



LOS PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN, UNA BASE PARA LA DIGITALIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES

Communication protocols, a basis for the digitalization of industrial processes

RESUMEN

La transformación digital de los procesos industriales está enfocada inicialmente a la obtención de datos del proceso, para posteriormente convertirlos en información que permita tomar decisiones oportunas, para obtener mejoras en la cadena de valor del proceso. La comunicación máquina - máquina, M2M, está orientada al intercambio de información entre las máquinas en un proceso industrial, lo cual ha permitido implementar sistemas de control distribuido. El internet de las cosas, IoT, tecnología propuesta desde industria 4.0, está planteando la posibilidad de comunicación no solo a nivel de máquinas, sino también la comunicación con los clientes, los proveedores, con todos los actores en la cadena de valor de la empresa. Esta comunicación horizontal y vertical se está logrando a través de protocolos de comunicación como MQTT, RFID, OPC

- Luis Felipe Cuero Granobles
luis.cuero@uao.edu.co
- Iván Miguel Londoño Silva
imlondono@sena.edu.co
- William Gutiérrez Marroquín
william.gutierrez@sena.edu.co - CEAI

AUTORES

UA, protocolos basados en Ethernet IP, objeto de estudio en el presente proyecto.

En este artículo se presenta la caracterización de algunos de los protocolos de comunicación utilizados en IoT, para lo cual se utilizan aplicaciones de simulación para obtener y validar información proveniente de sensores y actuadores de una línea de fabricación; al realizar el análisis de la evaluación de

cada uno de los protocolos que se utilizaron para este estudio se determina las altas prestaciones del protocolo OPC UA, sobre los otros estudiados. OPC UA es una alternativa bastante viable para la comunicación, soportado en su fácil implementación, está embebido en un número considerable de autómatas programables como los PLC S7 1500, de Siemens, los PLC BOSCH, además su velocidad de comunicación, como el tamaño de paquete que soporta, permite ajustarse a las necesidades de un entorno IIoT.

Palabras Claves: IoT o Internet de las cosas, digitalización de fábrica, PLC, Protocolos de Comunicación Industrial.

ABSTRACT

The digital transformation of industrial processes is initially focused on obtaining process data, to later convert them into information that allows making timely decisions, to obtain improvements in the process value chain. Machine-machine communication, M2M, is aimed at the exchange of information between machines in an industrial process, which has allowed the implementation of distributed control systems. The Internet of Things, IoT, a technology proposed by industry 4.0, is raising the possibility of communication not only at the machine level, but also communication with customers, suppliers, with all the actors in the company's value chain. This horizontal and vertical communication is being achieved through communication protocols such as MQTT, RFID, OPC UA, protocols based on Ethernet IP, which are the object of study in this project.

This article presents the characterization of some of the communication protocols used in IoT, for which simulation applications are used to obtain and validate information from sensors and actuators of a manufacturing line; when carrying out the analysis of the evaluation of each one of the protocols used for this study, the high performance of the OPC UA protocol was determined, over the others studied. OPC UA is a quite viable alternative for communication, supported by its easy implementation, it is embedded in a considerable number of programmable automats such as the S7 1500 PLCs from Siemens, the BOSCH PLCs, in addition to its communication speed, such as the packet size that it supports, allows adjusting to the needs of an IIoT environment.

Keywords: Industrial Communication Protocols, IoT or Internet of things, factory digitization, PLC.

1. INTRODUCCIÓN

Las tendencias tecnológicas en la industria están marcadas en los últimos años por el internet de las cosas, la inteligencia artificial, la robotización y la analítica de grandes datos, lo que está provocando la transformación de los procesos industriales. Estos cambios marcan las pautas de lo que se conoce como la cuarta revolución industrial, la industria 4.0 o la manufactura inteligente. El uso de tecnologías de internet de las Cosas (IoT) en la manufactura, también conocido como el Internet de las cosas industrial (IIoT), incorpora el aprendizaje de máquina y tecnología de grandes volúmenes de datos (big data), aprovechando los datos de sensores, comunicación de máquina

a máquina (M2M) y las tecnologías de la automatización que han existido en configuraciones industriales hasta el momento. Es importante incorporar ese tipo de tecnologías de avanzada en el sector académico, haciendo uso de herramientas de aprendizaje modernas, como lo son las plantas didácticas a escala piloto y sus versiones en línea o simuladas. Éstas permiten interactuar y entender las funciones de los diferentes dispositivos utilizados para el control de procesos, así como su reacción a cambios en los mismos. Ejemplos de plantas pilotos didácticas de diferentes temáticas y funciones, encontramos en el Centro de Biotecnología Industrial del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) sede Palmira y en el Centro de Electricidad y Automatización Industrial CEAI, en la Sede de Cali, entre otras.

Con la integración de elementos tecnológicos se puede generar ambientes en los cuales se desarrollan actividades de aprendizaje, los estudiantes se enfrentan a procesos reales, con situaciones características de dichos procesos, aún en tiempos como los que estamos viviendo de Pandemia, ya que se puede trabajar con la versión simulada; estos ambientes de aprendizaje contribuyen a la formación técnica de los estudiantes y a que desarrollen competencias y habilidades profesionales para desempeñar su trabajo en la industria de forma eficaz. A pesar de que las plantas piloto se utilizan para el aprendizaje, deben cumplir con normas y estándares tanto de diseño como de proceso, esto permite replicar de una mejor forma el proceso industrial y también se pueden constituir en un referente de mejoramiento tecnológico para las pequeñas y medianas

industrias de la región.

Para el desarrollo del proyecto se tomó como referencia las siguientes investigaciones: La industria 4.0, relacionada con el concepto de “fabrica inteligente”, en la cual los sistemas tecnológicos de hardware – software monitorean y controlan procesos físicos en los centros de producción, tomando decisiones y acciones descentralizadas. Los sistemas distribuidos de un determinado proceso se comunican entre sí y a la vez con los seres humanos en tiempo real a través de las redes de comunicación inalámbrica transformándose en internet de las cosas (S. Dol & R. Bhinge, 2018).

