 2023, doi: 10.1109/OJIES.2023.3262549.
2. Aicardi A. (2022), "Hidroponía 4.0: un Mapeo Sistemático de la Literatura".
3. Mattei, A.; Orué, M.; Caliusco, Ma. Laura (2023). Laboratorio Autocontenido Hidropónico 4.0. CAIM/CAIFE. Santa Fe (Argentina)
4. Página principal Arduino. <https://arduino.cc/>.
5. Página principal Raspberry Pi. <https://www.raspberrypi.com/>.
6. ¿Qué es una API REST? <https://www.ibm.com/es-es/topics/rest-apis>.

7. ¿Qué es No SQL? <https://aws.amazon.com/es/nosql/>.