

IoT para supervisión y control de procesos industriales de fabricación inteligente en tiempo real

IoT for real-time monitoring and control of intelligent manufacturing industrial processes

Luis Noguera ¹; Mayela Fernández ²

^{1,2} Instituto Tecnológico Universitario ISMAC-Carrera de Electromecánica, 170184, Quito, Ecuador

Fecha de recepción: agosto 2023

Fecha de aprobación: octubre 2023

RESUMEN

Los desafíos actuales en la fabricación inteligente, como la garantía de piezas sin defectos y la producción justo a tiempo, requieren soluciones para mejorar la calidad y el rendimiento. La adopción de tecnologías como la fabricación en la nube y la inalámbrica permite supervisar y controlar los procesos desde cualquier lugar con conexión a Internet, aunque persiste la limitada interoperabilidad entre sistemas. Un módulo de control y supervisión facilita la operación de dispositivos conectados al proceso mediante PLC, Router DX2100 y la plataforma DIACloud, permitiendo un control eficiente tanto local como remoto. Las pruebas realizadas confirmaron su eficacia, ofreciendo una respuesta rápida en el control de variables del proceso.

Palabras clave: Internet de las cosas, Industria 4.0, Variador de frecuencia.

ABSTRACT

Today's challenges in smart manufacturing, such as ensuring flawless parts and producing just in time, require solutions to improve quality and performance. The adoption of technologies such as cloud and wireless manufacturing allows processes to be monitored and controlled from anywhere with an Internet connection, although limited interoperability between systems persists. A control and monitoring module facilitates the operation of devices connected to the process via PLC, Router DX2100 and DIACloud platform, allowing efficient control both locally and remotely. The tests confirmed its effectiveness, offering a rapid response in the control of process variables.

Keywords: Internet of Things, Industry 4.0, Frequency variator.

¹ Tecnólogo en Electromecánica, l.noguera@tecnologicoismac.edu.ec

² Ingeniero Electrónico, mfernandez@tecnologicoismac.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

En los procesos de manufactura o fabricación se observa una separación entre el control modular descentralizado de las máquinas, y el control distribuido más amplio de las máquinas colectivas, no automatizadas, sin control de supervisión, programación y gestión.

La base de conocimiento del proceso es el componente central del diseño de procesos inteligente y determina el grado de inteligencia del sistema de diseño y afecta la calidad del producto final. En la era de la información, el desarrollo de productos modernos enfrenta desafíos sin precedentes. Para los productos modernos en el campo de la maquinaria y otras industrias, existe una enorme presión del mercado en términos de demandas de plazos de entrega más cortos y requisitos de calidad más estricto. En la práctica, esto significa que los productos de complejidad creciente deben desarrollarse en un marco de tiempo más corto.

En los últimos años, la construcción automática de un proceso se ha convertido en un tema popular y ha atraído a muchos académicos a realizar investigaciones. La arquitectura de la red de la IOT es principalmente para la capa de 5 detección que reconoce el mundo físico, la capa de red que utiliza la tecnología de la IOT y la red, y la red de comunicación para completar la transmisión de información y la sustitución, y el uso de software de algoritmo profesional para completar el procesamiento de la información, el cálculo, la integración, y la capa de aplicación práctica (Mousavi, Shams, & Ahmadi, 2017).

Bajo el enfoque de la ingeniería electrónica, se propone establecer un módulo y plataforma para la supervisión y control del servomotor en procesos industriales de fabricación inteligente en tiempo real, con el fin de garantizar una gestión segura, eficiente y económica, promoviendo así el desarrollo sostenible.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentación Teórica

En el contexto de Industria 4.0, los objetos inteligentes habilitados para IOT (Sivarajah, 2017) se combinan con un proceso de producción inteligente para tomar decisiones inteligentes a través de la comunicación en tiempo real y la cooperación con humanos, máquinas y sensores.

En general, un sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) se compone de múltiples sensores y actuadores que conforman los dispositivos de instrumentación de campo controlados a través de las unidades terminales remotas (RTU) (de Arquer, Candás, & Arbolea, 2021). El canal de comunicación, las unidades terminales maestras (MTU) que alojan la interfaz hombre-máquina (HMI) también son componentes importantes del sistema SCADA con funciones que incluyen transferencias de datos entre las RTU y la MTU, procesamiento y visualización de datos, respectivamente. La MTU también permite la inyección de controles desde la HMI a los instrumentos de campo.

2.2 Fabricación inteligente

Los conceptos de fabricación inteligente (Kusiak A., 2018) e Industria 4.0 (Trade, 2014) se usan en la práctica casi indistintamente. Esta revolución incluye más desarrollos como las ciudades inteligentes y la movilidad (Rowling, 2015), logística, red y salud inteligente. La fabricación inteligente se posiciona como parte de la Industria 4.0, que también incluye conceptos superpuestos como el internet industrial, el internet industrial de las cosas (Jeschke, Brecher, Canción, & Rawat, 2017) y fabricación inteligente (Vasudevan, Kotur, & Raina, 2019). El concepto de fábrica inteligente es el concepto central. Sin embargo, también hay otros conceptos incluidos en la fabricación inteligente, como la fabricación en la nube y la fabricación IOT (que también se superponen con el concepto de fabricación inteligente).

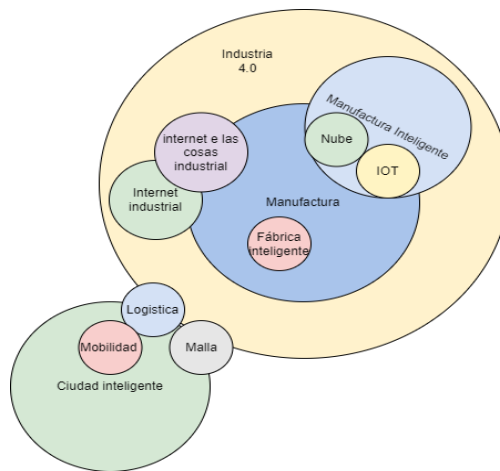


Figura 1. Industria 4.0

2.2.1 RAMI4.0

Según (Hankel & Rexroth, 2015) es un marco estándar líder para organizar varias dimensiones utilizadas para estructurar conceptos y desarrollos en la fabricación inteligente. RAMI4.0 normalmente se ilustra con el cubo tridimensional.

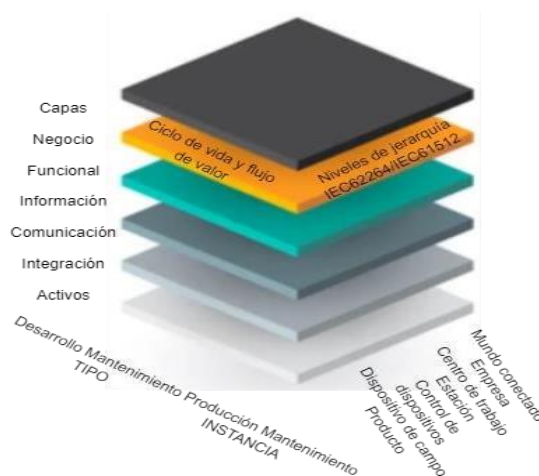


Figura 2. RAMI 4.0

Las capas representan la información que es relevante para el rol de un activo. Cubre el espectro de negocio a tecnología al relacionar diferentes aspectos de un activo de fabricación con capas de la arquitectura empresarial. Los ciclos de vida y flujo de valor representan la vida útil de un activo y el proceso de valor agregado. Este eje distingue entre el tipo y la instancia de un sistema de producción y sus elementos, como el diseño digital de un producto y su instanciación como producto manufacturado. Los niveles de jerarquía se utilizan para asignar modelos funcionales a niveles específicos de una empresa. Este eje utiliza la agregación para establecer niveles empresariales, que van desde el mundo conectado (es decir, redes de organizaciones de fabricación en sus ecosistemas) través de estaciones (células de trabajo de fabricación) hasta dispositivos y productos. Los niveles de jerarquía se relacionan con el estándar de jerarquía de fabricación ISA-95 (Park, 2021). Los mundos conectados introducen un nivel por encima de la empresa nivel de ISA-95 para enfatizar la importancia de las redes de la cadena de suministro en la Industria 4.0. Además, se agregan niveles más bajos para elaborar los sistemas y equipos de control que se encuentran típicamente en las fábricas modernas.