En (H. Sasajima, T. Ishikuma, & H. Hayashi, 2015) presentan las “Últimas tendencias de estandarización en la automatización industrial”, soportadas en internet y los ordenadores en el futuro se introducirá una nueva sociedad con un Sistema Físico Cibernético (CPS) en los entornos IIoT, denominado como la cuarta generación de la revolución industrial. Este enfoque estratégico tiene como objetivo la creación de nuevos modelos de negocio para la realización de una sociedad de fabricación más inteligente en el futuro.

Una visión general del desarrollo y estandarizaciones de acuerdo a la conectividad de las tecnologías IIoT y plataformas con el potencial de impulsar al desarrollo de la próxima revolución industrial, abordando los principales retos pendientes para alcanzar todo el potencial de la IIoT, es decir, lograr una conectividad segura en el sistema, se relacionan en (S. Mumtaz et al., 2016).

A su vez en, (T. M. Fernández-Caramés & P. Fraga-Lamas, 2018), resaltan que las fábricas inteligentes se definen como fábricas flexibles debido a que todos sus sistemas de producción se encuentran conectados mediante redes e identificadas mediante etiquetas únicas de comunicación que pueden ser identificadas remotamente, capaces de manejar flujos constantes de datos de operaciones e información de la empresa gracias a la Tecnología de la Internet Industrial de las Cosas (IIoT).

En este artículo se pretende presentar los resultados del proyecto de pasantía “Diseño de una arquitectura para la digitalización de una línea de fabricación didáctica de cilindros neumáticos simulada”, trabajo realizado en el Centro de Electricidad y Automatización Industrial CEAI del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, encaminado a dos propósitos, uno servir como sistema didáctico con características industriales en los cuales se pueda mostrar a los empresarios de la región las ventajas de la transformación digital de los procesos de manufactura y como segundo propósito, el disponer en el centro de formación de un ambiente que permita desarrollar actividades de aprendizaje, mediante las cuales los aprendices adquieran competencias de las tecnologías propuestas en industria 4.0.

2. METODOLOGÍA

El desarrollo de este proyecto estuvo orientado bajo el ciclo PHVA, el cual es una herramienta de gestión de mejora continua. PHVA, siglas de las fases Planear, Hacer, Verificar y Actuar. La principal característica de un ciclo PHVA es que no tiene un punto

inicial y final, en el momento de obtener un resultado se actúa para corregir las posibles desviaciones y así generar proceso de mejora continua.

2.1 ETAPAS DEL PROYECTO

2.1.1 Planeación

En esta etapa se consultó en bases de datos, internet, biblioteca, las especificaciones técnicas de ocho protocolos MQTT, Modbus, RFID, LORAWAN, OPC UA, TCP/IP, SOCKET, AMQP; se elaboró la caracterización de cada protocolo; se realizó la comparación de los protocolos consultados para determinar los cuatro que ofrecían mayores ventajas por sus especificaciones técnicas a nivel de transporte, a nivel de capa física y se definieron las herramientas o paquetes de programación instalables en un entorno IIoT.

2.1.2 Ejecución

En esta etapa se diseñó la arquitectura para la recopilación de datos del entorno IIoT; se determinó la alternativa viable teniendo en cuenta parámetros como: disponibilidad, licencias, economía, manejo de herramientas.

2.1.3 Validación

La Validación se desarrolló en dos fases:

Fase 1. Configuración y desarrollo de una estrategia de intercambio de datos, para conocer sus características y el análisis de los resultados.

Fase 2. Envío y/o recepción de datos de un proceso real entre dos plantas, evaluación y análisis de resultados.

3. DESARROLLO DE CONTENIDOS

Planteamiento de las Necesidades y Especificaciones Técnicas del Cliente.

Se plantea trabajar de manera remota utilizando software y herramientas de fácil acceso y bajo costo para llevar acabo los objetivos y alcance de este proyecto. Se tuvo en cuenta las especificaciones técnicas y necesidades manifestadas por parte de algunos instructores y aprendices del CEAI-SENA (Cliente – Usuario Final), sin olvidar que en dicho centro no se cuenta con la tecnología de avanzada, ni los recursos suficientes para invertir e implementar una estrategia que permita la recopilación de datos de la línea de fabricación didáctica de cilindros neumáticos. A continuación, se muestra tanto la lista de especificaciones técnicas como lista de necesidades con su respectiva importancia:

- **Especificaciones Técnicas.**

Especificaciones	Medición
5 Sensores Digitales	Bit
1 Sensor Análogo	Entero
4 Actuadores Cilindros Neumáticos	Bit
3 Actuador Eléctrico.	Bit
Distancia entre los sensores y el equipo de control	0.58 metros
Distancia entre los actuadores y el equipo de control	0.9 metros
Distancia entre sistema de adquisición de datos al PLC	5 metros
1 PLC	SIEMENS S7-1500
1 Computador Servidor.	N/A

Tabla 1. Especificaciones Técnicas.

- **Requerimientos del Cliente.**

Especificaciones	Medición	Rango que se espera
Rapidez	Bit/s	3500-5000 Bit/s
Tiempo de latencia	Segundos	0.00001-0.00009 segundos
Capa de transporte Ethernet	Nivel Capa Física	Ipv4
Uso del producto	Constante	Constante
Tamaño de Paquete	Byte	50-420 Byte
Reconocimiento de Llegada	Si-No	Si
Consumo de Recurso	Kbs	7-15 Kbs
Tiempo de vida dato	Segundos	64-128 Segundos

Tabla 2. Requerimientos del Cliente

3.1. CARACTERIZACIÓN DE PROTOCOLOS

En el desarrollo del proyecto se realizó la caracterizaron de ocho protocolos, en este artículo se presentan dos de ellos:

Protocolo MQTT

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) es un protocolo de transporte de mensajes Cliente/Servidor basado en publicaciones y subscripciones a los

denominados “tópicos”. Cada vez que un mensaje es publicado será recibido por el resto de los dispositivos adscritos a un tópico del protocolo.

Protocolo OPC/ OPC UA

OPC es una tecnología de comunicación con una arquitectura de cliente y servidor. Una aplicación actúa de servidor proporcionando

datos y otra actúa como cliente leyéndolos o manipulándolos.

