

Dispensador Inteligente de Frutos Secos para Producción Personalizada en la Industria 4.0

Castro-Martin, Ana Pamela^{1,*} ; Silva-Naranjo, Patricio¹ 

¹Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, Ambato, Ecuador

Resumen: Los sistemas tradicionales de producción y manufactura se basan en una producción en masa o en lotes donde los productos poseen las mismas características para todos los clientes. Ante los cambios en las tendencias tecnológicas y requerimientos de los clientes, surge la producción personalizada, en la cual el cliente es una fuente de información para la línea de fabricación inteligente. En el presente trabajo, se diseña un dispensador inteligente de frutos secos con el cual los clientes puedan realizar el pedido seleccionando la cantidad en gramos de cuatro tipos de frutos secos. En el sistema se implementa una arquitectura de Internet de las Cosas (IoT) compuesta de tres capas: dispositivos, procesamiento y servicios en la nube. La capa de dispositivos utiliza sensores, actuadores, y mecanismos para la dispensación. La capa de procesamiento de datos en la niebla se realiza mediante las tarjetas electrónicas Arduino Mega y ESP8266. En la capa de servicios en la nube, se desarrolló las interfaces Web para clientes y administradores, estas interactúan permanentemente con una base de datos MySQL. En las pruebas se obtuvo un tiempo máximo de retardo de actualización de datos de 1,3 segundos, el tiempo promedio de llegada de un nuevo pedido fue de 1,7 segundos y un error promedio de 0.8 gramos en la dispensación. El dispensador posee características como flexibilidad al preparar el producto, conectividad, interacción constante con los usuarios, y actualizaciones de estado del sistema en tiempo real que lo integran a las tecnologías usadas en la Industria 4.0.

Palabras clave: Industria 4.0, dispensador inteligente, producción inteligente, producción personalizada, Internet de las cosas

Smart Nut Dispenser for Customized Production in Industry 4.0

Abstract: Traditional production and manufacturing systems are based on mass or batch production where products have the same characteristics for all customers. Given the changes in technology trends and customer requirements, personalized production arises, in which the customer is a source of information for the intelligent manufacturing line. In the present work, an intelligent dispenser of mixed nuts is designed in which customers can place the order by selecting the quantity in grams of four types of nuts. The system implements an architecture of Internet of the Things (IoT) composed of three layers: devices, processing, and cloud services. The device layer uses sensors, actuators, and mechanisms in the dispensing system. The processing layer is done by fog computing with the Arduino Mega and ESP8266 electronic cards. In the cloud services layer, the Web interfaces for clients and administrators were developed, these interact permanently with a MySQL database. In the tests, the maximum data update delay time was 1.3 seconds, the average arrival time of a new order was 1.7 seconds, and an average error was 0.8 grams in dispensing. The smart dispenser has features that integrate it with the technologies used in Industry 4.0, such as: flexibility when preparing the product, connectivity, constant interaction with users, and real-time system status updates.

Keywords: Industry 4.0, smart dispenser, smart production, customized production, Internet of Things

1. INTRODUCCIÓN

La Industria 4.0 conocida como la cuarta revolución industrial es un modelo que está concentrado en la autoorganización, autogestión de sistemas productivos automatizados, nuevas tecnologías digitales y el uso de Internet (Sukhodolov, 2019). La Cuarta Revolución Industrial es actualmente uno de los

caminos hacia el desarrollo económico que trae cambios profundos de modernización para los sectores productivos en la economía nacional (Popkova, et al., 2019). La Industria 4.0 sumerge a las empresas en una mejora continua de sus procesos e innovación por medio de la tecnología y la conectividad entre los diferentes elementos que componen una industria. Esta conectividad permite el intercambio de datos

*ap.castro@uta.edu.ec

Recibido: 03/01/2023

Aceptado: 31/05/2023

Publicado en línea: 14/11/2022

10.33333/tp.vol52n2.02

CC 4.0

crudos, datos procesados e información útil que sirve para las decisiones con base en análisis computarizados, dando lugar a la incorporación de sistemas inteligentes, fábricas más eficientes donde se automatizan procesos de fabricación, y esto es posible gracias al IoT y el concepto de hiperconectividad (Sánchez, 2018).

El aumento de la competencia industrial, la demanda del mercado y los costos de producción son aspectos que los emprendedores deben enfrentarse para iniciar con éxito un negocio. La fabricación inteligente y personalización de productos son estrategias que países como Corea del Sur, Dinamarca, Estados Unidos y Reino Unido utilizan para mantenerse como líderes en el mercado competitivo global (Del Val Román, 2016). Sin embargo, América Latina está influenciada por el marco económico interno de cada país, provocando poca iniciativa para reconfigurar los procesos en las empresas, olvidando que existen más herramientas que impulsan la transformación industrial, como la aplicación de nuevas tecnologías, la creatividad comercial y la investigación (Del Val Román, 2016).

En el Ecuador, la Industria 4.0 obtuvo mayor relevancia desde el año 2018, cuando el Ministerio de Telecomunicaciones presentó el libro Blanco de la Sociedad de la Información y el Conocimiento donde establece 5 ejes de desarrollo: infraestructura y conectividad, gobierno electrónico, inclusión y habilidades digitales, seguridad de la información y protección de datos, economía digital y tecnologías emergentes. Estos ejes de acción se centran en la transformación digital de los distintos sectores productivos del país (MINTEL, 2018). Sin embargo, en la mayoría de los sectores industriales en el Ecuador la adopción de nuevas tecnologías acorde a la Industria 4.0 es lenta. Según el estudio, "Readiness for the Future of Production", realizado en 2018, Ecuador tiene una calificación de 89/100 en la evaluación de la preparación para futuro de la producción, lo que indica un déficit en la generación Innovación y Tecnología en el país (Martin et al., 2018). Debido a esto, el gobierno de turno posee una agenda de actividades para que los sectores productivos transformen sus procesos y servicios haciéndolos más eficientes y con valor agregado, por medio del uso de nuevas tecnologías; pero muchas veces la innovación tecnológica es un paso que las empresas se resisten a darlo (Hernández, 2019; Fenech y Perkins, 2019; Carrera, 2020).