2.3 Internet de las cosas

El término Internet industrial de las cosas se usa ampliamente en los sectores industriales como una transformación digital y conecta activos críticos, análisis predictivos y prescriptivos avanzados y personal industrial moderno (Jeschke, Brecher, Meisen, Ozdemir, & Eschert, 2017). Es una red de dispositivos industriales conectados entre sí por tecnología de comunicaciones para crear sistemas que pueden monitorear, recopilar, intercambiar, analizar y brindar nuevos conocimientos críticos como nunca antes. Estos conocimientos se utilizan luego para ayudar a las organizaciones industriales a tomar decisiones comerciales mejores y más rápidas (Cheng, Chen, Tao, & Lin, 2018).

Con IOT, los sensores y actuadores inteligentes se utilizan para optimizar los procesos industriales y de fabricación. Aprovecha los datos que las máquinas han producido en entornos industriales durante años utilizando el poder de las máquinas inteligentes y el análisis en tiempo real. Las máquinas inteligentes no solo son mejores que las personas para capturar y procesar datos en tiempo real, sino que también son mejores para transmitir información crucial que se puede utilizar para tomar decisiones comerciales de manera más rápida y precisa, de acuerdo con el principio IOT; conecta personas, bienes y procesos (Ordieres, Villalba, & Zheng, 2019).

IOT puede revolucionar casi todos los negocios de energía, desde la producción hasta la transmisión y distribución, y cambiar la interacción entre las empresas de energía y los clientes (Lu, Witherell, & Jones, Standard connections for IIoT empowered Smart manufacturing, 2020). Las necesidades y los beneficios de las soluciones de IOT vinculadas en la industria son reconocidas por los propios proveedores de soluciones y las empresas de energía.

2.4 Variador de frecuencia

El uso de una unidad de frecuencia variable (VFD) para mejorar la eficiencia energética de los procesos industriales con el enfoque correcto para la implementación y posterior operación de un sistema de unidad eléctrica (ED) puede generar un efecto económico multiplicativo (Fijorek, Jurkowska, & Jonek, 2021). De hecho, junto con el ahorro de

energía (Villarreal & Flores, 2020), el control de alta calidad sobre la transformación y transmisión de energía mediante el uso de VFD permite lograr los siguientes resultados: aumentar la productividad de los actuadores al sugerir soluciones cualitativamente nuevas a los problemas técnicos basados en automatización de procesos; reducir el costo de mantenimiento y reparación de equipos de proceso debido a procesos transitorios más suaves y la eliminación del exceso de disipación de energía en los conjuntos y elementos del mecanismo impulsor (Gultekin, Cinar, & Okur, 2020); extender la vida útil de motores eléctricos (EM) y actuadores (Filina, Tsvetkov, Pavlov, Radu, & Butakov, 2019).

2.5 Plataformas IOT

Las plataformas industriales digitales actúan como plataformas de innovación y transacciones (Cusumano, Yoffie, & Gawer, 2020). En primer lugar, permiten la recopilación y el análisis de datos de una variedad de activos y dispositivos industriales, desde herramientas y máquinas hasta vehículos o almacenes y fábricas completos. Estos datos generalmente se ponen a disposición de un ecosistema de empresas de terceros, que pueden crear soluciones complementarias, como aplicaciones y servicios industriales. En segundo lugar, muchas de las plataformas ofrecen mercados para facilitar la distribución y el uso de las aplicaciones creadas a un gran mercado de clientes industriales. Por lo tanto, las plataformas industriales digitales son un componente importante para la Industria 4.0, que ha estado afectando a la industria manufacturera durante los últimos años (Lasi, Fettke, & Kemper, 2014).

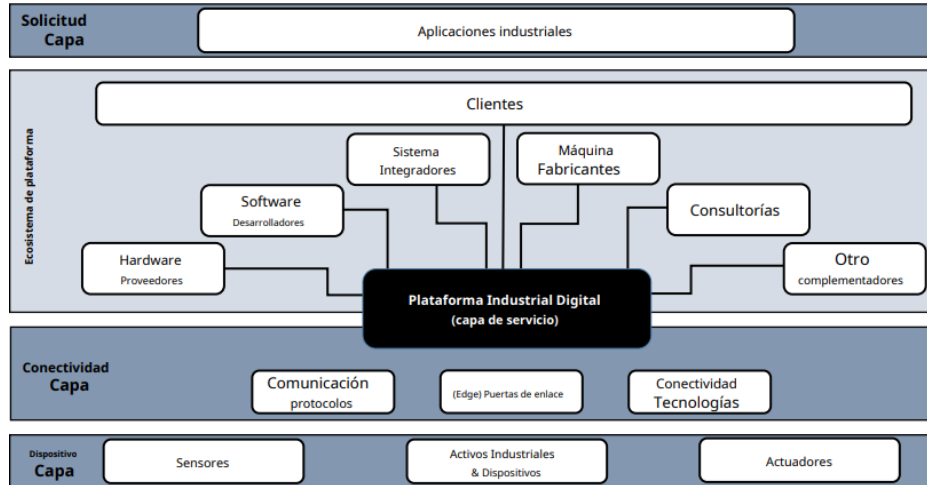


Figura 3. Arquitectura de plataformas industriales

La plataforma en sí está posicionada en la capa de servicio, en referencia a la pila de IOT o la arquitectura modular en capas de la innovación digital (Yoo, Henfridsson, & Lyytinen, 2010) (Sisinni, Saifullah, & Han, Industrial internet of things: challenge, opportunities and directions, 2018). En consecuencia, la plataforma suele desempeñar el papel de un "middleware de integración" (Guth, Breitenbucher, & Falkenthal, 2016), en el sentido de ofrecer capacidades de almacenamiento y procesamiento de datos, así como un sistema operativo para aplicaciones (Hodapp, Remane, Hanelt, & Kolbe, 2019).

Así, a grandes rasgos, la plataforma actúa como puente entre los activos industriales y las aplicaciones (Wortmann & Fluchter, 2015).

Debajo de la capa de plataforma o servicio se encuentran las capas de dispositivos y conectividad. El primero comprende todos los activos físicos y dispositivos, más específicamente sus sensores para la captura de datos y actuadores. Este último comprende todo lo necesario para transferir los datos del sensor a la plataforma, pero también transferir datos para provocar acciones por parte de las máquinas. Más específicamente, comprende tecnologías de conectividad como Ethernet o 5G, protocolos de comunicación como Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), pero también puertas de enlace que pueden manejar estos estándares y tal vez incluso posean capacidades informáticas de punta para aplicaciones de baja latencia. La capa de aplicación se encuentra en la parte superior de la plataforma o capa de servicio. Aquí se desarrollan aplicaciones que utilizan los datos recopilados previamente.

2.5.1 DIACloud

Como un importante proveedor de tecnología de productos de Automatización Industrial (IA) y un contribuyente clave para el avance global de una fabricación más inteligente y ecológica, Delta ha lanzado su solución DIACloud Platform para monitoreo remoto, mantenimiento y recopilación/almacenamiento de datos. La plataforma en la nube de Delta, DIACloud, es una tecnología segura que permite que los dispositivos se comuniquen entre sí como si estuvieran en la misma red. Permite que cada usuario se conecte a sus dispositivos y vea el estado en línea, ya sea a través de la web, el escritorio o el teléfono celular a través de la aplicación de teléfono DIACloud de Delta para los sistemas operativos iPhone y Android.

Delta ha lanzado dos productos de hardware que habilitan DIACloud:

DX-2100 3G GSM Cloud Router/Gateway

DX-2300 Ethernet Cloud Router/Gateway

Estos productos habilitadores de DIACloud permiten que los dispositivos heredados se conecten a un túnel DIACloud seguro. La puerta de enlace Modbus integrada y los puertos Ethernet estándar aseguran que incluso los dispositivos estándar que no son Delta se pueden monitorear, configurar y actualizar de forma remota sin necesidad de involucrar a un departamento de TI.