La Arquitectura Unificada OPC (OPC UA) es un protocolo de comunicación independiente del proveedor para aplicaciones de automatización industrial. Se basa en el principio cliente-servidor y permite una comunicación continua desde los sensores y actuadores individuales hasta el sistema ERP o la nube. El protocolo es independiente de la plataforma y dispone de mecanismos de seguridad integrados. OPC UA es flexible y totalmente independiente, por lo que está considerado el protocolo de comunicación ideal para la implementación de la Industria 4.0 (Rodríguez, M., 2016).

3.2 COMPARACION DE CRITERIOS.

Al realizar la caracterización de cada uno de los protocolos anteriores, se procede a compararlos, de acuerdo a las especificaciones técnicas y necesidades planteadas por el cliente; en este caso los criterios más importantes para evaluar son: el tipo de licencia, la instalación, el consumo, entre otros. Sin embargo, esta comparación, no es concluyente para tomar una decisión respecto a qué protocolos escoger, por tanto, se realiza una ponderación entre los protocolos, basada en los criterios planteados.

	MQTT	MODBUS	RFID	LORAWAN	OPCUA	TCP/IP	SOCKET	AMQP
Tipo de licencia	Gratuita	N/A	N/A	Gratuita	Gratuita	N/A	N/A	N/A
Fácil Instalación	SI	N/a	SI	NO	SI	N/A	N/A	SI
Consumo	Bajo	Alto	Alto	Bajo	Medio	Bajo	Alto	Bajo
Seguridad	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Niveles de Capa	3	3	3	4	4	4	3	3
Alcance	Medio	Alto	Bajo	Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo

Tabla 3. Comparación protocolos

A continuación, se procede a evaluar mediante ponderación de criterios:

	MQTT	MODBUS	RFID	LORAWAN	OPC UA	TCP/IP	SOCKET	AMQP	SUMA
MQTT		5	5	5	1	3	3	5	27
MODBUS	1/5		3	3	1	5	1	5	18.2
RFID	1/5	1/3		3	1	1	5	5	15.53
LORAWAN	1/5	1/3	1/3		1	3	5	5	14.86
OPC UA	5	5	5	5		3	5	5	33
TCP/ IP	1/3	1	5	1/3	1/3		5	5	16.99
SOCKET	1/3	5	1/5	1/5	1/5	1/5		5	11.13
AMQP	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5		1.2
S U M A T O T A L									138

Tabla 4. Ponderación de Criterios

Se realizó la comparación (Tabla 3) y ponderación (Tabla 4). Se evidencia que los protocolos que mejores características técnicas tienen para poder llevar a cabo un intercambio de datos según las necesidades requeridas y criterios evaluados son: El OPC UA, seguido del MQTT y el Modbus, por último, el TCP/IP, sin embargo, para no ser

redundante, teniendo en cuenta que todos los protocolos utilizados se basan en él, se decidió utilizar el quinto clasificado: Método de Comunicación Socket. Cabe resaltar que para los protocolos escogidos se tuvo en cuenta también el criterio personal de los integrantes del proyecto.

3.4 DEFINICION DE HERRAMIENTAS, PROGRAMAS O DISPOSITIVOS.

Se utiliza las siguientes herramientas y programas teniendo en cuenta la disponibilidad en el C.E.A.I.:

- TIA Portal
- CIROS Education
- Node – Red
- Wireshark
- PLC SIM Y PLC SIM ADVANCE 3.0
- Mosquitto Broker
- Raspberry Pi
- Modbus Poll

3.2 DISEÑO DE UNA ARQUITECTURA PARA LA RECOPIACIÓN DE DATOS DEL ENTORNO IIOT

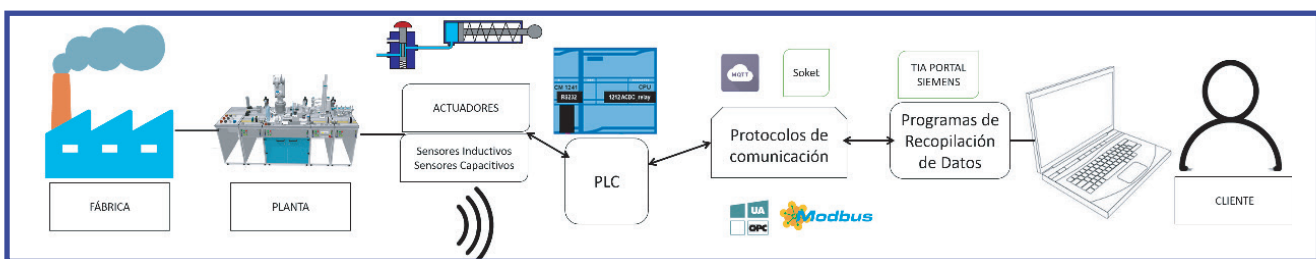


Figura 1. Arquitectura para la digitalización de una línea de fabricación didáctica de cilindros neumáticos

La Figura 1 nos muestra el diseño de una arquitectura para recopilación de datos en un entorno IoT, teniendo en cuenta las necesidades básicas que requiere una

fábrica tipo PYME donde se encuentran varios procesos y las distancias de transmisión de datos no es extensa, en base a esto pasaremos a explicar cada uno de los actores que intervienen en la arquitectura:

• **Fábrica:** La fábrica simula a la empresa donde se efectúa todo el ambiente IIoT, donde se ubicarán las plantas, los motores, sensores, actuadores, entre otros elementos.

• **Planta:** Representa las estaciones de trabajo donde se efectúa el proceso de fabricación de cilindros neumáticos.

Actuadores y Sensores: Son los encargados del accionamiento de las diferentes tareas, en cada planta podemos encontrar diversos tipos de sensores tanto inductivos como capacitivos y lo mismo pasa con los actuadores donde encontraremos cilindros neumáticos entre otros.

PLC: Es el autómata programable donde entra y sale información proveniente tanto de los actuadores y sensores, como del proceso en general.

• **Protocolos de comunicación:** son los encargados de hacer el traslado de la información entre los dispositivos y el PLC y entre el PLC y la herramienta para la recopilación de datos.

• **Programa Recopilación de Datos:** Es el encargado de la recopilación y de

compartir la información que reciba a través de los protocolos de comunicación proveniente de los procesos.