Los avances tecnológicos y las transformaciones en los mercados de la era moderna trajeron paradigmas de producción y entre los más desafiantes está la producción personalizada, la cual integra los requisitos del cliente en el diseño y configuración del producto; contrariamente a la producción en masa donde los productos tienen un enfoque basado en restricciones (Mladineo et al., 2022). Las empresas tienen el reto de añadir productos y servicios innovadores para atraer a los compradores y continuar siendo competitivos en el mercado, por lo cual, la personalización es una buena respuesta ante la demanda de los consumidores (Del Val Román, 2016). En el año 2020, Ecuador estableció como objetivo que las ciudades tradicionales deben dar el paso hacia el concepto de ciudades inteligentes y sostenibles, para que el país pueda

mejorar su competitividad en el mercado local e internacional por medio del uso de nuevas tecnologías (MINTEL, 2020).

En Ecuador, la producción personalizada es poco automatizada, y en su mayoría de manera artesanal. Sin embargo, la fabricación en ciertos sectores productivos se ha logrado gracias a la adquisición de maquinaria automatizada para la fabricación. Por ejemplo, en el trabajo realizado por Tipaz-Portilla (2019) se realiza un análisis sobre el cambio de los procesos de fabricación tradicionales en nuevos modelos de negocios con fabricación digital utilizando sistemas CAD, CAE Y CAM en tecnologías de fabricación como: impresión 3D, corte y grabado con láser, corte vinil, enrutador CNC para madera. Estas tecnologías son accesibles en Ecuador, lo que permite el diseño, desarrollo e innovación de productos desarrollados como prototipos. Coloma-Sevilla (2017) presenta la personalización de vajillas donde los clientes como chefs, y propietarios de restaurantes desean brindar una experiencia única en la presentación de los platos en sus establecimientos. Los clientes especifican características de fabricación como tamaño, color, material, forma y textura, pero la manufactura de vajillas personalizadas es un trabajo manual y poco tecnificado. En investigaciones realizadas en Ecuador, los dispensadores inteligentes están enfocados en aplicaciones como alimentadores para mascotas (Alvarez et al., 2021) y dispensador de medicamentos (Encalada-Grijalva et al., 2019; Alarcón, 2022), estos tienen características como comunicación inalámbrica, generación de alertas automáticas y monitoreo constante del sistema.

El mercado actual de venta de alimentos a granel comercializa los productos por cantidades estandarizadas en libras o kilogramos. Actualmente, no existen dispensadores de alimentos al peso o frutos secos que permita al cliente personalizar el pedido a nivel de gramos mediante un medio digital como dispositivo móvil o un computador. Los dispensadores de frutos secos o de cereales del mercado son manuales y no presentan características de automatización e hiperconectividad IoT de la Industria 4.0.

El aporte del presente trabajo es el diseño de un dispensador de frutos secos con características que lo introducen en la Industria 4.0 con base en los conceptos de producción personalizada. Se presenta una arquitectura IoT de tres capas: de dispositivos, de procesamiento y de servicios en la nube; que posibilita la interconexión de los componentes físicos al entorno virtual donde el cliente puede realizar un pedido personalizado.

En la sección 2 de este artículo, se presenta la revisión del estado del arte de la producción personalizada y un análisis de arquitecturas IoT desarrolladas por autores en aplicaciones de diversas áreas para establecer las principales características de un sistema que pueda ser implementado en un dispensador inteligente de frutos secos. En la sección 3, se propone una arquitectura IoT detallando los aspectos que definen cada capa, posteriormente se describe la implementación del dispensador inteligente de frutos secos detallando los componentes electrónicos, físicos, desarrollo de software y protocolos de comunicación utilizados para dar la inteligencia al sistema. La sección 4 contiene los resultados obtenidos de

la implementación del dispensador que permite la personalización de pedidos. En la sección 5, se presenta las conclusiones.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Fábricas inteligentes y producción personalizada

La producción industrial inteligente, el uso de computadores rápidos, sensores y máquinas inteligentes, almacenamiento y transmisión de datos; son características de la Industria 4.0 que permiten procesos industriales eficaces, productos personalizados e individualizados a costos razonables (Vaidya et al., 2018). La transformación digital en las empresas provoca la transformación de fábricas tradicionales a fábricas inteligentes donde los procesos de producción e interacción con los clientes se realizan utilizando tecnologías IoT.

Las empresas que implementan fábricas inteligentes tienen la posibilidad de generar mayor crecimiento en las ventas, alta aceptación en el mercado y mayor rentabilidad. Además, la transformación exitosa de fábricas comunes en inteligentes trae beneficios como reducción de los costos de producción, aumento de la calidad y flexibilidad, y reducción del tiempo de comercialización (Sjödín et al., 2018). Al hablar de fábricas inteligentes es necesario introducir el concepto de líneas de producción inteligente que, a diferencia de la producción tradicional, está conectada en forma continua el espacio físico con el ciberespacio por medio de las tecnologías como IoT, Big Data, e Internet móvil posibilitando el cambio de la producción masiva a la producción personalizada (Zhang et al., 2017). Para la inmersión de las empresas a la Industria 4.0 es necesario producir equipos y diseñar productos industriales que permitan una reorientación de las líneas de producción y procesos (Popkova et al., 2019).

Varios autores han trabajado en aplicaciones de producción personalizada y fabricación inteligente. Wang et al. (2018) en su trabajo exponen como aplicación de consumo personalizado el empaque de dulces, que realiza un diseño de fábrica inteligente con una arquitectura de tres capas: dispositivos físicos, nube privada, y terminales de clientes y redes. El sistema trabaja con un esquema de interacción y negociación entre capas para una reconfiguración dinámica que permite producción híbrida de productos de varios tipos. Barni et al. (2018) presentan una infraestructura de fábrica digital aplicada al diseño y construcción de muebles personalizados. Se diseña un sistema integral para la fabricación de muebles personalizados a través de la integración de software bajo una infraestructura diseño y producción que sea capaz de responder a la alta variabilidad del mercado. La conexión entre los requerimientos de los clientes en la tienda, con la fábrica de muebles; se realiza por medio de los servicios en la nube con operaciones de Gateway centralizado que gestiona los módulos de software para la fabricación inteligente. Una fábrica inteligente reconfigurable para el empaque de medicinas es presentada por Wan et al. (2018), la cual utiliza una arquitectura de tres capas: de percepción, implementación y ejecución. En la capa de percepción se adquieren los requerimientos del mercado en una base SQL y se programa el plan de producción que pueden

ser reconfigurables según la demanda de medicamentos. El sistema muestra gran flexibilidad y logra una reconfiguración útil para el desarrollo de la industria farmacéutica del futuro.