En el lado de la PC, puede usar el software DIACom para conectar su PC a la misma red a la que están conectados estos otros dispositivos, incluso si se encuentra al otro lado del planeta. El DX-2100 y el DX-2300 también tienen funciones integradas para facilitar el monitoreo de dispositivos, como la capacidad de alarma por SMS y correo electrónico.

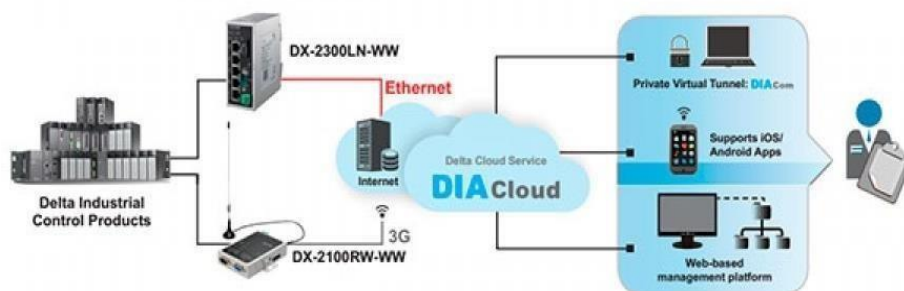


Figura 4. Topología de red DIACloud

La confiabilidad, la velocidad y la robustez son tres cosas importantes para cualquier dispositivo con conectividad remota. Es por eso que Delta tiene más de quince servidores en todo el mundo, para garantizar que siempre haya un servidor cercano y seguro al que conectarse.

Uno de los principales problemas con el almacenamiento de datos en la nube es la cantidad de ancho de banda que se necesita para volar a través de la conexión. Es por eso que el protocolo DIACloud patentado de Delta admite informes por mensajería de excepción, para garantizar que solo se transmitan los datos necesarios a los servidores. Además, para cuando hay una conexión irregular, la solución DIACloud de Delta es compatible con la tecnología de almacenamiento y reenvío para garantizar que los datos sean completos y consistentes. (DELTA, 2022)

Esta plataforma de hardware y software permite que los fabricantes de máquinas OEM y los usuarios finales de fábrica se conecten, supervisen y almacenen información de manera efectiva para habilitar el empaque inteligente. Las demostraciones de la plataforma en la nube que muestran un dispositivo HMI que monitorea tres sistemas de máquinas en vivo a través de conexiones celulares 3G seguras.

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este documento se considera algunos tipos de investigación como la investigación de campo para adquirir o medir los datos relacionados con el proceso de fabricación inteligente en el Instituto Tecnológico Universitario ISMAC. Es decir que, el investigador se traslada hasta el sitio donde ocurre el fenómeno de interés, para la recolección de información; utilizando la técnica de la encuesta, recolectando los datos a través del cuestionario de preguntas relacionadas con la elaboración de módulos de entrenamiento para el Instituto. La investigación aplicada y experimental, como una serie de métodos y técnicas de búsqueda, procesamiento y almacenamiento de la información contenida en los documentos, en primera y segunda instancia, utilizando el cuaderno de notas y diario de campo como instrumentos de registro de hechos susceptibles de ser interpretados, con la finalidad de lograr los objetivos, recopilando información bibliográfica acerca de la tecnología del internet de las cosas (IOT), fabricación inteligente y la gestión de datos.

El conjunto de personas que son objeto de estudio en la presente investigación son los estudiantes del Instituto Tecnológico Universitario ISMAC.

4. RESULTADOS

Debido a la necesidad de llevar un control y supervisión de procesos industriales en tiempo real y permitir el monitoreo de estos datos a través de internet, se busca desarrollar un módulo y plataforma que permita suplir esta necesidad con la incorporación de tecnología basada en el internet de las cosas (IOT), para la comunicación entre el mundo físico real. A través del diseño y construcción de este sistema se verificará los indicadores de los procesos desde cualquier ubicación con acceso a internet, disminuyendo el tiempo requerido para la verificación del funcionamiento de los procesos de manufactura o fabricación.

4.1 Diseño general del sistema

La automatización del proceso de fabricación se centra principalmente en el controlador lógico programable (PLC) DVP20EX200T de la marca DELTA, los valores obtenidos a través de los sensores y procesados por este serán enviados a la Plataforma IOT DIACloud, la cual presenta todas las características necesarias para el cumplimiento de los objetivos planteados con anterioridad.

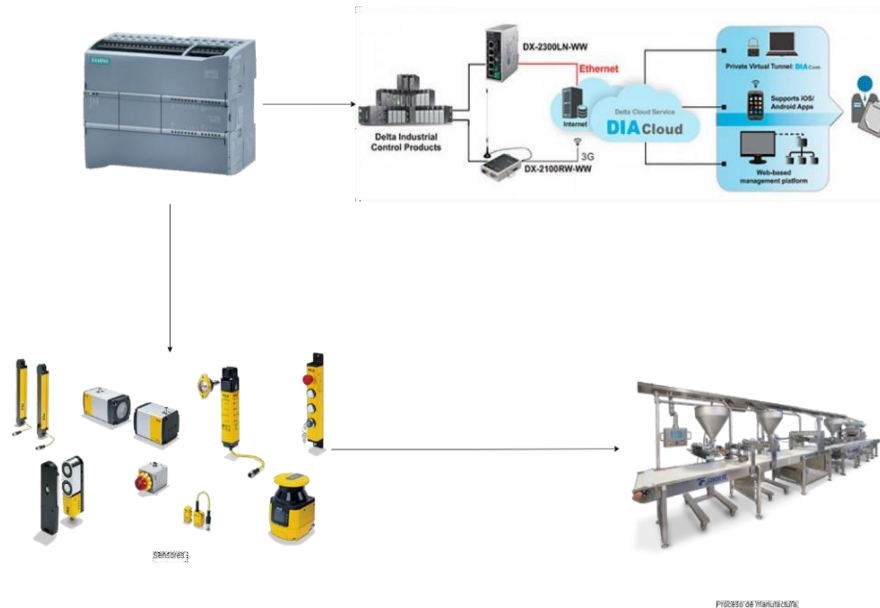


Figura 5. Arquitectura del sistema de supervisión y control

4.1.1 Interfaz Hombre - Máquina (HMI)

Se utiliza el HMI Delta modelo DOP-103WQ principalmente por sus características y por las facilidades al trabajar con el PLC de la marca DELTA que se cuenta en el laboratorio, las características técnicas que permite la interacción entre los usuarios y los equipos de automatización. El HMI de Delta suministran diversos puertos de comunicación para comunicaciones.

La pantalla táctil en colores permite la entrada de parámetros intuitivos y una variedad de formas de exhibir los datos variables, entre ellos, los gráficos de tendencias y los elementos de alarma. La pantalla LCD de alta resolución visualiza el control de operación, monitoreo y eficiencia en tiempo real. Además, el software de edición fácil de usar guía a los usuarios para que puedan crear rápidamente íconos visuales para una navegación simple y diseñar pantallas intuitivas para el monitoreo de aplicaciones mientras permite realizar ajustes, programar y crear secuencias operativas que optimizan la flexibilidad y ahorran tiempo de desarrollo. Esto agiliza el desarrollo de sistemas, lo que simplifica el cableado y la instalación, ahorra en gastos operativos y hace que los sistemas sean más eficientes, eliminando así la necesidad de ajustes que consumen mucho tiempo y costos adicionales de mantenimiento.

Tabla 1. Características del Interfaz HMI

Característica/elemento	LCD HMI
Imagen	
Modelo	DOP-103WQ
Tamaño pantalla	LCD 4.3"
Resolución	(480x272) 65536 colores TFT
Memoria RAM	512MB
Memoria ROM	256 MB
Puertos de comunicación serial	RS-232/485 y USB incorporados
Puerto Ethernet	Modbus TCP/IP y Ethernet/IP
Consumo máximo	5.8W a 24VDC
Protección	IP 65 / NEMA4
Certificación	CE/UL
Toques táctiles	10.000.000 veces

Nota. Esta figura muestra las características del LCD de DELTA Fuente: (DELTA, 2022)

4.1.2 Router IOT

Para guardar relación con el entorno de los elementos disponibles que son de la marca DELTA. Con el router DX-2100RW-WW se lograr monitorear y controlar equipos remotos a través de internet sin necesitar una IP estática o configurar un servidor VPN privado. Dispone para navegadores web, iOS y plataformas Android, el cual simplifica el proceso de administrar las infraestructuras de dispositivos dinámicas y facilita mucho más la implementación de dispositivos y aplicaciones.

