

Protocolos de Comunicación Empleados para la Integración de Robots Articulados y Controladores Lógicos Programables (PLC) (2023)

Jaimes R. Juan, Estudiante Ingeniería Mecatrónica, Universidad Santo Tomás Bucaramanga, Colombia,
juan.jaimes05@ustabuca.edu.co

Niño S, Kelly, kelly.nino@ustabuca.edu.co

Sarmiento R, Jose, jose.sarmiento02@ustabuca.edu.co

Resumen - El presente documento tiene como objetivo recopilar información sobre las posibilidades de conexión entre dos tecnologías de automatización industrial: los robots articulados y los PLC. Para ello, se llevó a cabo una revisión bibliográfica que permitió identificar los métodos de conexión más comunes entre estas dos herramientas entre los que se encuentran conexión por medio de buses de entradas y salidas digitales y protocolos de comunicación industrial como protocolo Profinet y protocolo OPC. Esta información, se obtuvo tras la revisión de los trabajos de investigación previos que hayan utilizado los equipos mencionados. El documento se enfoca en analizar la viabilidad de conectar estas dos tecnologías, y cuáles son los métodos más comunes de conexión para posteriormente plantear proyectos que puedan ser llevados a la práctica con los elementos disponibles en la Facultad de Ingeniería Mecatrónica de la USTA que son PLC S7-1200 de SIEMENS y el robot industrial IRB 120 de ABB.

Palabras claves: Programación, RobotStudio, TIA portal, Protocolos de comunicación industrial, HMI, ABB, SIEMENS

Abstract - The purpose of this document is to collect information on the connection possibilities between two industrial automation technologies: articulated robots and PLCs. For this, a bibliographical review was carried out that allowed to identify the most common connection methods between these two tools. This information was obtained after reviewing some previous research papers that have used the aforementioned equipment. The document focuses on analyzing the feasibility of connecting these two technologies, and what are the most common connection methods to subsequently propose projects that can be put into practice with the elements available in the USTA Mechatronics Engineering

faculty that are PLCs. S7-1200 from SIEMENS and the industrial robot IRB 120 from ABB.

Keywords: Programming, RobotStudio, TIA Portal, Industrial Communication Protocol, HMI, ABB, SIEMENS.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la robótica industrial ha ganado una creciente relevancia en la industria gracias a sus múltiples ventajas y aplicaciones. Los robots industriales se han convertido en una herramienta imprescindible en el ámbito manufacturero, permitiendo una mayor eficiencia, precisión y rapidez en los procesos productivos, además de reducir los costos y mejorar la calidad de los productos finales.

Si bien al pensar en la robótica se puede imaginar en equipos recientes y máquinas de última tecnología, este es un tema que tiene sus inicios cuando los antiguos egipcios unieron brazos mecánicos a las estatuas para ser manipulados [1]. Avanzando en la historia, los robots aplicados a la industria se pensaron para realizar labores sencillas en ciertos ambientes que pudieran ser considerados riesgosos para los trabajadores, pero a partir de entonces han ido ganando importancia, trayendo beneficios como incrementar la efectividad y productividad, agregar adaptabilidad y flexibilidad a los procesos, aumentar la seguridad en el espacio de trabajo e incluso la reducción de los desechos [2].

Debido a la cuarta revolución industrial y el avance de las ciencias, se comprende la importancia de la integración de diferentes tecnologías, apareciendo así la mecatrónica, que comprende y sugiere la necesidad de integrar instrumentos, dispositivos, máquinas y procesos por medio de diferentes

Artículo científico presentado como opción de grado para optar por el título de Ingeniero Mecatrónico.

Autor: Estudiante de Ingeniería Mecatrónica y Especialización en automatización industrial. Correo: juan.jaimes05@ustabuca.edu.co

Directora: Ingeniera Mecatrónica y Especialista en Automatización Industrial, Universidad Santo Tomás Bucaramanga. Correo: kelly.nino@ustabuca.edu.co.