2.2 Análisis de Arquitecturas Iot

El amplio mundo de IoT presenta gran variedad de comunicaciones, redes, sensores, módulos y computación. Sin embargo, carece de una arquitectura IoT o modelo de referencia estandarizado para que los emprendedores puedan adoptar al momento de renovar sus servicios (Madakam et al., 2015). A fin de seleccionar una adecuada arquitectura del sistema se realizó un análisis de las arquitecturas IoT propuestas por varios autores.

Mocnej et al. (2018) presentan una arquitectura de tres bloques funcionales: dispositivo final, puerta de enlace y nube; esta arquitectura es utilizada como solución de optimización de recursos de componentes IoT. El bloque del dispositivo final se describe con tres capas: abstracción de conectividad para la conexión del dispositivo a la red, servicios del dispositivo con módulos que optimizan los recursos del dispositivo, y aplicación personalizada con capacidad de procesamiento para tareas dedicadas. El bloque de la puerta de enlace cumple con funciones de conectividad, gestión de dispositivos finales y gestión de datos. La nube es usada como administradora que permite gestionar y configurar los dispositivos sin tener que acceder a la puerta de enlace de cada uno de ellos.

Germani et al. (2019) muestran en su investigación el diseño de una arquitectura para monitoreo continuo de ganado utilizando tecnología LPWAN. La arquitectura IoT se compone por dispositivos finales que recolectan datos, tienen la posibilidad de procesar los datos o no hacerlo y enviarlos a uno o más puertos de enlaces. La siguiente etapa de la arquitectura es representada por las puertas de enlace encargadas de comunicarse con el servidor por medio de una conexión TCP/IP. La última parte de la arquitectura se compone del servidor de aplicaciones que proporciona interfaces de programación de aplicaciones para recibir y mostrar los datos provenientes de las puertas de enlace para visualización en interfaces de gráficas de usuario.

Rahimi et al. (2018) proponen una arquitectura basada en 5G y nuevas tecnologías emergentes compuesta de 8 capas. La capa de dispositivos físicos conformada por sensores, actuadores y controladores con capacidad de procesamiento y bajo consumo energético. La capa de comunicación tiene dos subcapas: comunicación de dispositivo a dispositivo con protocolos de red inalámbricos y la subcapa de conectividad donde los dispositivos se conectan a un centro de comunicación que envían y analizan los datos. La capa de cómputo en el borde o en la niebla (Edge - Fog), se realiza procesamiento y toma de decisiones en el borde. La capa de almacenamiento de datos posee unidades de almacenamiento para datos procesados y no procesados. La capa de administración de servicio que realiza la administración de la red, el cómputo en la nube y análisis de datos. La capa de aplicación donde se realiza el análisis del mercado e inteligencia de negocios. La capa de procesamiento y colaboración donde personas pueden colaborar para el

desarrollo de IoT. Capa de Seguridad está encargada de dar seguridad a todas las capas de la arquitectura ante ciberataques.

Basado en un análisis de seguridad, Almrezeq et al. (2020) establecen una arquitectura de seis capas para el desarrollo de soluciones IoT. En la capa de percepción se encuentran los dispositivos y sensores que recolectan datos. La capa de red considerada el corazón de la arquitectura IoT, se encarga del enrutamiento, el flujo de datos, la transmisión de datos a través de un conjunto de protocolos y el movimiento seguro de datos desde la capa de percepción a la capa de soporte. La capa de soporte cumple funciones de almacenamiento para la gestión de datos y servicios de niveles inferiores, permitiendo la computación en la nube. La capa de aplicación es responsable del uso eficientes de los datos recopilados y describe aplicaciones IoT como casas inteligentes, ciudades inteligentes, rastreo de animales entre otras aplicaciones. La capa de procesamiento realiza tareas de: análisis, limpieza, transmisión de datos y generación de reportes. La capa empresarial administra los servicios y actividades del sistema IoT basado en los datos recibidos de la capa de aplicación.

En el trabajo presentado por Dineva y Atanasova (2021), se diseña una arquitectura IoT basada en Amazon Web Services, utiliza sistemas ciberfísicos, equipos de IoT y servicios nativos en la nube. Posee herramientas de cómputo, almacenamiento en bases de datos, análisis, red, dispositivos móviles, desarrollo IoT, aplicaciones entre otros. Los autores de este trabajo destacan la importancia de diseñar arquitecturas IoT flexibles que satisfagan las necesidades la diversidad de clientes que requieren los servicios. Los dispositivos utilizados en esta arquitectura trabajan bajo el concepto de “Edge”, computo en el límite que pueden operar con dispositivos locales aun si se pierde la conexión con la nube.

Una vez analizadas las arquitecturas IoT de varios autores, se determina que difieren en número de capas y características. La arquitectura IoT varían en función del alcance y el tipo de proyecto o industria en la que se lo implemente, además las arquitecturas IoT dependen sustancialmente de la necesidad de cómputo de los sensores y microcontroladores y del tipo de dispositivos disponibles para el desarrollo del prototipo, donde el presupuesto puede ser un limitante. Por ejemplo, en proyectos que requieran sensores que puedan tomar sus propias decisiones y emitir datos procesados y validados a su salida, sería muy conveniente armar una arquitectura con Edge Computing (Yousefpour et al., 2019). Por otra parte, si no se dispone del presupuesto necesario para adquirir los mencionados sensores, conviene utilizar un tipo de procesamiento Fog Computing, el cual permite utilizar sensores de bajo costo y los dispositivos que se encargan de la toma de decisiones y procesamiento de datos utilizando microcontroladores o miniordenadores conectados directamente a los sensores. Por último, si se cuenta con una conectividad a Internet permanentemente confiable y estable, se podría optar por procesar y validar los datos en el servidor alojado en la nube, es decir utilizando Cloud Computing; dependiendo de las necesidades del prototipo a desarrollar, se puede adoptar cualquiera de estos tres tipos de procesamiento de datos mencionados, o a su vez, una combinación de ellos

para aumentar la seguridad y filtro de datos tomando en cuenta la menor latencia posible. (Cao et al., 2020).