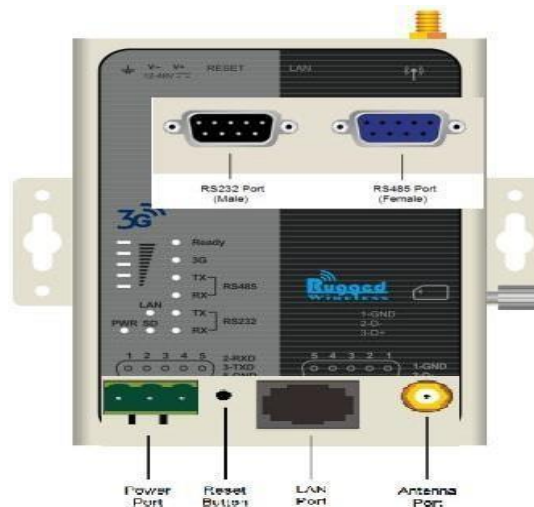


Figura 6. Características router DX-2100RW-WW

El router es un equipo industrial 3G de comunicación inalámbrica (IOT). Además de admitir HSPA+/HSUPA/HSDPA/UMTS, el producto también es compatible con una red móvil GSM/GPRS/EDGE. Además, está equipado con múltiples interfaces de aplicación, incluyendo Interfaz Ethernet, interfaz serie RS232 e interfaz serie RS485. La compatibilidad con los servicios de la plataforma DIACloud garantiza la transmisión de datos segura y confiable.

4.1.3 Control del servomotor y variador de frecuencia

El modelo ASDA-A es energizado mediante una alimentación monofásica 220VAC, en la figura 7 se muestra la conexión general. Posee una conexión para el bloque de terminales en el cual se conecta al PLC. Los tipos de control de pulsos del servo son los siguientes:

Pulso + Dirección Fase A + Fase B

Pulso, en sentido contrario a las agujas de reloj (CCW)

Pulso, en sentido de las agujas del reloj (CW).

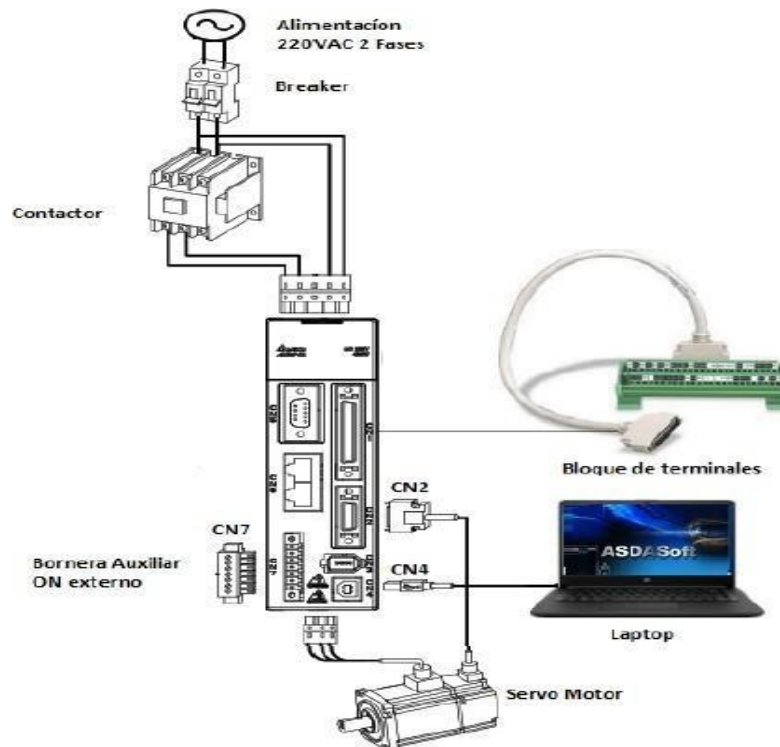


Figura 7. Diagrama de conexión general del servo drive ASDA-A

Para el control del servo motor se lo realiza mediante el Controlador lógico programable (PLC), para su control mediante programación se utiliza el lenguaje de contactos o KOP, en el cual mediante la interfaz del controlador del servo motor se utiliza el terminal CN1 (HSING y HPULSE) para enviar las señales digitales PWM para controlar la velocidad y la posición del servo motor desde las salidas digitales Y1 y Y0 del PLC, para esta configuración en el ASDA-A2 se utiliza el software ASDA-Soft para el controlador y VDFSoft para el variador de frecuencia; a través del protocolo de comunicación EtherCAT. Para el ingreso de la velocidad de pulsos y el número de pulsos se utilizan los registros D200 Y D100 respectivamente.

Tabla 2. Registros configurados en el variador de frecuencia

Registro	Características	Selección
00-12	Selecciona el voltaje de trabajo 1	220-380 VAC
02-00	Fuente del primer comando de 3 frecuencia maestra	Comunicación RS-485/USB
02-01	Fuente del primer comando de 3 operación teclado	Stop/Reset de Activado
09-00	Dirección de la comunicación	Dirección 2
09-03	Detección por tiempo-fuera	1 segundo
09-04	Protocolo de comunicación 2	MODBUS/ASCCI(7,0,1)

Nota. En esta tabla se indica los registros existentes en el VFD Fuente: (DELTA, 2022)

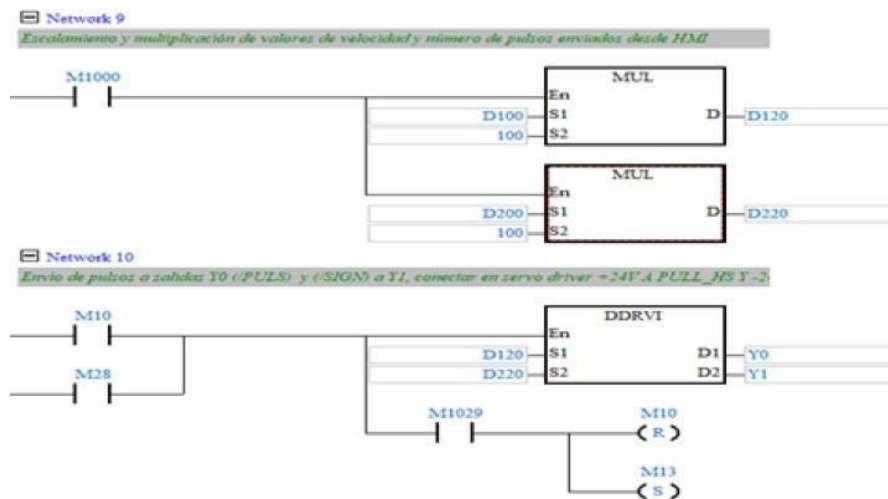


Figura 8. Programación para el control del servo motor

La memoria de tipo booleano utilizado para el encendido del variador de frecuencia es la M0.1 una vez que se enciende se adquiere a través de la entrada AD0.1 el valor de la velocidad y almacenada en la memoria de tipo Word MW10 para el posterior control mediante el HMI.

El control de la frecuencia a partir del valor de la velocidad (rpm) obtenido del controlador del servo. Si este valor es diferente del valor ajustado (1500), la frecuencia del variador aumenta o disminuye, y la velocidad del motor se modifica en consecuencia. Esto se logra mediante una señal proporcional de 0-10V enviada desde la salida analógica del PLC a la entrada analógica del controlador.

4.1.4 Túnel de calor

Adquisición de temperatura. La variable de temperatura se obtiene mediante la entrada analógica AD0.1 del PLC, la cual se debe escalar con los parámetros de valor mínimo y máximo de a escala y sus correspondientes relacionados con los valores de 4-20 mA. Se transforma el valor analógico de temperatura a un valor real entre 0 y 1.

Para el control de la planta del túnel de calor se debe obtener la función de transferencia, mediante el modelamiento de los elementos del circuito que consta de una fuente de voltaje de corriente alterna (VAC) de 220 voltios en serie con una resistencia de 1000 watts (W), que incorpora un ventilador axial con flujo constante de aire, la temperatura de operación máxima es de 70°C.