- **Cliente:** Son los encargados a darle manejo a todo el sistema, podrá ser un operario de planta, un supervisor, un aprendiz Sena, entre otros.

toman como referencia los siguientes:

- **IoT Sensor Telemecanique:** Es un sensor de la marca Telemecanique Sensors, el cual permite monitorización de forma remota de equipos industriales conectados vía ethernet y con acceso a la nube.

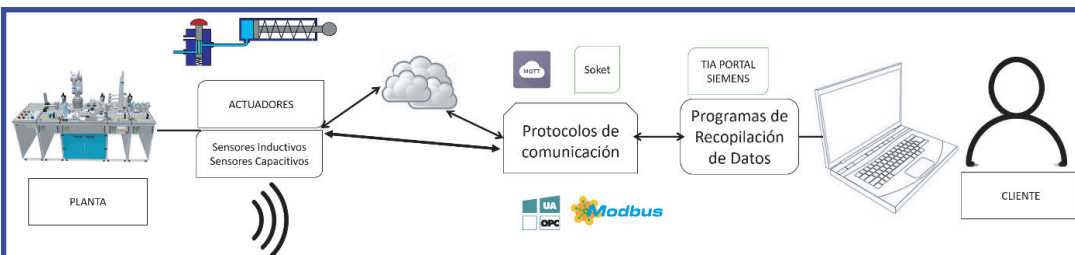


Figura 2. Arquitectura para la digitalización de una línea de fabricación didáctica de cilindros neumáticos directa y/o en la nube

La Figura 2 muestra el segundo diseño de arquitectura para la recopilación de datos IoT. Dicha arquitectura está planteada con el fin de ahorrar procesos para el análisis y la recopilación de datos, es decir tener dispositivos como sensores y actuadores inteligentes que puedan compartir información directamente a los programas de recopilación de datos, así estos datos se puedan obtener de una manera directa o en la nube.

Por lo cual en el diseño solo se ven involucradas la planta, los sensores y actuadores inteligentes, la nube, los protocolos de comunicación industrial, los programas de recopilación de la información compartida tanto por los sensores como por los actuadores y por último un cliente final.

Para esto se consultaron los sensores y actuadores que actualmente ofrecen dicha tecnología, y se encontraron varios, se

- **IoT Standalone Sensor:** es el terminal IoT desarrollado por Khomp para integrar sensores de medición directamente a la

solución de IoT (Raquel Cruz, 2019).

- **Actuadores Belimo Cloud:** ofrece a una línea de actuadores de compuertas y válvulas de Internet de las cosas (IoT), que ofrecen conectividad en la nube para una puesta en marcha rápida y fácil y un monitoreo remoto.

Para determinar cuál de las alternativas planteadas era viable para el proyecto, se analizaron 3 aspectos principalmente: económico, facilidad de adquisición de software o elementos para su funcionamiento e instalación, y si cumplían los requisitos básicos para la recopilación de datos, además la infraestructura instalada.

En el aspecto económico, podemos decir que es viable la alternativa uno (Figura 1), debido a que se están usando softwares libres para la instalación de protocolos, no se requiere de elementos extras para su funcionamiento, el costo total para la puesta a punto de los protocolos es de cero, esto no quiere decir que sea la mejor opción, se prioriza en este caso, el aspecto económico

debido a que no se cuenta con los recursos para invertir en una mejor tecnología. La alternativa dos (Figura 2) la implementación es más costosa ya que los softwares para su implementación no son libres.

En las dos alternativas, la adquisición del software es sencilla de manera que la podemos encontrar en las páginas de los creadores como el caso del MQTT, en el caso de Modbus, OPC UA, Socket ya vienen predeterminada las librerías en el programa de TIA Portal v16, por tanto, no se necesita utilizar parches informáticos con el fin de modificar el comportamiento del programa (Crack Informático) ni elementos extras.

La instalación de la alternativa uno, no necesita de técnicas especializadas, ni poseer mucho conocimiento en el tema de industria 4.0, debido a que son protocolos muy ligeros, de fácil entendimiento y lo más importante que funcionan bajo la capa de transporte TCP/IP que es de los protocolos más usados, conocidos e importantes en el internet en todos los ámbitos.

La alternativa dos, es posible que requiera la contratación de especialista para su instalación. Por todo lo mencionado anteriormente resaltamos que la alternativa uno (Figura 1) es viable para realizar la recopilación de datos en la línea de fabricación de cilindros neumáticos, ya que cumple cada uno de los criterios que hacen parte de las especificaciones técnicas y requerimientos que se plantearon al comienzo de la planeación del proyecto.

3.3 VALIDACIÓN

En esta validación se abordaron 2 fases, en la primera se realizó la configuración de una estrategia de intercambio de datos de cada protocolo, los resultados que se obtuvieron con algunos parámetros que se seleccionaron para la evaluación, se analizaron. En la segunda fase se realizó una práctica con los protocolos en dos procesos de línea de fabricación de cilindros neumáticos sometidas a estudio, haciendo análisis de los resultados obtenidos y comparando con los resultados que arrojó la segunda fase.

Para la fase 2, los 2 procesos de la línea de fabricación de cilindros neumáticos, escogidos para el análisis de datos fueron: “Distribución de los cilindros neumáticos” y “Almacenamiento de cilindros neumáticos” Las fases son las siguientes:

Fase 1. Configuración y desarrollo de una estrategia de intercambio de datos, para conocer sus características y el análisis de los resultados.

La actividad realizada en esta fase fue la configuración para el intercambio de datos por medio los protocolos utilizando PLC Siemens S7-1500, aquí se realizó el análisis y comparativa de los resultados teniendo en cuenta los parámetros como por ejemplo el tiempo que éste se demora en enviar y recibir diferentes datos, la velocidad, nivel de capa, entre otros. Para empezar el análisis se observó que cada vez que se realizaba la practica arrojaban valores distintos, por ende, se toma un escenario ideal y con promedios en cada ítem a evaluar. Los

resultados que se mostrarán a continuación hacen parte de unos parámetros los cuales son:

- Internet suministrado vía ethernet de 4Mb.
- Distancia entre dispositivos de 9mt.
- Computador 1: Memoria RAM 8 Gb, AMD 10 8 Núcleos.
- Computador 2: Memoria RAM 4Gb Intel i5 5th generación 8 Núcleos.