Codirector: Ingeniero Mecánico y Magister en Ingeniería Mecánica, Universidad Industrial de Santander. Correo: jose.sarmiento02@ustabuca.edu.co.

protocolos de comunicación [3]. Tomando en cuenta lo anteriormente mencionado, se plantea esta revisión bibliográfica, cuyo objetivo contempla no solo mencionar el valor y aplicaciones de la robótica (enfocándose específicamente en robots articulados), sino también resaltar la importancia de realizar la conexión e integración entre los robots articulados y los PLC. Para el cumplimiento de este objetivo, se incluye la extracción de información importante y aplicable a los equipos disponibles a la Facultad de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Santo Tomás, ya que se ha comprobado que estudiantes que interactúan en prácticas con equipos físicos, no solo lograron afianzar su conocimiento de forma significativa, sino también aumentaron su satisfacción en el aprendizaje, dichos resultados se pueden encontrar en el trabajo realizado por J. Kwantongon, et al [4].

II. ROBOTS ARTICULADOS EN LA ACADEMIA, SUS MÉTODOS DE CONTROL Y APLICACIONES.

Dentro de las diversas tareas que deben realizarse para llevar a cabo procesos de manufactura, se encuentran labores que en la actualidad ya no se realizan por la mano de obra humana, esto debido a múltiples factores que pueden afectar tanto la integridad del operario o trabajador como la eficiencia de la producción. Debido a lo anterior, la robótica es un área que continuamente está bajo investigación y desarrollo, con el fin de buscar soluciones eficientes y seguras para la automatización de procesos industriales.

Actualmente existen una gran cantidad de empresas y también instituciones educativas que cuentan con al menos un manipulador industrial o específicamente un robot tipo articulado que en el caso de instituciones de educación superior, representan un gran apoyo para el aprendizaje de los estudiantes. Por otra parte, en muchas instituciones no se cuentan con robots articulados de fabricantes reconocidos, por lo que se recurre a otras alternativas para aportar a los estudiantes estos conocimientos desde el diseño de los manipuladores, de tal manera que se tenga un profundo conocimiento en programación, diseño y funcionamiento de estos robots.

Se han identificado proyectos de investigación que abordan el diseño de manipuladores, desde la selección de motores hasta el hardware y software adecuados para el control de los mismos. Entre las herramientas utilizadas, se pueden encontrar placas de programación similares a la tecnología Arduino, tomando como referencia el trabajo realizado por el autor A. R. Peñamaría, quien utiliza la placa de programación Teensy [5], la cual puede ser utilizada como unidad de control para el robot y además como unidad de entradas/salidas. Sin embargo, el hecho de no contar con robots de fabricantes reconocidos no quiere decir que se limiten las opciones, pues en proyectos como el realizado por M. Ruiz Vinyeta y R. Llauger Roca [6] donde se construye el manipulador desde el diseño propio y se integra esta vez sí con la tecnología Arduino (Arduino Mega en este caso), se

observa que existe una gran gama de oportunidades de aplicación y desarrollo, donde ya no solo se realiza la programación de robots y diseño mecánico, sino se integra con programación en lenguaje estructurado utilizando herramientas como Android Studio, lo que permite ya no solo tener que estar presente con el robot y el controlador para dar órdenes, sino que también se puede realizar control desde incluso una aplicación en dispositivos móviles.

Si bien es cierto que la falta de manipuladores industriales no implica una limitante en la enseñanza de la robótica, es importante destacar las ventajas que se obtienen al contar con el equipo adecuado para esta tarea. En este punto se empieza a ver la importancia de integrar diferentes tecnologías y áreas de aprendizaje, se puede ver cómo los robots industriales se logran adaptar con dispositivos PLC y otras tecnologías para su funcionamiento y control, pues es posible iniciar desde conexión básica entre entradas/salidas y desde allí tener una gran posibilidad de opciones que brinda un PLC para comunicarse. Se puede observar en proyectos como el realizado en la Escuela Superior Técnica de Chimborazo [7] donde se presenta una aplicación de ensamblaje en la que se enlaza un robot de tipo industrial del fabricante Kawasaki, mediante conexión de entradas y salidas a un PLC S7-1200, el cual a su vez se comunica mediante PROFINET con un PLC S7-1500, al que se agrega el módulo CP 1242-7 de SIEMENS para comunicación GSM, permitiendo así que un dispositivo móvil por medio de mensajes de texto SMS pueda no solo enviar órdenes de control al robot, sino incluso llevar un registro de las actividades que se han realizado en la planta de ensamblaje.