Para la obtención de datos reales de la salida de la planta se utiliza el software eServer de DELTA, el cual permite visualizar gráficamente la salida siendo perturbada externamente.

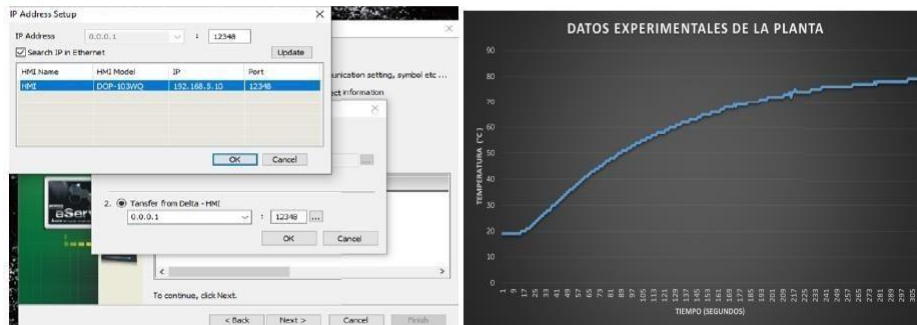


Figura 9. Software eServer

Mediante la información de tiempo y temperatura importada desde el software eServer, facilita la identificación de la función de transferencia con la ayuda de la herramienta Ident del software Matlab R2021a.

Seguidamente, con ayuda del software Matlab se obtiene los valores de las constantes proporcional, derivativa e integral del controlador PID mediante la función pidtune la cual necesita como entradas la función de transferencia obtenida, y el nombre del controlador requerido, dando como resultado 7.4, 0.091, y 7.67 respectivamente.

Programación de la adquisición de temperatura y control PID. Para la adquisición de temperatura se utiliza la memoria M1.2 para iniciar el bloque de escalado Después de escalar la señal de temperatura el PLC está apto para trabajar con el valor en tiempo real en grados centígrados, consecuentemente el control de lazo cerrado en la planta posee retroalimentación de comparación con el que se trabaja directamente en el control PID.

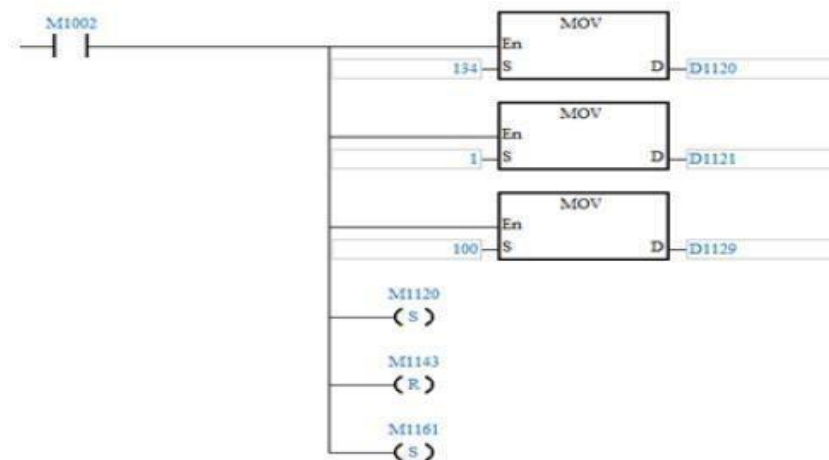


Figura 10. Escalado de la entrada analógica

Los bloques de operación permiten realizar la diferencia entre los valores máximos y mínimos y su cociente con los valores en bits y multiplicados por 100, este valor convertido se almacena en la memoria de tipo Word MW10.

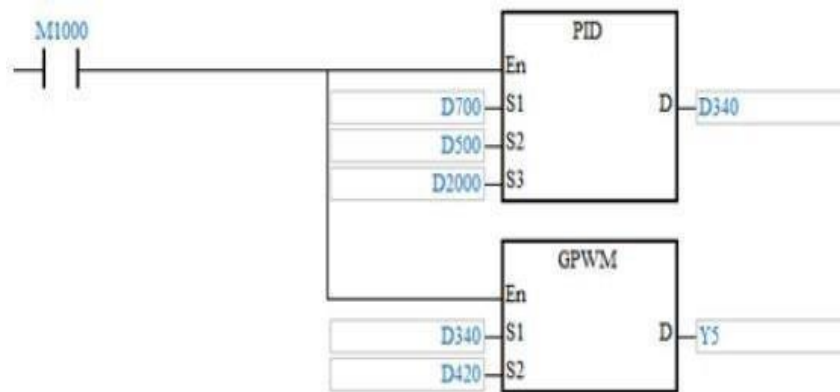


Figura 11. Controlador PID

Con los valores obtenidos en el apartado anterior referente al control PID obtenido por Matlab, se insertan en el bloque de operación PID las constantes proporcional, integral y derivativa y se asigna el valor resultante a la salida del bloque GPWM que genera la señal de modulación de ancho de pulso (PWM), para compensar el valor sentido de temperatura con el punto de ajuste o setpoint establecido.

4.1.5 Comunicación entre equipos

Para la comunicación entre el PLC que es el encargado de automatizar en si el proceso de fabricación inteligente y el HMI se utiliza el protocolo Modbus y el dispositivo encargado de enviar esta información o enrutar hacia las direcciones respectivas el Router DX-2100.

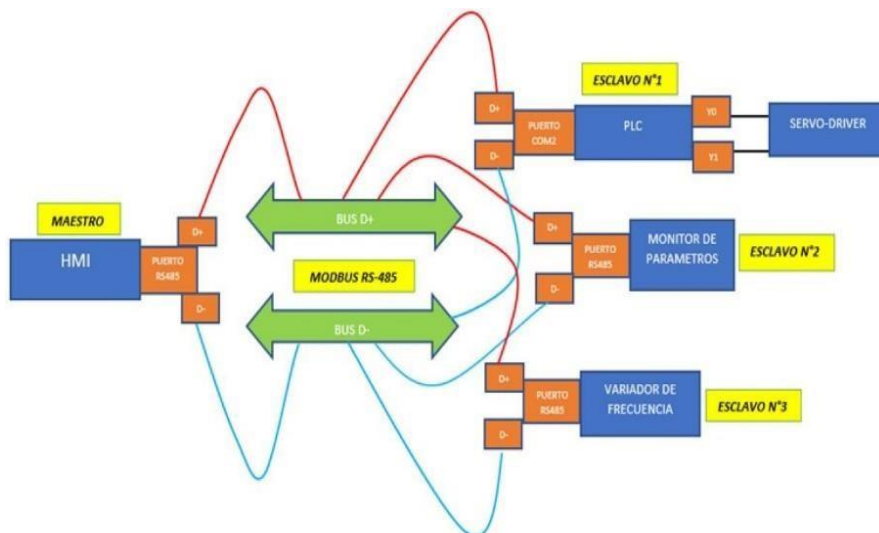


Figura 12. Protocolos de comunicación entre dispositivos

Para la comunicación física del protocolo TCP/IP en el router DX-2100 se conecta un cable de red desde su puerto Ethernet del mismo hasta el puerto Ethernet del HMI, las

configuraciones de direccionamiento de la red se realizan en el software DIADevice. La función del router es enlazar los datos de la planta directamente a la nube del software de Delta, denominado DIACloud, por lo que una vez establecido la comunicación local en el módulo se envía al proveedor de internet para su salida y así el control y supervisión de manera remota.

4.1.6 Programación del HMI

Esta interfaz se codifica mediante el software de DELTA, cada una de los menús realizados se comunican a través del protocolo Modbus el cual utiliza las memorias utilizadas en la programación del PLC, la única diferencia es que para la utilización de estas mismas memorias la dirección de Modbus se incrementa +1 en el caso de controlar la memoria M0.1 del PLC, en la codificación del HMI se utiliza la dirección M0.2.

De acuerdo a las memorias mencionadas con anterioridad se diseñó un menú en el que se muestra la información de control del servo motor en el cual se puede observar y controlar la velocidad de pulsos como se muestra en Figura 13, para la interfaz del variador de frecuencia se indica en la Figura 14, la frecuencia de trabajo, velocidad, temperatura del dispositivo de conmutación, voltaje y corriente.