3. METODOLOGÍA

3.1 *Dispensador Inteligente*

Para el diseño físico de sistema de dispersión, se seleccionaron 3 categorías de frutos secos según el tamaño del grano: fino, medio y grueso. Se construyó un dispensador de frutos secos inteligente con cuatro contenedores que almacenan distintos productos según la categoría de tamaño de grano: ajonjolí, maní, pistachos y nuez. El dispensador cuenta con sensores para monitorear las cantidades de productos disponibles en cada contenedor y saber si se encuentra abierto o cerrado cada uno de ellos. Para que el sistema de dispensación automático pueda descargar cantidades solicitadas en gramos se requiere un sistema de control en lazo cerrado, este consiste en servomotores con mecanismos de tornillo sin fin que dosifican el producto y una celda de carga que envía la señal de retroalimentación al controlador. Se diseñó una arquitectura IoT que permite interactuar a los dispositivos y elementos del sistema con interfaces web donde el cliente puede realizar pedidos y el administrador pueda monitorear las ventas, inventario y registro de clientes. De esta manera, el dispensador implementado es compatible con las características de producción personalizada de la Industria 4.0.

3.2 *Arquitectura IoT propuesta*

Se propone una arquitectura IoT de tres capas que se muestra en la Figura 1, esta permite integrar las características de la Industria 4.0 al dispensador de frutos: Capa de Dispositivos, Capa de Procesamiento de Datos y Capa de Servicios en la Nube.

Capa de Dispositivos: Consiste en la conectividad de sensores, actuadores, medios de visualización y máquinas y elementos del medio físico de los procesos, donde se extraen datos y ejecutan acciones bajo la coordinación de las capas superiores de la arquitectura IoT. En esta capa, se necesita una medición de variables en tiempo real, por lo tanto, la toma de decisiones consiste principalmente en respuestas automáticas predefinidas por la siguiente capa (Castro-Martin, 2021).

Capa de Procesamiento: Esta capa tiene funciones de acondicionamiento de señales, procesamiento y estandarización de datos previo al envío y registro de estos en la Nube. Los elementos utilizados en esta capa son microcontroladores o microprocesadores conectados directamente a los sensores que permiten realizar operaciones matemáticas, transmisión de datos válidos y control de los componentes electrónicos mediante algoritmos de programación. El tipo de procesamiento de datos implementado en esta capa es de Fog Computing (cómputo en la niebla) ya que únicamente los microcontroladores son los encargados de la toma de decisiones. Para poder comunicarse con la próxima capa, los microcontroladores o miniordenadores deben tener conexión inalámbrica Wifi.



Figura 1. Arquitectura IoT propuesta para producción personalizada

Capa de Servicios en la Nube: Los servicios que proporciona esta capa principalmente es de almacenamiento de datos y de interacción con usuarios. En esta capa, se presenta el cómputo en la Nube (Cloud Computing), en el que los datos son enviados masivamente a servidores remotos por medio de Internet para ser procesados y validados por algoritmos de programación desarrollados en entornos Web. El procesamiento en la nube proporciona computación, redes, almacenamiento, control permite la interacción entre nube hasta la capa de dispositivos (Yousefpour et al., 2019). En esta capa, se establecen políticas de seguridad para la autorización y control de acceso a la información siendo un importante desafío la seguridad, propiedad, privacidad y uso compartido de datos. También proporciona información significativa a los usuarios por medio de técnicas de visualización y análisis de datos de IoT (Bhatt, 2019).

4. IMPLEMENTACIÓN

A continuación, se presenta la implementación de la arquitectura IoT propuesta para el dispensador inteligente de frutos para la producción personalizada en la Industria 4.0.

4.1 Implementación de la Capa de Dispositivos

Dentro de la capa de dispositivos se utilizan los sensores, actuadores y medios de visualización que reciben y envían señales para interactuar con los componentes del sistema. En la Tabla 1, se presentan los elementos del dispensador automático y se describen sus funciones.

En esta capa, los elementos se han agrupado en tres grupos como se muestra en la Figura 2: elementos del sistema de control que permiten la dosificación de productos, elementos para la monitorización de contenedores, y elementos de visualización. Los datos recolectados por los sensores y pulsadores son enviados hacia la capa de procesamiento de

datos de la arquitectura IoT. Una vez procesada la información se acciona los mecanismos de dispensación para entregar el producto solicitado.

Tabla 1. Elementos de la capa de dispositivos

Elemento	Modelo	Función
Sensor magnético de efecto hall	M44	Detectar si está o no abierta la compuerta de cada contenedor en el dispensador.
Sensor ultrasónico	HC-SR04	Medir, de forma continua, la cantidad de frutos secos disponible en los contenedores
Celda de carga y amplificador	Amplificador HX711	Pesar los frutos secos dispensados.
Servomotores	MG-995	Dar movimiento a los mecanismos de tornillo sin fin fabricados por impresión 3D para la dispensación del producto. Se usa dos servomotores en cada contenedor
Switch pulsador	Pulsador 12mm	Ante su activación, confirma el pedido para la dispensación de frutos
Diodos emisores de luz	LED rojo y verde 5mm	Indicar el estado de la puerta del contenedor (abierta o cerrada).
Display de cristal líquido	LCD 16X2	Mostrar los valores de los sensores.

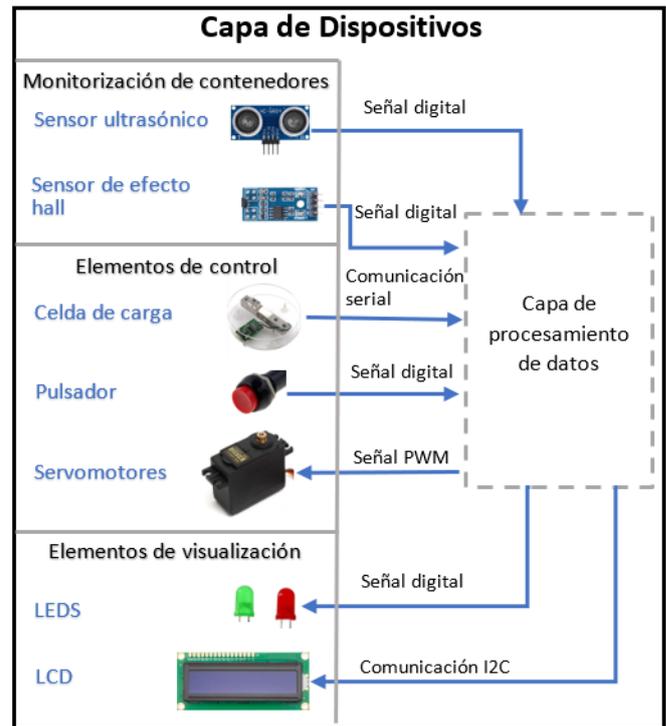


Figura 2. Diagrama funcional de la capa de dispositivos

4.2 Implementación de la Capa de Procesamiento de Datos

La capa de procesamiento de datos se desarrolla en la niebla (FOG computing), los datos enviados por los elementos de la capa de dispositivos son procesados en el microcontrolador, con lo cual se reduce la latencia y se evita las sobrecargas de datos innecesarios en el servidor. La tarjeta Arduino Mega, que trabaja con el microcontrolador ATmega2560, y el módulo NodeMCU basado en el chip ESP8266 procesan los datos de los sensores para tomar decisiones sobre la activación