Cabe agregar que al emplear los robots en diferentes plantas o células robotizadas que funcionen de manera autónoma se hace necesario agregar diferentes sistemas o protocolos de seguridad que soporten el funcionamiento de estos equipos, en este punto, se contempla también la unión del controlador del robot (que en casos de robots industriales ya cuenta con ciertas medidas de seguridad) con un PLC quien es principal controlador de los procesos, como se puede encontrar en el trabajo realizado en la Universitat Politècnica de Catalunya [8], quienes basados en la norma de protección UNE-ISO 10218 "Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales", diseñaron un circuito impreso que permitiera comunicación del robot articulado Mitsubishi RV-2AJ con el PLC S7-1200 de SIEMENS, el cual, en su programa, se centraba en monitorear los sensores, relés y estados del robot, además de contar con las rutinas de parados de emergencia y advertencias.

Si bien en los proyectos y aplicaciones con robots industriales se ha mencionado la integración de los PLC para tareas de comunicación e integración con otras tecnologías como dispositivos móviles, cabe tener en cuenta que cada robot cuenta con su controlador el cual es fundamental para la programación y manipulación, por lo que debe considerarse el

punto de partida al momento de trabajar con robots industriales. En este caso, tomando como referencia el trabajo de fin de grado de Beatriz Matos [9] se realiza la programación y simulación de un robot IRB 120 ABB, el cual es el mismo con el que se cuenta en la Facultad de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Santo Tomás; en este trabajo, el autor realiza un resumen de las funcionalidades del software Robot Studio propio del fabricante ABB, el cual es utilizado para simular y programar los manipuladores propios de la marca y demuestra con el proyecto la importancia de contar con material que permita conocer las funciones tanto del robot como del software y las posibles aplicaciones que se pueden dar una vez se tiene dominio de este tema.

Si bien los trabajos de simulación aportan una gran aproximación a lo que es el trabajo con los robots reales, las aplicaciones realizadas con los equipos físicos aportan gran conocimiento práctico a los estudiantes, y con ello se pueden obtener mayores beneficios al contar con los equipos reales, como ejemplo se pueden construir elementos que ayuden a explorar otras funciones de los controladores de cada robot, como expone Rodríguez López, Miguel [10] en donde desarrolla una práctica en la cual se emplea el módulo de entradas y salidas del fabricante que le permite al robot interactuar con ciertos dispositivos del exterior como sensores digitales y actuadores como cilindros a través de electroválvulas, demostrando que las simulaciones se pueden llevar a la práctica y obtener grandes beneficios del aprendizaje.

Como se ha podido evidenciar hasta el momento, continuamente se sigue investigando en cuanto al tema de la robótica, pues es un área que causa gran interés en las ciencias y en las empresas como herramientas de producción, al igual que como sujetos de pruebas para diferentes tipos de control, pues no sólo se tienen en cuenta los modelos matemáticos con los cuales cuenta cada robot, sino que por otra parte, se ha llegado a realizar control empleando inteligencia artificial como redes neuronales [11], que permiten aproximar el modelo dinámico del robot y realizar un control que demostró gran eficiencia y rápida respuesta, mejorando incluso respuestas de otros métodos más conocidos como PID y control difuso (Fuzzy).

Gracias a los proyectos y trabajos de investigación realizados, se pueden encontrar distintas aplicaciones en las que se emplean los robots articulados para llevar a cabo tareas de forma precisa y eficiente, entre las cuales se encuentran:

A. Manejo de materiales:

En este apartado se contempla lo relacionado con la manipulación de elementos de los procesos, pues se estima que el 60%-70% del costo de producción se basa en la manipulación de materiales [12], incluyendo distribución de materia prima, paletizado, selección de materiales, clasificación de productos,

aplicaciones de Pick and Place e incluso labores de ensamblaje en los que se transporta materiales o elementos entre diferentes etapas de un proceso industrial.