La velocidad del internet varía dependiendo de la cantidad de dispositivos conectados a la red por ende la práctica se realizó solo con los dos computadores conectados vía Ethernet y sin servicio a la red wifi.

Cada uno de los computadores simula un PLC S7-1500, en cada uno de ellos se tiene instalado el programa de TIA Portal v16 y el complemento de simulación PLCSIM Advance 3.0.

La estrategia que se llevó acabo para cada uno de los protocolos sometidos a evaluación, fue intercambiar datos entre los dos dispositivos PLC 1500 con un tipo de dato (String) y la cantidad de datos (10), con el fin de poder analizar cada uno de los protocolos y hacer una comparativa. Esta práctica no está sujeta a ningún proceso de la línea de fabricación de cilindros neumáticos, los datos fueron aleatorios.

Para el análisis de desempeño los datos fueron sacados de la plataforma de análisis y flujo de datos llamada Wireshark.

Para la prueba de la fase 1, con el protocolo

MQTT, no se utilizó dos PLC para el envío de datos, debido a que no se pudo configurar uno como cliente y otro como publicador, para esto se utilizó Node Red y un solo PLC 1500, de igual manera se pudo analizar los tiempos de respuesta, el peso del dato que se envíe y demás. **Análisis de los resultados Fase 1**

• Tamaño de paquete:

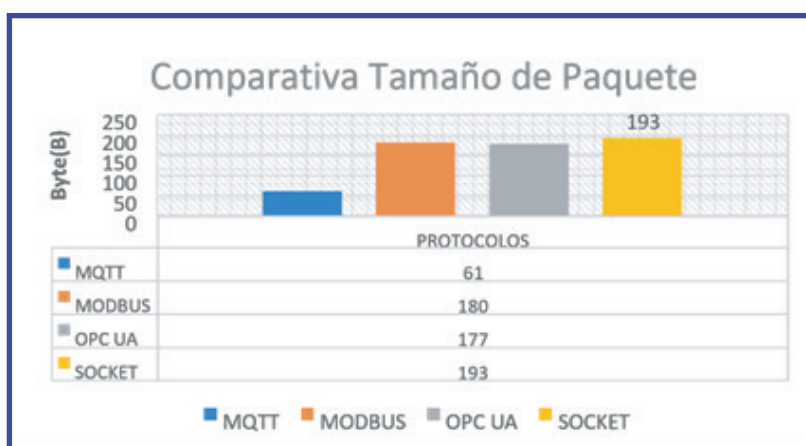


Figura 3. Comparación Tamaño Paquete

En la Figura 3, se observa la comparativa de tamaño de paquete que se envió frente a cada uno de los protocolos, según los resultados obtenidos en cada una de las tablas donde se evaluó este parámetro, dando como resultado que el protocolo MQTT envió un paquete de menor tamaño con una diferencia de más del doble (61 Byte de MQTT frente a los 177 Bytes de OPC UA) por ende en este parámetro el protocolo MQTT envía paquetes de menor tamaño.

- **Tiempo de Latencia:**

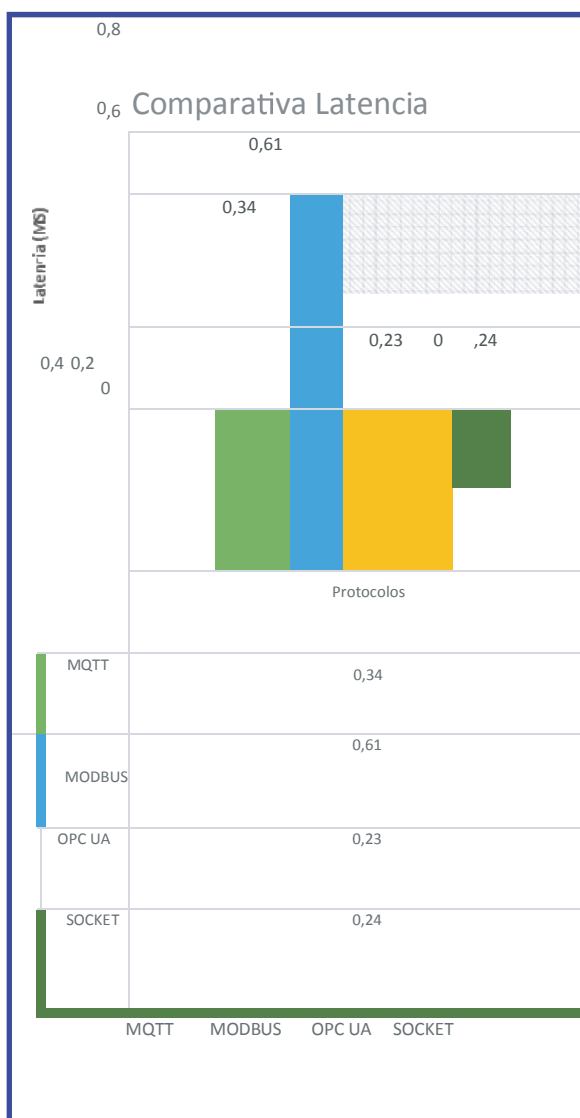


Figura 4. Comparación tiempo Latencia.

En la figura 4, se observa la comparativa de tiempo de latencia, esto corresponde al tiempo que tardó el envío del paquete entre los dos PLC en cuestión en este caso, se observa que el protocolo Modbus fue el que más se demoró enviando el paquete de un destino al otro y el menor fue el protocolo OPC UA, aunque la diferencia de tiempos es casi inapreciable, para algún proceso de manufactura puede ser importante tener una

respuesta rápida.