de los actuadores y envían la información a las pantallas LCDs. La tarjeta Arduino Mega y la NodeMCU intercambian información gracias al uso de protocolo UART, estableciendo una comunicación semidúplex. El dispensador puede conectarse a la red de comunicación inalámbrica por medio de la interfaz Wifi que posee el módulo NodeMCU, de esta manera se realiza el intercambio de datos con un servidor local.

El protocolo de mensajería usado para el intercambio de información desde la capa de procesamiento hacia la capa de servicios en la Nube es HTTP, con el método POST. El envío de datos entre el microcontrolador NODEMCU y el servidor se realiza únicamente cuando se detecta un valor diferente al último recibido ya sea por porte de los sensores o de un pedido del cliente, esto ayuda a prevenir la sobrecarga del servidor y la base de datos. Los elementos de la capa de procesamiento de datos se muestran en la Figura 3.

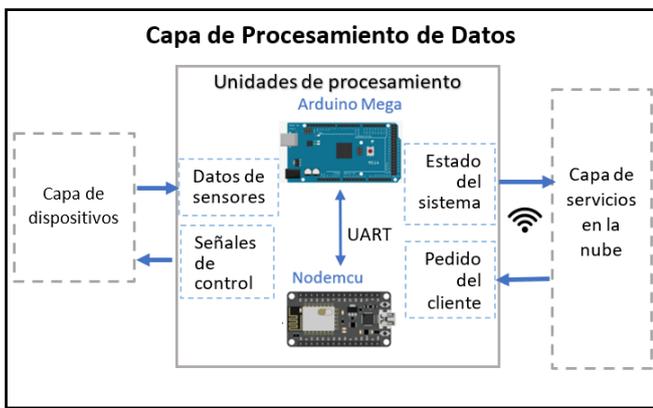


Figura 3. Diagrama funcional de la capa de procesamiento

4.3 Implementación de la Capa de Servicios en la Nube

Los componentes de la capa de servicios en la Nube se presentan en la Figura 4. Se desarrollaron dos interfaces web que permiten la interacción tanto del usuario vendedor, como del usuario cliente con el sistema, de esta manera se logra gestionar, monitorear y personalizar los pedidos. El vendedor puede acceder a herramientas de gestión de ventas individuales, venta acumulada, historial de pedidos, cantidad de usuarios registrados e inventario del producto disponible, es decir, de las cantidades de frutos secos en cada contenedor por medio de gráficos y tablas dinámicas. Por otra parte, el comprador puede personalizar su pedido estableciendo cuántos gramos de cada fruto seco desea comprar y finalmente conocer el valor de su compra, a la vez que disfruta de un entorno web llamativo visualizando los beneficios para la salud de cada producto.

Los datos enviados desde la capa de procesamiento hacia esta capa son almacenados en una base de datos MySQL instalada en el mismo servidor. Para el desarrollo del front-end de las interfaces web se utilizaron distintos lenguajes, como HTML que da la estructura para la creación de sitios web, CSS para estilizar los elementos creados en HTML y JAVASCRIPT para crear aplicaciones web interactivas y escalables con funciones dinámicas para el usuario. Por último, se empleó el framework Bootstrap, el cual combina potencialmente estos

tres lenguajes y posee componentes prediseñados que dan estilo a los componentes en las páginas web.



Figura 4. Diagrama funcional de la capa de servicios en la nube

En cuanto al Back-End de las interfaces web emplea lenguaje SQL para realizar consultas y modificaciones a la base de datos. También se utiliza el lenguaje PHP incrustado en HTML para validaciones de credenciales, seguridad de datos, ejecución de sentencias SQL, renderización de elementos por medio de bucles que ejecutan lenguaje HTML en conjunto con datos extraídos de la base de datos. Para el desarrollo de gráficas interactivas se empleó la librería HIGHCHARTS construidas bajo JavaScript, TypeScript, HTML y CSS, esta librería usa peticiones AJAX que permite extraer datos de la base de datos y presentarlos en tiempo real y de forma dinámica.

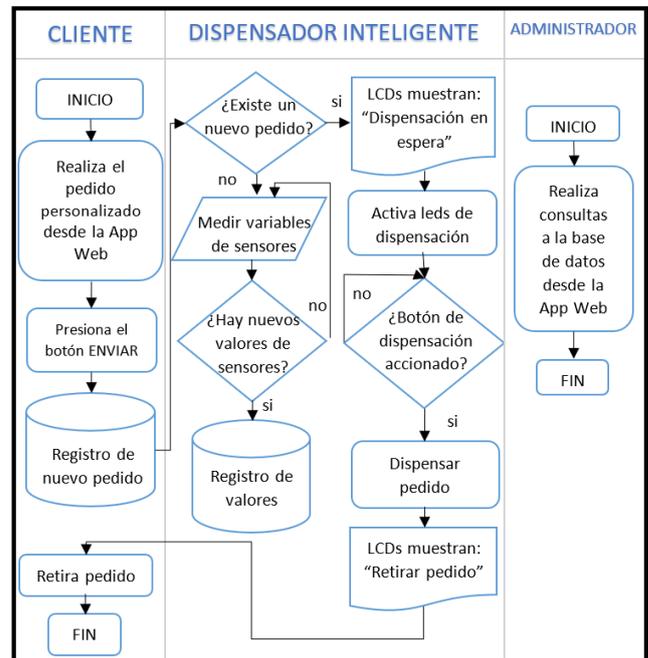


Figura 5. Aplicación Web del cliente para personalización del pedido

La Figura 5 muestra el diagrama funcional del sistema de dispensación en la Industria 4.0. La persona que requiere los frutos secos es quien va a iniciar la interacción del sistema por medio del acceso a la aplicación web donde solicita la cantidad en gramos de cada fruto, una vez realizado el pedido se le muestra el precio final de la compra y debe accionar un botón de aceptar para enviar el pedido a la siguiente etapa. La

solicitud del pedido se envía a la base de datos, el microcontrolador ESP8266, recibe el pedido desde la base de datos por el protocolo http, se valida la existencia de los granos para el pedido y espera que se confirme la dispensación por medio del accionamiento del pulsador físico.