Figura 13. Interfaz control servo motor



Figura 14. Interfaz VFD

De la misma forma existe un menú en el que se visualizan y se controlan las variables del túnel de calor, punto de ajuste de temperatura, y la temperatura actual.



Figura 15. Interfaz Túnel de calor

4.1.7 Tablero principal de control

El diseño del tablero de control como elemento principal incorpora un Router IOT de la marca Delta modelo DX-2100RW-WW, adicional posee equipos como un PLC Delta modelos DVP20EX2, un variador de frecuencia modelo VFD-E, un Servo Drive ASDA-A2, una interfaz HMI modelo DOP-100 de 4" touch, un analizador de energía Delta modelo DPM- C530, una fuente de voltaje 24VDC, una planta para proceso de simulación de túnel de calor en cual incorpora un transmisor de temperatura PT100, relé de estado sólido SIRIUS y un motor trifásico SIEMENS de 1HP.

El circuito de control dispone de un breaker principal bifásico de 3 amperios el cual energiza a la fuente de poder Delta que suministra el voltaje de control de 24VDC, este voltaje se sub distribuye en tres fusibles de control independiente de 0.5 amperios, uno para el HMI, otro para el router IOT DX2100, transmisor de temperatura TPT12 y el suministro para encender el ventilador de 24VDC de la plata túnel de calor. EL sistema del lazo de control funciona con un transmisor de temperatura TPT12 de la marca Tetrapak que suministra una salida de 4-20mA a 24VDC, el PLC recibe la señal y ejecuta la lógica de control según el algoritmo de cálculo.

4.1.8 Configuración de la plataforma DIACloud

Para la configuración de esta plataforma es esencial la configuración de los denominados DIADevices y DIACom. Estas se lo realizan para configurar cada dispositivo a controlar, este caso el PLC es el encargado de controlar el servo motor, y el control de temperatura, se debe indicar la dirección de Modbus de cada memoria que activa dichas salidas.



Figura 16. Configuración DIACloud

En la configuración de DIACloud se gestiona el escritorio o denominado dashboard donde se ubican las variables a supervisar y controlar, con la creación de usuarios permitidos a ingresar al sistema mediante una conexión de red privada (VNC) de DELTA; estos usuarios acceden a través de las aplicaciones propias de DELTA disponibles tanto para Android e iOS y sitio web. La cual garantiza la seguridad de datos de extremo a extremo, con el cifrado de datos, esta configuración se lo realiza en el Router configurando la dirección IP del PLC, HMI.

El router Dx-2100 también tiene la posibilidad de enviar alarmas relacionadas al proceso de control, se pueden crear avisos de emergencia específicos relacionados a una variable, en este caso se fabricó una alarma de sobre calentamiento en el túnel de calor cuando este supere los 60 grados centígrados.

4.2 Pruebas

Para evidenciar la conexión remota y local existente entre todos los dispositivos que conforman la fabricación inteligente, se realizó un ping o una prueba de red ping la cual transmite paquetes de datos a una dirección IP específica y confirma o niega que haya conectividad entre los dispositivos de la red IP. En caso de confirmación, se indica la latencia o la duración del tiempo de respuesta realizando dicha prueba. Una latencia más baja proporciona una mejor experiencia, ya que incluso los milisegundos pueden importar en situaciones de una respuesta rápida es esencial. Si el ping falla, no existe comunicación entre los dispositivos.



```
C:\Users\sanch>ping 192.168.5.5
Haciendo ping a 192.168.5.5 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.5.5: bytes=32 tiempo=108ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.5.5: bytes=32 tiempo=105ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.5.5: bytes=32 tiempo=119ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.5.5: bytes=32 tiempo=105ms TTL=64

Estadísticas de ping para 192.168.5.5:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 105ms, Máximo = 119ms, Media = 110ms

C:\Users\sanch>ping 192.168.5.10
Haciendo ping a 192.168.5.10 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.5.10: bytes=32 tiempo=354ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.5.10: bytes=32 tiempo=117ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.5.10: bytes=32 tiempo=103ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.5.10: bytes=32 tiempo=103ms TTL=64

Estadísticas de ping para 192.168.5.10:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 103ms, Máximo = 354ms, Media = 168ms
```

Figura 17. Ping

Una vez verificada la conexión existente se verifico el control y supervisión de manera local y remota utilizando un computador y un dispositivo móvil dentro y fuera del área de implementación.

Para la comunicación entre todos los dispositivos, sensores actuadores, sensores, PLC, y el sistema de DIACloud, se utiliza cada uno de los puertos disponibles de comunicación RS-485, los cuales con la ayuda del convertidor a TCP/IP se establece una conexión serial entre los dispositivos utilizados. Los equipos Soportan Modbus TCP, Modbus RTU y otros protocolos, también incluyen un puerto RS-485, un RS-232 y puertos WAN/LAN. Se pueden tener las siguientes arquitecturas: Cliente –Servidor: Para gestión o programación de equipos. Servidor-Servidor: Conexión entre dos PLC’s o dos equipos, conexión punto a punto. Control Distribuido: Interconexión de equipos PLC’s, HMI, módulos descentralizados y otros.

La plataforma permite visualizar los valores de los procesos desde la página web, aplicación móvil.

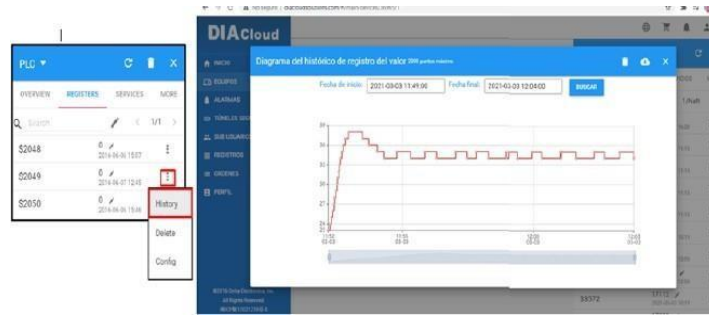


Figura 18. Dashboard DIACloud

El valor de temperatura permanece estable según el punto de ajuste asignado, esto se debe al diseño del controlador PID el cual gracias a sus constantes permiten controlar la variable de salida con su valor presente, pasado y futuro mediante la realimentación, también se verifica los dispositivos conectados y su estado, es decir si están activados o desactivados.



Figura 19. Disposición de equipos

El interfaz hombre-máquina (HMI), para cada uno de los procesos, en la cual se visualiza las variables de los procesos. En la figura 20 se muestra el interfaz del VFD y túnel de calor. Las variables de control del variador de frecuencia indican el voltaje, corriente, frecuencia de trabajo y frecuencia actual, en la interfaz hombre-máquina como en la plataforma se muestra los botones de inicio y paro, como sus características principales con fines de monitoreo. La interfaz del túnel de calor muestra la temperatura actual y el valor de consigna o punto de ajuste.



Figura 20. Interfaz hombre-máquina (HMI)

5. DISCUSIÓN

La implementación de Internet de las cosas (IoT) para la supervisión y control de procesos industriales de fabricación inteligente en tiempo real ha emergido como una solución innovadora y efectiva en la mejora de la eficiencia y la calidad en la industria. Esta tecnología permite la interconexión de dispositivos y sistemas en la planta de producción, facilitando la recopilación de datos en tiempo real y su posterior análisis para la toma de decisiones informadas.

Una de las principales ventajas del IoT en este contexto es su capacidad para proporcionar una supervisión continua y detallada de los procesos industriales. Esto permite identificar posibles problemas o desviaciones en la producción de manera rápida y precisa, lo que a su vez permite una respuesta inmediata para corregir estos problemas antes de que afecten significativamente la calidad o la eficiencia.

Además, el IoT ofrece la posibilidad de realizar un control remoto de los procesos industriales, lo que significa que los operadores pueden monitorear y ajustar los parámetros de producción desde cualquier ubicación con acceso a Internet. Esto no solo aumenta la flexibilidad y la capacidad de respuesta de la planta, sino que también puede reducir los costos operativos al minimizar la necesidad de personal en el lugar.