- **Consumo Recurso:**

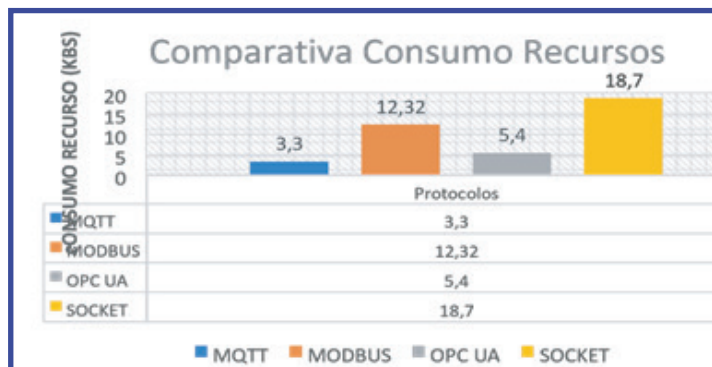


Figura 5. Comparación Consumo de Recursos.

En la Figura 5 se observa la comparativa de consumo de recurso por parte de los protocolos evaluados, dando como resultado al método de comunicación Socket como el que mayor consumo de recurso requiere para cumplir la práctica y el que menos consume requiere fue el protocolo MQTT.

Velocidad

En la Figura 6 se observa la comparativa de velocidad entre los protocolos, lo que podemos ver es que no hay una diferencia significativa entre los valores promedios de cada uno de los protocolos, teniendo como el OPC UA el que obtuvo mayor velocidad de transmisión lo cual va muy ligado al dato que se obtuvo al tiempo de latencia que fue el menor, por otro lado, el protocolo MQTT fue el que obtuvo menor velocidad en promedio los cuatro protocolos analizados en esta práctica.

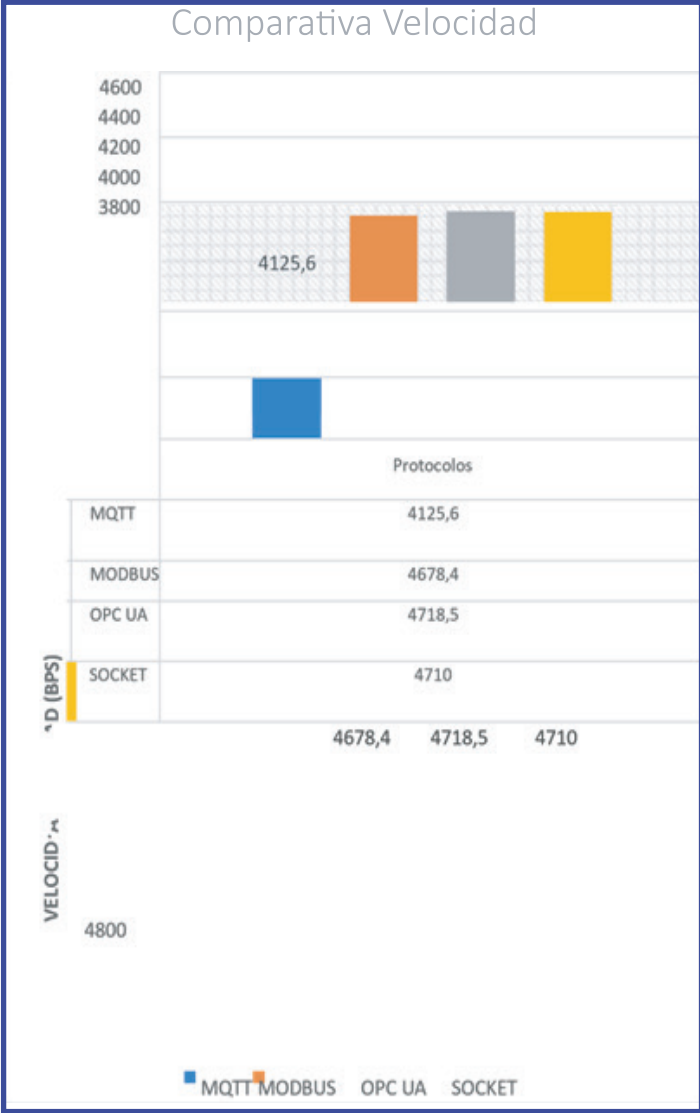


Figura 6. Comparación de Velocidad.

Tiempo de vida del dato

En la Figura 10, se observa la comparativa de tiempo de vida del dato entre cada uno de los protocolos analizados, donde se detalla el tiempo que está disponible el paquete en la red, donde el protocolo Socket y OPC UA son los que más tiempo duran respecto a MQTT y Modbus.

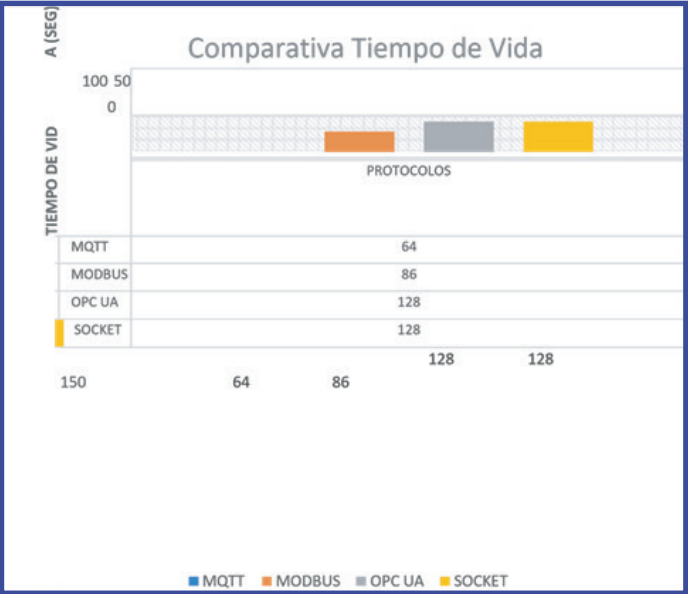


Figura 7. Comparación de Tiempo de Vida.

Fase 2. Envío y/o recepción de datos de un proceso real entre dos plantas, evaluación y análisis de resultados.