5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Funcionamiento del dispensador inteligente

El dispensador Inteligente de frutos secos se visualiza en la Figura 6. Una vez implementadas las tres capas de la arquitectura IoT para el dispensador inteligente, se presentan las funciones y actividades que realiza el cliente que va a personalizar el pedido, la máquina de dispensación de frutos que entregará el producto y el administrador de la tienda que gestiona las ventas y la materia prima del sistema.



Figura 6. Dispensador Inteligente de Frutos Secos

Como se mencionó en la revisión del estado del arte, un sistema de producción personalizado debe ser capaz de reconfigurar su funcionamiento para una producción de varios tipos de producto, esto se cumple en el dispensador implementado con flexibilidad suficiente para dispensar un solo tipo de grano o hasta 4 diferentes granos y distintos pesos según la solicitud del cliente.

Se realizaron 20 pruebas de funcionamiento con 4 usuarios de tipo cliente y un usuario de tipo administrador para determinar la funcionalidad y el porcentaje de error del sistema de dispensación. Se obtuvo un 100% de éxito de acceso a la aplicación Web cuando los usuarios así lo requirieron. Cada cliente realizó 5 pedidos con distintas cantidades y productos desde la aplicación web respectiva. El usuario de tipo administrador accedió a los estados de los contenedores en tiempo real con un máximo retardo de 1,3 segundos mediante la visualización de los gráficos web. Por otro lado, el acceso a las tablas de datos históricos de los pedidos, de forma manual, tuvo un retardo máximo de 1,2 segundos en actualizarse la

página web y reflejar los mismos. En las pruebas, los clientes accedieron a la aplicación usando una conexión Wifi, una vez aceptado el pedido y el precio por parte del cliente, se tarda en promedio 1,7 segundos en llegar la notificación al usuario tipo administrador sobre un nuevo pedido en espera para ser dispensado.

5.2 Aplicaciones Web para cliente y administrador de la tienda

El dispensador fue instalado en una tienda de alimentos a granel, donde se realizaron pruebas de funcionamiento. La página web del dispensador inteligente tiene dos interfaces:

- Interfaz del cliente: Los clientes acceden a través de su teléfono móvil a la aplicación de usuario donde se despliega una interfaz interactiva que se visualiza en la Figura 7, con información esencial de los productos que posee el dispensador inteligente: ajonjolí, maní, pistacho y nuez. El cliente puede seleccionar la cantidad en gramos que desea comprar, la interfaz muestra el precio que cada fruto seco y el total de su compra. La aplicación del usuario posee un menú para acceder a información adicional como el historial de compras, cantidad de producto disponible en cada contenedor y credenciales de su cuenta.
- Interfaz del administrador: El administrador de la tienda tiene el acceso a una aplicación web que se muestra en la Figura 8 donde podrá gestionar el sistema. La interfaz consta de un menú para acceder a distintas opciones como: visualización del historial de ventas, disponibilidad de producto en cada contenedor del dispensador, estado de los contenedores si están abiertos o cerrados, clientes registrados, lista de usuarios que tienen permiso de administradores, base de datos cruda. Las opciones mencionadas proporcionan una información completa para que el gerente de la tienda pueda realizar análisis como: el producto de mayor o menor venta, el tiempo de renovación de producto disponible, análisis financieros; de esta manera podrá tomar decisiones en beneficio a su empresa.

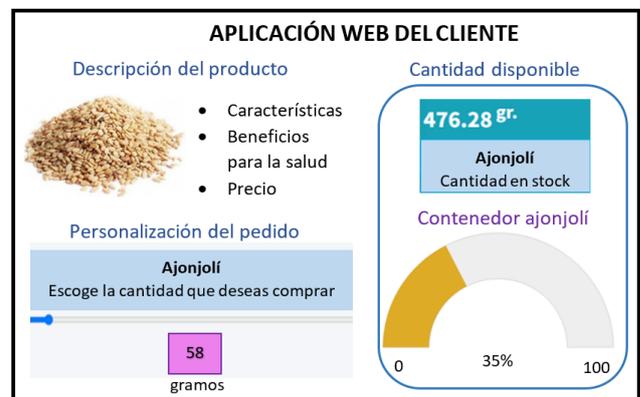


Figura 7. Aplicación Web del cliente para personalización del pedido

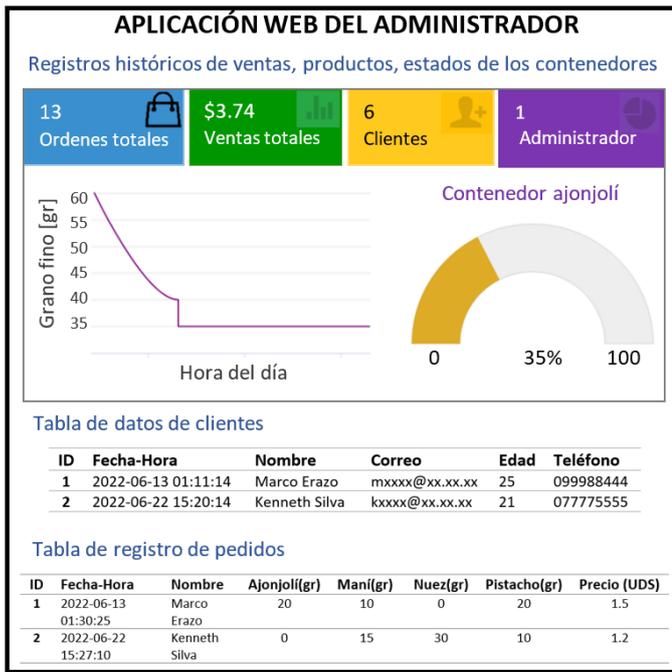


Figura 8. Aplicación Web del cliente del administrador para gestión del dispensador

5.3 Pruebas de dispensación de frutos secos

En la Tabla 2, se presenta la variación entre la cantidad en gramos solicitado por los clientes y la cantidad que dispense el sistema inteligente.