B. Soldadura o pegado de piezas:

Los manipuladores robóticos también son grandes herramientas para llevar a cabo labores de soldadura, pues aportan agilidad en el proceso y pueden trabajar en condiciones y espacios que puedan ser considerados peligrosos para el operario. Esta aplicación como todas las demás, depende mucho de la herramienta que se encuentre disponible de efector final, pues es la encargada de realizar la tarea asignada, esto permite incluso la reducción en gasto en cuanto a material de soldadura e incremento de la producción debido a la precisión y agilidad del robot para realizar el trazado de las piezas [13].

C. Labores de pintura:

Principalmente al aplicar la pintura en spray, es similar a como se lleva a cabo la labor de soldadura, pues se pre-define una superficie y trayectoria por la cual debe trabajar el robot [14] y esto no solo contribuye a incremento de producción por reducción en los tiempos de trabajo sino también a disminución en consumo de insumos de pintura.

D. Aplicaciones en medicina:

Si bien la mayor popularidad de los robots articulados se encuentra en la industria, también cuenta con presencia en el área de la medicina, desde el año 1980 cuando se introdujo como alternativa para realización de biopsias con gran precisión [15]. Sin embargo, los mayores avances se pueden encontrar en otras áreas de la medicina como ginecología y urología debido a su menor complejidad anatómica. Por otra parte, los robots industriales gracias a su flexibilidad de adaptación, también se han empleado en campos como distribución de medicamentos y suministros médicos, lo cual también es un aporte en el campo de la medicina al contribuir a mejorar estos procesos.

Como se ha podido evidenciar hasta ahora, la robótica es todo un mundo incluso si se habla exclusivamente de los robots de tipo articulados, los cuales son una gran herramienta para realizar tareas de automatización. Sin embargo, en la actual y futura industria 4.0 aparecen nuevos avances y tecnologías como IoT (Internet of Things) e inteligencia artificial que permitirán la creación de “fabricas inteligentes” y es allí donde no se puede olvidar la importancia de las comunicaciones industriales, ya que son fundamentales para la integración y sincronización de todos los elementos que intervienen en los procesos de manufactura.

III. COMUNICACIÓN ENTRE ROBOTS INDUSTRIALES Y PLC

En la sección anterior se pudo observar la importancia de la robótica, específicamente los robots articulados y algunas de las

aplicaciones en las que se pueden emplear. Como punto a resaltar, se pudo evidenciar que en la mayoría de las aplicaciones y proyectos (especialmente en el ámbito académico e industrial), los robots articulados suelen ir acompañados de dispositivos PLC, los cuales son los principales controladores de diferentes procesos de producción, es por esto, que se hace necesario conocer algunos de los principales métodos de conexión y/o protocolos de comunicación empleados para estas aplicaciones.

En algunos procesos de producción se suelen emplear tanto PLC como robots industriales, en estos procesos los equipos pueden “interactuar” para realizar ciertas tareas, pero no necesariamente debe existir una comunicación directa entre los dos dispositivos. Por ejemplo, en el trabajo realizado por Ruiz Arias y Salao Bravo [16] se conectan dos PLC entre sí para controlar señales de sensores y actuadores del proceso al cual se agrega un robot articulado para tareas de almacenaje, pero no existe un intercambio directo de información o señales entre el manipulador y los controladores.

Otro ejemplo que se puede tomar en cuenta es en el de una planta de ensamblaje de bicicletas como el realizado en Jilin Institute of Chemical Technology [17], donde el control principal del proceso recae sobre un PLC, el cual coopera con un robot articulado para la manipulación y transporte de piezas para diferentes etapas, pero de la misma manera no se evidencia un protocolo o una comunicación directa entre los principales dispositivos que se estudian en este documento.