La actividad realizada en esta fase fue el intercambio de datos entre dos procesos que se dan en la línea de fabricación de cilindros neumáticos, los cuales están simulados en el programa de TIA Portal con todos sus parámetros de funcionamiento. Lo que se modificó tomando como referencia a la fase 2 de validación, fue el tipo de variable de dato que en este caso es (Bool), teniendo en cuenta que los datos que se comparten son provenientes de sensores y actuadores. Para compartir información entre ambos procesos productivos de la línea de fabricación de cilindros neumáticos, también se cambia el método o protocolo usado normalmente para este proceso (TSend_C y TRCV_C) por las instrucciones correspondientes a cada uno de los cuatro protocolos. Los datos que se compartieron fueron, por ejemplo: activar el sensor, estado del sensor, estado

del actuador, desplazar la pieza, entre otros. Por lo cual fueron incontable número de datos y paquetes que se intercambiaron en esta práctica. Después de realizar la práctica con cada uno de los protocolos se procede a recopilar la información de los parámetros que se plantean para evaluar cada uno de estos protocolos, los resultados están basados en el análisis que genera la herramienta Wireshark.

Luego de esto se muestra de manera breve (en la figura 8) la herramienta Tia Portal que contiene la programación de las plantas seleccionadas junto con el programa de Ciro's Studio donde se observa la línea de fabricación de cilindros neumáticos simulada, ambas herramientas compiladas para compartir información de sus procesos.

lo cual permitió que un PLC, S7-1500, del proceso de distribución, actuara como publicador y el otro PLC, S7-1500, del proceso de almacenamiento, se pudiera suscribir al tópico en Node-Red. Se logró hacer la comunicación del protocolo MQTT.

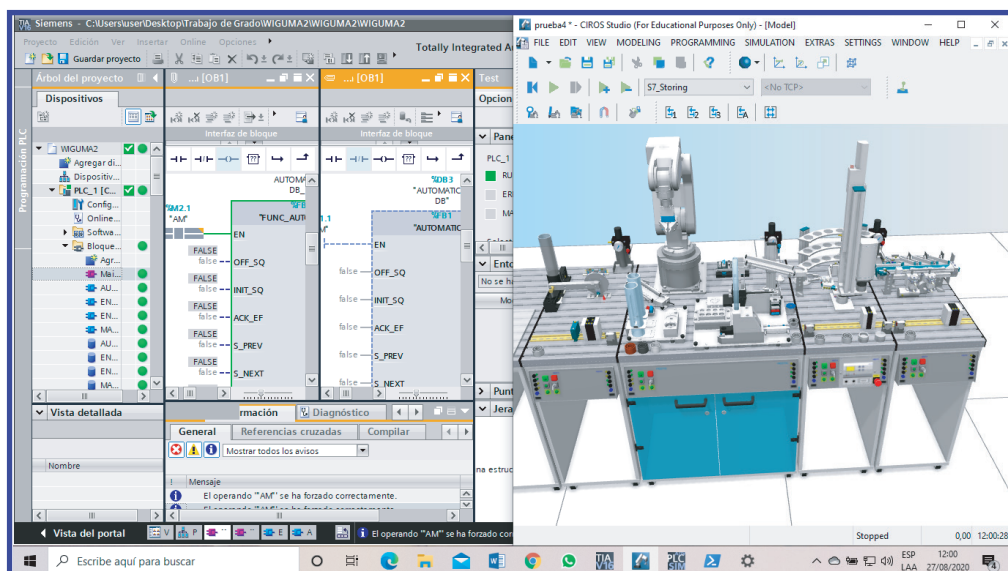


Figura 8. Compilación de dos procesos de producción con TIA Portal v16 y Ciro's Studio.

Resultados de la practica:

Para el protocolo MQTT se tuvo que realizar un proceso adicional, debido a que no se logró conectar los dos PLC, uno como publicador y otro como suscriptor, utilizando el Broker de mosquito, por tanto, lo que se hizo fue utilizar la herramienta NODE-RED como un Broker simulado a través de una Raspberry Pi 4,

● MQTT:

PROCESO	Tipo de dato	Transporte Capa de	Arquitectura	Tamaño de paquete (Byte)	latencia (seg) Tiempo de	internet Capa de	Reconocimiento de llegada	Consumo de recurso (kbs)	Velocidad (bps)	Tiempo de vida del dato (seg)
Distribución - Almacenamiento	Bool	S7	Publicador/ Suscriptor	119	1.214	IPv4	Si	9.32	3147.23	128
Almacenamiento- Distribución	Bool	S7	Publicador/ Suscriptor	70	1.845	IPv4	Si	5.1	3954.2	128

Tabla 5. Resultado de parámetros fase 2 protocolo Socket, datos obtenidos de Wireshark

● MODBUS

ANÁLISIS Y RESULTADOS

PROCESO	Tipo de dato	Capa de Transporte	Arquitectura	Tamaño de paquete (Byte)	Tiempo de latencia (seg)	Capa de internet	Reconocimiento de llegada	Consumo de recurso (kbs)	Velocidad (bps)	Tiempo de vida del dato (seg)
Distribución - Almacenamiento	Bool	TCP/IP	Publicador/ Suscriptor	311	0.00392	IPv4	Si	12.59	4496,14	64
Almacenamiento- Distribución	Bool	TCP/IP	Publicador/ Suscriptor	61	0.000027	IPv4	Si	8.3	4659,98	128

En la Fase 2 se validó mediante una actividad práctica el comportamiento de los cuatro protocolos, midiendo

Tabla 6. Resultado de parámetros fase 2 protocolo Socket, datos obtenidos de Wireshark

el número de datos, conociendo su arquitectura, el tamaño de paquete, tiempo de latencia, consumo de recursos, velocidad, entre otros, comparándolos y evaluándolos.

● OPC UA

PROCESO	Tipo de dato	Capa de Transporte	Arquitectura	Tamaño de paquete (Byte)	Tiempo de latencia (seg)	Capa de internet	Reconocimiento de llegada	Consumo de recurso (kbs)	Velocidad (bps)	Tiempo de vida del dato (seg)
Distribución - Almacenamiento	Bool	TCP/IP	Publicador/ Suscriptor	286	0.000027	IPv4	Si	13.3	4935,11	64
Almacenamiento- Distribución	Bool	TCP/IP	Publicador/ Suscriptor	61	0.00373	IPv4	Si	7.7	4325,78	128

Tabla 7. Resultado de parámetros fase 2 protocolo Socket, datos obtenidos de Wireshark.