Muestra	Cantidad Solicitada [gr]	Cantidad Dispensada [gr]	Variación	Producto
1	10	10,5	+ 0,5	Ajonjolí
2	13	13,6	+ 0,6	
3	15	15,3	+ 0,3	
4	20	20,4	+ 0,4	
5	18	19,3	+ 1,3	Maní
6	14	15	+ 1,0	
7	7	7,6	+ 0,6	
8	10	10,6	+ 0,6	Pistacho
9	20	21,3	+ 1,3	
10	30	30,7	+ 0,7	
11	15	15,5	+ 0,5	
12	10	10,2	+ 0,2	Nuez
13	17	18,5	+ 1,5	
14	12	12	+ 0	
15	23	24,5	+ 1,5	
16	39	41	+ 2	
Error Promedio			+ 0,8125	

El error promedio que se obtuvo en los pedidos realizados al dispensador inteligente es del +0.8 gramos, siendo un error bajo. Un solo grano de los frutos como la nuez o el pistacho produce variación entre la cantidad solicitada y la cantidad dispensada. Para la industria de alimentos a granel significa un error poco significativo que no representa pérdidas económicas. En el Reglamento Técnico Ecuatoriano INEN 284 “Cantidad de Producto en Preenvasados/Preempaques” se establece como error a un preenvase/preempaque inadecuado para el cual se determina que el contenido neto real es menor al contenido neto nominal (Qn) menos la deficiencia tolerable (T) permitida para el contenido neto nominal como

se presenta en la ecuación (1) (Ministerio de Industrias y Productividad, 2015).

$$Error: Contenido neto real < (Q_n - T) \tag{1}$$

Para contenido de 0 a 50 gramos que es el rango que se solicitará para cada grano, la norma establece como deficiencia tolerable al 9% del Qn. En este caso, como se mostró en la Tabla 2 las variaciones obtenidas son positivas, por lo que, el contenido neto real no es menor al contenido neto nominal en ninguna de las muestras, lo que indica que el contenido dispensado según el peso requerido por el cliente es adecuado.

6. CONCLUSIONES

La Industria 4.0 permite a los sistemas productivos realizar operaciones de manera más eficiente e innovadora, la producción personalizada es un paradigma que poco a poco sustituye a la producción en masa, la cual caracterizaba a la segunda revolución industrial. La flexibilidad que presenta el dispensador implementado permite que los requerimientos del cliente sean prioridad en la preparación del producto final. Este trabajo muestra la evolución de una máquina tradicional a una compatible con las nuevas tendencias de la Industria 4.0, ya que ha convertido a los dispensadores mecánicos de fruto secos en dispensadores inteligentes.

En el presente trabajo, se presenta el diseño de un dispensador inteligente con un sistema capaz de personalizar el pedido del cliente. La aplicación web del administrador permite la gestión rápida y en tiempo real lo cual abre el camino para implementar los paradigmas de la Industria 4.0 en el negocio de venta de productos a granel.

Se implementó una arquitectura IoT de tres capas: capa de dispositivos, capa de procesamiento y capa de servicios en la nube; que permite la interconexión del entorno físico del sistema con los elementos de software para el procesamiento de datos y gestión de la información.

REFERENCIAS

Alarcón, J. (2022). Prototipo De Dispensador Automático De Medicamentos Para Personas De La Tercera Edad. *Revista Multidisciplinaria De Desarrollo Agropecuario, Tecnológico, Empresarial Y Humanista*, 4(1), 5-5. <https://www.dateh.es/index.php/main/article/view/109>

Almrezeq, N., Almadhoor, L., Alrasheed, T., Abd El-Aziz, A., & Nashwan, S. (2020). Design a secure IoT architecture using smart wireless networks. *International Journal of Communication Networks and Information Security*, 12(3), 401-410. <https://doi.org/10.17762/ijcnis.v12i3.4877>

Alvarez, S. A., Altamirano, R. H., Lascano, P. H., & Dávalos, P. C. (2021). Monitoreo y control remoto de un dispensador de alimento para mascotas basado en IoT. *Revista de Investigación en Tecnologías de la*