Otro aspecto destacado del uso de IoT en la fabricación inteligente es su capacidad para facilitar la integración de diferentes sistemas y dispositivos en la planta. Al utilizar protocolos de comunicación estándar y plataformas de software interoperables, el IoT puede superar los desafíos de la fragmentación y la incompatibilidad entre los sistemas existentes, lo que permite una mayor cohesión y eficiencia en toda la operación.

Sin embargo, a pesar de sus numerosos beneficios, la implementación exitosa de IoT en la supervisión y control de procesos industriales de fabricación inteligente no está exenta de desafíos. La seguridad de los datos y la protección contra ciberataques son preocupaciones importantes, especialmente considerando la cantidad de información confidencial que se recopila y transmite a través de las redes IoT.

6. CONCLUSIONES

El diseño y desarrollo del módulo y plataforma IoT para la supervisión y control en tiempo real de procesos industriales de fabricación inteligente, marca un avance significativo en el Instituto Tecnológico Universitario ISMAC.

Se prioriza la comunicación efectiva entre la plataforma DIACloud y el PLC SX2, así como el control del variador de frecuencia, con el fin de mejorar la eficiencia energética, y se destaca la importancia de la miniaturización y la integración de sensores y actuadores en las máquinas herramienta, lo que garantiza mediciones confiables y una respuesta rápida del actuador.

La implementación de este sistema busca mejorar la productividad y la eficiencia, promoviendo la autonomía en los procesos de producción y optimizando la operación de la planta. Se enfatiza la flexibilidad en la aplicación de sistemas de automatización y la capacidad de reprogramación de los módulos, enriqueciendo la experiencia educativa de los estudiantes.

REFERENCIAS

1. Agrawal, D., El Abbadi, A., Antony, S., & Das, S. (2010). Data management challenges in cloud computing infrastructures. Proceedings of 6th international workshop on databases in networked information systems.
2. Amazon. (2022). IoT Azure. Obtenido de <https://aws.amazon.com/es/iot/>
3. Arents, J., & Greitans, M. (2022). Smart Industrial Robot Control Trends, Challenges and Opportunities within Manufacturing.
4. Ashima, R., Haleem, A., Bahl, S., Javaid, M., Mahla, S., & Singh, S. (2021). Automation and manufacturing of smart materials in Additive Manufacturing technologies using Internet of Things towards the adoption of Industry 4.0.
5. Balakrishnan, A., Kumara, S., & Sundaresan, S. (1999). Manufacturing in the digital age: exploiting information technologies for product realization.
6. Baldwin, C., & Woodard, C. (2009). The architecture of platforms: a unified view.
7. Balta, E., Tilbury, D., & Barton, K. (2018). A centralized framework for system-level control and management of additive manufacturing fleets.
8. BDI. (2018). German digital industry platforms. Obtenido de <https://english.bdi.eu/publication/news/german-digital-industry-platforms/>
9. Begoli, E., & Horey, J. (2012). Design principles for effective knowledge discovery from big data.
10. Bennane, A., & Yacout, S. (2013). New data processing tool for diagnosis and prognosis in condition-based maintenance.
11. Beverungen, D., Muller, O., & Matzner, M. (2019). Conceptualizing smart service systems.
12. Bologna, F., Tannous, M., Romano, D., & Stefanini, C. (2022). Automatic welding imperfections detection in a smart factory via 2-D laser scanner.
13. Brouns, N. (2019). Una nueva era industrial: tecnologías, características, marcos y aplicaciones. Eindhoven, Holanda.
14. Brox, J., & Fader, C. (2002). El conjunto de estrategias de gestión justo a tiempo: una evaluación de su impacto en la productividad a nivel de planta y la sustitución de factores de entrada utilizando estimaciones de función de costo variable.
15. Bughin, J., Chui, M., & Manyika, J. (2010). Clouds, big data, and smart assets: ten tech-enabled business trends to watch.
16. C. Alexakos, C., Anagnostopoulos, C., Fournaris, A., Koulamas, C., & Kalogeras, A. (2018). Iot integration for adaptive manufacturing.
17. Chae, B. (2019). La evolución de Internet de las cosas (IoT): un análisis de texto computacional.
18. Chen, M., Mao, S., & Y, L. (2014). Big data: a survey.
19. Cheng, B., Yuksel, M., & Kalyanaraman, S. (2021). Orthogonal Rendezvous Routing Protocol for Wireless Mesh Networks.
20. Cheng, J., Chen, W., Tao, F., & Lin, C. (2018). Industrial IoT in 5G environment towards smart manufacturing.
21. Cherif, L., Zitoune, L., & Vque, V. (2017). Joint optimization of energy consumption and throughput of directional WMNs.
22. Chui, M., Manyika, J., Miremadi, M., & Jorge, K. (2017). Human + Machine: una nueva era de automatización en la fabricación.

23. Connerty, M., Navales, E., Kenney, C., & Bhatia, T. (2021). Las empresas manufactureras necesitan vender resultados, no productos.
24. Cusumano, M., Yoffie, D., & Gawer, A. (2020). The future of platforms.
25. Dai, Y., Wu, J., & Zhao, Y. (2015). Boundary Helps: Reliable Route Selection With Directional Antennas in Cognitive Radio Networks.
26. de Arquer, F. P., Candás, J., & Arbolea, P. (2021). Una plataforma IoT de código abierto para la supervisión de plantas fotovoltaicas.
27. De Reuver, M., Sørensen, C., & Basole, R. (2018). The digital platform: a research agenda. DELTA. (23 de 02 de 2022). DELTA.
Obtenido de [https://delta-](https://delta-electronics.com.br/es/empresa/)
28. [electronics.com.br/es/empresa/](https://delta-electronics.com.br/es/empresa/)
29. Edgar, T., Butler, S., Campbell, W., Pfeiffer, C., Bode, C., Hwang, S., & Hahn, J. (2020). Automatic control in microelectronics manufacturing: Practices, challenges, and possibilities.
30. EdgeX Foundry. (2018). About EdgeX Foundry.
31. Evjemo, L., Gjerstad, T., Grotli, E., & Sziebig, G. (2020). Tendencias en la fabricación inteligente: papel de los humanos y los robots industriales en las fábricas.
32. Fang, X., & Chen, H. (2021). Using vendor management inventory system for goods inventory management in IoT manufacturing.
33. Fijorek, K., Jurkowska, A., & Jonek, I. (2021). Resources Policy 70.
34. Filina, O., Tsvetkov, A., Pavlov, P., Radu, D., & Butakov, V. (2019). Web of Conferences.
35. Gandomi, A., & Haider, M. (2015). Beyond the hype: big data concepts, methods, and analytics.
36. Gawer, A. (2014). Bridging differing perspectives on technological platforms: toward an integrative framework.
37. Gerber, D., Liou, R., & Brown, R. (2019). Oportunidades de ahorro de energía de cargas de CC directa en edificios.
38. Ghazawneh, A., & Henfridsson, O. (2013). Balancing platform control and external contribution in third-party development: the boundary resources model.
39. Guerriero, A., Ragni, F., & Martines, C. (2010). A dynamic URL assignment method for parallel web crawler.
40. Gultekin, E., Cinar, C., & Okur, M. (2020). International Journal of Environmental Science and Technology.
41. Guth, J., Breitenbucher, U., & Falkenthal, M. (2016). Comparison of IoT platform architectures: a field of study based on a reference architecture. Paris, Francia.
42. Hanelt, A., Nischak, F., & Markus, N. (2020). Building platform ecosystems for IoT exploring the impact on industrial-age firms.
43. Hankel, M., & Rexroth, B. (2015). El Modelo Arquitectónico de Referencia Industria 4.0 (RAMI4.0).
44. Hodapp, D., Remane, G., Hanelt, A., & Kolbe, L. (2019). Business models for internet of things platforms: empirical development of a taxonomy and archetypes.
45. Huang, J., Li, Y., & Xie, M. (2015). An empirical analysis of data preprocessing for machine learning-based software cost estimation.