En la fase 3 se evaluó mediante actividad práctica en la línea de fabricación de cilindros

neumáticos, simulada, el comportamiento de los 4 protocolos con dos procesos específicos de la planta cuyos resultados estuvieron ligados a la cantidad de componentes que se tenían (2 sensores digitales, 2 actuadores de

● SOCKET

PROCESO	Tipo de dato	Capa de Transporte	Arquitectura	Tamaño de paquete (Byte)	latencia Tiempo (seg)	Capa de internet	Reconocimiento de llegada	Consumo de recurso (kbs)	Velocidad (bps)	Tiempo de vida del dato (seg)
Distribución - Almacenamiento	Bool	TCP/IP	Publicador/ Suscriptor	303	0.000030	IPv4	Si	15.7	4952,87	84
Almacenamiento- Distribución	Bool	TCP/IP	Publicador/ Suscriptor	55	1,007	IPv4	Si	4.32	4358,21	64

Tabla 8. Resultado de parámetros fase 2 protocolo Socket, datos obtenidos de Wireshark

los cuales 1 es eléctrico y el otro neumático, un computador el cual actuaba como

servidor), a las especificaciones técnicas y requerimientos del cliente; se concluyó cuál de los protocolos se ajustaba de mejor manera a estos requisitos. Se concluye que

los 4 protocolos funcionaron de una manera correcta con respecto a los requerimientos planteados por el cliente al inicio del proyecto, lo que permitió llevar a cabo cada una de las actividades propuestas, también se logró hacer la recopilación de los datos de cada uno de los parámetros y se analizó los resultados obtenidos.

Se evidenció un patrón en los resultados de los procesos de distribución de cilindros neumáticos y de almacenamiento de cilindros neumáticos: El primer proceso (Distribución > Almacenamiento) genera una mayor velocidad, menor tiempo de latencia, mayor tamaño de paquete y mayor consumo de recursos, mientras que en el proceso (Almacenamiento -> Distribución), se tiene como resultado una disminución significativa en estos parámetros. Se concluye, por tanto, que se comparte mayor cantidad de información y de paquetes en el primer proceso.

Cabe resaltar que el protocolo OPC UA basado en los resultados obtenidos tanto en la fase 2 con un tipo de dato (String) como en la fase 3 con un tipo de dato (Booleano), tuvo un desempeño significativo frente a los otros protocolos teniendo en cuenta los parámetros analizados, con tiempos de respuestas menores, con una mayor velocidad, y con tamaño de paquete menores a los otros protocolos evaluados.

En cada una de las fases se evidenciaron errores pragmáticos cuando se ejecutaban los programas que contenían cada uno de los protocolos analizados, se presentaban inconvenientes con la red que se creaba entre el PLC y a la aplicación de TIA Portal.

4. CONCLUSIONES

- La caracterización de protocolos permite identificar las especificaciones técnicas de cada uno de los cuatro protocolos implementados para conocer en detalle sus ventajas y desventajas, respecto a: tipo de licencia, fácil instalación, consumo, seguridad, nivel de capa de Ethernet, alcance. Esta información es útil para los aprendices SENA en su proceso de aprendizaje de selección e instalación de sistemas de comunicación IIoT, teniendo en cuenta los requerimientos del cliente y las especificaciones técnicas de cada uno de los protocolos, también es útil para las PYMES y diferentes clientes que requieren conocer a fondo cada uno de ellos.
- La posibilidad de utilizar aplicaciones de simulación permitió conocer, implementar y validar información proveniente de sensores y actuadores de una línea de fabricación de cilindros neumáticos simulada, haciendo uso de 4 protocolos de intercambio de datos, en un entorno IIoT.
- Al realizar el análisis de la evaluación de cada uno de los protocolos que se utilizaron para este estudio se puede determinar que, para los procesos de almacenamiento y distribución, el protocolo OPC UA, representa una alternativa bastante viable para la comunicación, debido a que es de fácil implementación, se encuentra embebido en la mayoría de PLC's S7 1500, de Siemens, tanto la velocidad como el tamaño de paquete que soporta permite ajustarse a las necesidades de

un entorno IoT.

- Todos los procesos planeados conforme a la metodología propuesta en este proyecto, fueron debidamente documentados y organizados, a fin de convertirse en fuente de información para los aprendices SENA, las PYMES y diferentes clientes que requieran conocerla.
- Al desarrollar las prácticas utilizando la metodología de PHVA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar), se logró identificar algunos errores que se pueden cometer cuando se realizan las diferentes actividades planteadas, haciendo la validación pertinente en cada avance que se haga para poder actuar, corregir y solucionar cada una de las dificultades que se presenten en las etapas, a medida que se va avanzando en el proyecto.

Referencias

- H. Sasajima, T. Ishikuma, and H. Hayashi. (2015) "Notice of Removal: Future IIOT in process automation — Latest trends of standardization in industrial automation, IEC/TC65," in 2015 54th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE), 2015, pp. 963–967. 10.1109/SICE.2015.7285569.
- Raquel Cruz Xavier (2019). "Terminales, gateways y sensores IoT: conozca la línea completa de Khomp,".
- Rodriguez, M. (2016). "Protocolo OPC UA," Revista Digital INESEM. <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/protocolo-opc-ua-caracteristicas-yaplicaciones/>.
- S. Dol and R. Bhinge. (2018). "SMART motor for industry 4.0," in 2018 IEEMA Enginne Infinite Conference, eTechNxt 2018, pp. 1–6. 10.1109/ETECHNXT.2018.8385291.
- S Mumtaz, A. Alsohaily, Z. Pang, A. Rayes, K. F. Tsang, and J. Rodriguez. (2016). "Massive Internet of Things for Industrial Applications: Addressing Wireless IIoT Connectivity Challenges and Ecosystem Fragmentation," IEEE Ind. Electron. Mag., vol. 11, no. 1, pp. 28–33, 2017. 10.1109/MIE.2016.2618724.
- T. M. Fernández-Caramés and P. Fraga-Lamas. (2018). "A Review on Human-Centered IoT- Connected Smart Labels for the Industry 4.0," IEEE Access, vol. 6, pp. 25939–25957, 2018. 10.1109/ACCESS.2018.2833501.