- Información, 9(17), 77-88. <https://doi.org/10.36825/RITL09.17.008>
- Barni, A., Corti, D., Pedrazzoli, P., & Rovere, D. (2018). A digital fabrication infrastructure enabling distributed design and production of custom furniture. *Customization 4.0*, 173-190. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-77556-2>
- Bhatt, S., Lo'ai, A., Chhetri, P., & Bhatt, P. (2019). Authorizations in cloud-based internet of things: current trends and use cases. *2019 Fourth International Conference on Fog and Mobile Edge Computing (FMEC)*, 241-246. <https://doi.org/10.1109/FMEC.2019.8795309>
- Cao, K., Liu, Y., Meng, G., & Sun, Q. (2020). An overview on edge computing research. *IEEE Access*, 8, 85714-85728. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2991734>
- Carrera, A. (11 de marzo de 2020). Industria 4.0 en el Ecuador. *San Francisco Global*. <https://sanfranciscoglobal.org/industria-4-0-en-el-ecuador/>
- Castro-Martin, A., Ahuett-Garza, H., Guamán-Lozada, D., Márquez-Alderete, M., Urbina, P., Orta, P., Kurfess, T., & González, E. (2021). Connectivity as a design feature for industry 4.0 production equipment: Application for the development of an in-line metrology system. *Applied Sciences*, 11(3), 1312. <https://doi.org/10.3390/app11031312>
- Coloma-Sevilla, L. (2017). Diseño de un servicio de personalización de vajilla para restaurantes de cocina de vanguardia en la ciudad de Quito [Tesis de grado, Universidad de las Américas]. Repositorio Repositorio Digital Universidad De Las Américas. <https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/8328>
- Del Val Román, J. (16 de Mazo de 2016). Industria 4.0: la transformación digital de la industria. Informe COODDI. 1-10. <https://bit.ly/2zDyDrk>
- Dineva, K., & Atanasova, T. (2021). Design of scalable IoT architecture based on AWS for smart livestock. *Animals*, 11(9), 2697. <https://doi.org/10.3390/ani11092697>
- Encalada-Grijalva, M., Narváez-Pupiales, S., Umaquina-Criollo, A., Suárez-Zambrano, L. E., & Peluffo-Ordóñez, D. (2019). Dispensador médico de control y monitoreo para el Hogar del Anciano " San Vicente de Paúl" de la ciudad de Atuntaqui (Ecuador). *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (E19), 595-607. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/dispensador-médico-de-control-y-monitoreo-para-el/docview/2260411316/se-2>
- Fenech, C. & Perkins, B. (2019). Made-to-order: The rise of mass personalization. *The Deloitte Consumer Review*, 11, 1-19. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/consumer-business/ch-en-consumer-business-made-to-order-consumer-review.pdf>
- Germani, L., Mecarelli, V., Baruffa, G., Rugini, L., & Frescura, F. (2019). An IoT architecture for continuous livestock monitoring using LoRa LPWAN. *Electronics*, 8(12), 1435. <https://doi.org/10.3390/electronics8121435>
- Hernández, N. (13 de marzo de 2019). ¿Productos personalizados en masa? Una realidad para la Industria 4.0. *Hablemos de empresas*. <https://hablemosdeempresas.com/grandes-empresas/industria-4-0-personalizacion-masiva/>
- Madakam, S., Ramaswamy, R. & Tripathi, S. (2015). Internet of Things (IoT): A Literature Review. *Journal of Computer and Communications*, 3(5), 164-173. <http://dx.doi.org/10.4236/jcc.2015.35021>
- Martin, C., Samans R., Leurent, H., Beti, F., Hanouz, T., & Geiger, T. (2018). Readiness for the Future of Production Report 2018. *The World Economic Forum*. https://www3.weforum.org/docs/FOP_Readiness_Report_2018.pdf
- MINTEL. (2018). Libro Blanco de la Sociedad de la Información y del Conocimiento. *Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información*. <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2018/07/Libro-Blanco-de-la-Sociedad-del-Informaci%C3%B3n-y-del-Conocimiento.pdf>
- MINTEL. (12 de agosto de 2020). El MINTEL y el Municipio de Ambato trabajan para convertirla en Ciudad Inteligente. *Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información*. <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/el-mintel-y-el-municipio-de-ambato-trabajan-para-convertirla-en-ciudad-inteligente/#:~:text=Muc%C3%B3n%20result%C3%B3n%20que%20desde%20el,adem%C3%A1s%2C%20facilitar%C3%A1%20la%20documentaci%C3%B3n%20de>
- Ministerio de Industrias y Productividad. (18 de septiembre de 2015). Cantidad de producto en preenvasados/preempacados. *REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 284*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/reglament-os/RTE-284.pdf>
- Mladineo, M., Zizic, M. C., Aljinovic, A., & Gjeldum, N. (2022). Towards a knowledge-based cognitive system for industrial application: Case of personalized products. *Journal of Industrial Information Integration*, 27, 100284. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100284>
- Mocnej, J., Seah, W. K., Pekar, A., & Zolotova, I. (2018). Decentralised IoT architecture for efficient resources utilisation. *IFAC-PapersOnLine*, 51(6), 168-173. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.07.148>
- Popkova, E., Ragulina, Y., & Bogoviz, A. (2019). Fundamental differences of transition to industry 4.0 from previous industrial revolutions. In *Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century*, 169, 21-29. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94310-7_2
- Rahimi, H., Zibaenejad, A., & Safavi, A. (2018). A novel IoT architecture based on 5G-IoT and next generation technologies. In *2018 IEEE 9th annual information technology, electronics, and mobile communication*

conference (IEMCON), 81-88.
<https://doi.org/10.1109/IEMCON.2018.8614777>

- Sánchez, V. (2018). Internet de las cosas-Horizonte 2050. *Boletín IEEE*, (11), 956-969. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6715660>
- Sjödin, D., Parida, V., Leksell, M., & Petrovic, A. (2018). Smart Factory Implementation and Process Innovation: A Preliminary Maturity Model for Leveraging Digitalization in Manufacturing Moving to smart factories presents specific challenges that can be addressed through a structured approach focused on people, processes, and technologies. *Research-Technology Management*, 61(5), 22-31. <https://doi.org/10.1080/08956308.2018.1471277>
- Sukhodolov, Y. (2019). The notion, essence, and peculiarities of industry 4.0 as a sphere of industry. In *Industry 4.0: industrial revolution of the 21st century*, 169, 3-10. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94310-7_1
- Tipaz-Portilla, M. (2019). Plan de negocios para el emprendimiento de AranwariLab [Tesis de maestría, Universidad Internacional de la Rioja]. Repositorio Institucional REUNIT. <https://reunir.unir.net/handle/123456789/8244>
- Vaidya, S., Ambad, P., & Bhosle, S. (2018). Industry 4.0—a glimpse. *Procedia manufacturing*, 20, 233-238. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034>
- Wan, J., Tang, S., Li, D., Imran, M., Zhang, C., Liu, C., & Pang, Z. (2018). Reconfigurable smart factory for drug packing in healthcare industry 4.0. *IEEE transactions on industrial informatics*, 15(1), 507-516. <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2843811>
- Wang, S., Wan, J., Imran, M., Li, D., & Zhang, C. (2018). Cloud-based smart manufacturing for personalized candy packing application. *The Journal of Supercomputing*, 74(9), 4339-4357. <https://doi.org/10.1007/s11227-016-1879-4>
- Yousefpour, A., Fung, C., Nguyen, T., Kadiyala, K., Jalali, F., Niakanlahiji, A., Kong, J., & Jue, J. (2019). All one needs to know about fog computing and related edge computing paradigms. *Journal of Systems Architecture*, 98, 289-330. <https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2019.02.009>
- Zhang, Y., Cheng, Y., & Tao, F. (2017). Smart production line: common factors and data-driven implementation method. In *International Manufacturing Science and Engineering Conference, American Society of Mechanical Engineers*, 50749, 1-7. <https://doi.org/10.1115/MSEC2017-2896>

BIOGRAFÍAS



Patricio, Silva-Naranjo. Ingeniero en Telecomunicaciones graduado en la Universidad Técnica de Ambato, institución que le forjó una sólida base de conocimientos, principalmente en programación y electrónica, lo que le permitió enfocarse apasionadamente al desarrollo web y de sistemas embebidos.

Obtuvo meritoriamente certificados y diplomas como programador en distintos lenguajes y hacking ético por instituciones online. Con experiencia en el diseño e instalación profesional de iluminación decorativa exterior de bajo voltaje.



Ana Pamela, Castro-Martín. Ingeniera Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga. Tiene su título de cuarto nivel como Maestra en Ciencias con Especialidad en Sistemas de Manufactura en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey en México. Su línea de

investigación es sistemas electrónicos y tecnologías para la Industria 4.0. Actualmente es docente en la Universidad Técnica de Ambato en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.