46. Jeschke, S., Brecher, C., Canción, H., & Rawat, D. (2017). Internet industrial de las cosas: sistemas de fabricación cibernética. Suiza.
47. Jeschke, S., Brecher, C., Meisen, T., Ozdemir, D., & Eschert, T. (2017). Industrial internet of € things and cyber manufacturing systems.
48. Jin, X. (2015). Importancia y desafíos de la investigación de Big Data.
49. Katta, M., Ramesh, T., & Plosila, J. (2021). SB-Router: A Swapped Buffer Activated Low Latency Network-on-Chip Router.
50. Kiangala, K., & Wang, Z. (2022). An Experimental Safety Response Mechanism for an Autonomous Moving Robot in a Smart Manufacturing Environment Using Q-Learning Algorithm and Speech Recognition.
51. Kumar, N., & Lee, S. (2022). Human-machine interface in smart factory: A systematic literature review.
52. Kusiak, A. (2018). Smart manufacturing.
53. Kusiak, A., & Verma, A. (2012). Analyzing bearing faults in wind turbines: a data-mining approach.
54. Lasi, H., Fettke, P., & Kemper, H. (2014). Industry 4.0.
55. Lee, J., Lapira, E., Bagheri, B., & Kao, H. (2013). Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment.
56. Lee, M., Butavicius, M., & Reilly, R. (2003). Visualizations of binary data: a comparative evaluation.
57. Li, J., Tao, F., Cheng, Y., & Zhao, L. (2015). Big data in product lifecycle management. *Int J Adv Manuf Technol*.
58. Liu, R., He, Y., Zhao, Y., Jiang, X., & Ren, S. (2020). Automation in Construction.
59. Liu, Y., Jin, J., Ji, P., Harding, A., & Fung, R. (2013). Identifying helpful online reviews: a product designer's perspective.
60. Lopez, F., Shao, Y., Mao, M. K., Barton, Z., & Tilbury, D. (2018). A software-defined framework for the integrated management of smart manufacturing systems.
61. López, G. B. (2016). Las remuneraciones y su influencia en la motivación laboral de los colaboradores de Ministerio de transporte y obras públicas de Tungurahua. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
62. Lu, Y., & Cecil, J. (2015). Un marco colaborativo basado en Internet de las cosas (IoT) para la fabricación avanzada.
63. Lu, Y., Witherell, P., & Jones, A. (2020). Standard connections for IIoT empowered Smart manufacturing.
64. Marx, U. (2020). Internet-plattformen: Der Maschinenbau hinkt digital hinterher.
65. Mittal, S., Kan, M., Romero, D., & Wuest, T. (2017). Fabricación inteligente: características, tecnologías y factores habilitadores.
66. Morgan, J., Halton, M., Qiao, Y., & Breslin, J. (2021). Industry 4.0 smart reconfigurable manufacturing machines.
67. Morgan, J., Halton, M., Qiao, Y., & Breslin, J. (2021). Industry 4.0 smart reconfigurable manufacturing machines.
68. Mousavi, S., Shams, H., & Ahmadi, S. (2017). Simultaneous optimization of repair and control- limit policy in condition-based maintenance.

69. Na, W., Park, L., & Cho, S. (2019). Deafness-aware MAC protocol for directional antennas in wireless ad hoc networks.
70. Nee, A., Ong, S., Chryssoulouris, G., & Mourtzis, D. (2012). Aplicaciones de realidad aumentada en diseño y fabricación.
71. Nicolae, B., Antoniu, G., Bougé, L., Moise, D., & Carpen-Amarie, A. (2011). BlobSeer: next generation data management for large scale infrastructures.
72. openHAB. (2022). openHAB. Obtenido de <https://www.openhab.org/>
73. Ordieres, J., Villalba, J., & Zheng, X. (2019). Challenges and opportunities for publishing IIoT data in manufacturing as a service business, *Procedia Manufacturing* 39 (2019) 185– 193.
74. Park, J. (2021). Integración del sistema de control empresarial—Parte 1: Modelos y terminología.
75. Parker, G., Van, M., & Choudary, S. (2016). Platform revolution: how networked markets are transforming the economy and how to make them work for you. New York.
76. Petrik, D., & Herzwurm, G. (2020). Towards the IIoT ecosystem development: understanding the stakeholder perspective.
77. PTC. (2022). PTC. Obtenido de <https://www.ptc.com/es/products/thingworx>
78. Raw, R., Lobiyal, D., Das, S., & Kumar, S. (2015). Analytical evaluation of directional-location aided routing protocol for VANETs.
79. Rowling, J. (2015). Movilidad urbana en la era de las ciudades inteligentes. Londres, Reino Unido.
80. Schermuly, L., Schreieck, M., Wiesche, M., & Krcmar, H. (2019). Developing an industrial IoT platform: trade-off between horizontal and vertical approaches.
81. Schneider, S. (2017). The industrial internet of things (IIoT) applications and taxonomy.
82. Schreieck, M., Wiesche, M., & Krcmar, H. (2016). Design and governance of platform ecosystems: key concepts and issues for future research.
83. Shan, L., Wang, Z., & Jiang, C. (2020). Key technologies of real-time visualization system for intelligent manufacturing equipment operating state under IIOT environment.
84. Shan, S., Wen, X., Wei, Y., Wang, Z., & Chen, Y. (2020). Intelligent manufacturing in industry 4.0: a case study of Sany heavy industry.
85. Siddiq, A., Hashem, I., Yaqoob, I., Marjani, M., Shamshirband, S., & Gani, A. (2016). A survey of big data management: taxonomy and state-of-the-art.
86. Siddiq, A., Hashem, I., Yaqoob, I., Marjani, M., Shamshirband, S., & Gani, A. (2016). A survey of big data management: taxonomy and state-of-the-art.
87. Sisinni, E., Saifullah, A., & Han, S. (2018). Industrial internet of things: challenge, opportunities and directions.
88. Sisinni, E., Saifullah, A., Han, S., Jennehag, U., & Gidlund, M. (2018). Internet industrial de las cosas: desafíos, oportunidades y direcciones.
89. Sivarajah, U. (2017). Análisis crítico de los desafíos de Big Data y métodos analíticos . Spangenberg, U. (2020). *Vehicle System Dynamics*.
90. Tancara, C. (2017). La investigación documental. La PAZ: Temas sociales.
91. Tao, F., Cheng, J., & Qi, Q. (2017). IIHub: an industrial internet-of-Things hub towards smart manufacturing based on cyber-Physical system.

92. Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., & Sui, F. (2017). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data.
93. Trade, J. (2014). *Industria 4.0: fabricación inteligente para el futuro*. Berlin+, Alemania. Vasudevan, H., Kotur, V., & Raina, A. (2019). *Actas de la Conferencia Internacional sobre*
94. *Fabricación Inteligente y Automatización*.
95. Villarreal, F. P., & Flores, J. (2020). *Computers and Electronics in Agriculture*.
96. Wang, X., Wu, Z., Li, L., Li, X., & Yang, W. (2021). High-efficiency single-photon router in a network with multiple outports based on chiral waveguide–emitter couplings.
97. Wang, Y., Xu, Y., & Tang, Y. (2019). Control de agregación distribuida de edificios inteligentes interactivos con la red para soporte de frecuencia del sistema de energía.
98. Wortmann, F., & Fluchter, K. (2015). *Internet of things: technology and value added*.
99. Xu, D., Li, G., & Zhang, F. (2021). Scheduling an automatic IoT manufacturing system with multiple servers.
100. Yoo, Y., Henfridsson, O., & Lyytinen, K. (2010). The new organizing logic of digital innovation: an agenda for information systems research.
101. Zhan, P., Wang, S., Wang, J., Qu, L., Wang, K., Hu, Y., & Li, X. (2021). Temporal anomaly detection on IIoT-enabled manufacturing.
102. Zhang, Y. (2022). Una arquitectura de análisis de big data para procesos de fabricación y mantenimiento más limpios de productos complejos. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616310198>
103. Zhang, Y., Zhang, G., Wang, J., Sun, S., Si, S., & Yang, T. (2015). Real-time information capturing and integration framework of the internet of manufacturing things.
104. Zheng, P., Wang, H., Cantó, Z., Zhong, R., Liu, Y., Liu, C., . . . Xu, X. (2018). *Sistemas de fabricación inteligente para la Industria 4.0*.