Debido a que al implementar una comunicación directa entre PLC y robot se puede obtener un mejor rendimiento, se presentan las principales formas de conexión encontradas:

A. Conexión de buses de entradas y salidas

Esta conexión puede ser la más sencilla de implementar si lo que se desea es que el PLC y el robot interactúen mediante señales digitales de entradas y salidas. Un gran ejemplo se puede observar en el trabajo realizado por M. Mikhail y W. Sealy [18], donde se realiza conexión entre un robot articulado Fanuc LR mate 200iD y un PLC Allen Bradley Micrologix 1100 por medio de sus buses de entradas y salidas digitales. Para realizar esta conexión se deben conectar las salidas del PLC a las entradas del controlador del robot y viceversa.

Para este caso, es necesario tener en cuenta un par de aspectos importantes, pues se debe tener mucho cuidado al momento de interconectar las señales, se debe verificar que ambos módulos de I/O compartan el mismo rango de voltaje y corriente para su funcionamiento y asegurarse de realizar un cableado tanto organizado como funcional, teniendo en cuenta que las señales deben compartir una “tierra” o negativo común para que la lectura de los pulsos se realice de forma adecuada.

Dependiendo el fabricante, pueden existir diferentes configuraciones para que el controlador del robot pueda identificar las señales y permita ser controlado de manera externa por el PLC. Puede parecer una configuración sencilla y si bien está limitada a solo intercambio de señales digitales y no

de información o paquetes de datos estructurados, es una manera de lograr conectar estas dos tecnologías, siendo un método que demuestra ser eficiente si se realiza de manera adecuada, permitiendo también el incremento de la productividad [19], además que al tener al PLC como controlador del proceso se permite realizar pruebas de forma manual de las señales y comprobar el funcionamiento del sistema; adicional a esto, es una aplicación rentable, pues esta comunicación se suele presentar principalmente en robots de no muy alto costo y no se requiere la adquisición de módulos adicionales de comunicación o protocolos específicos.

Si bien el objetivo de esta comunicación es integrar dispositivos PLC con robots articulados, es importante ir realizando progresivamente avances que permitan obtener como resultado final dicha interacción. En el caso de ABB (fabricante del robot con el que se cuenta en la Facultad de Ingeniería Mecatrónica de la USTA), cuenta con el software de programación llamado RobotStudio, en el cual se pueden encontrar todos los manipuladores de dicho fabricante y además, permite programar los robots, realizar conexión con el controlador físico, diseñar un entorno de trabajo completo y simular otros dispositivos con los cuales se interactúan en los procesos de producción como bandas transportadoras, sensores, actuadores y demás. Estos componentes inteligentes (Smart components) se pueden tanto diseñar como programar dentro del mismo software y ofrecen la ventaja de aprender a interactuar con las señales de entradas y salidas disponibles en el controlador, ya que al tener definidas las variables y cómo estas se comportan en el programa, se logra percibir de manera más clara cómo debe ser la programación del PLC y su conexión de señales con el robot. [20].

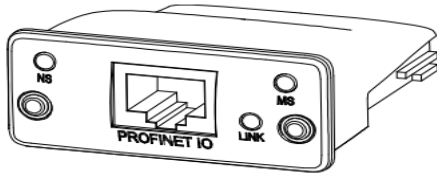
B. Conexión por protocolo Profinet

Profinet (Process Field Network) es un protocolo de comunicación Ethernet industrial el cual provee una conexión en tiempo real basado en el estándar TCP/IP [21]. Este protocolo es el estándar de comunicación para la automatización de procesos industriales y uno de los adoptados por el fabricante SIEMENS para su comunicación, es por esto que en esta sección se profundiza en el uso de este protocolo con PLC SIEMENS y su conexión con manipuladores de ABB, aprovechando el enfoque que es la aplicabilidad de estos métodos de conexión en los dispositivos disponibles en la USTA.

Si bien Profinet es el estándar de comunicación para los procesos industriales, no todos los equipos poseen por defecto la capacidad de comunicarse por medio de este protocolo, pues para la realización de esta comunicación, debe contarse con un módulo que permita el intercambio de información por este método. Llevado al entorno de la conexión con el controlador IRC5 del fabricante ABB, es necesario contar con la tarjeta Profinet del fabricante la cual es la DSQC 688 que se puede observar en la **Figura 1**, la cual cuenta con el puerto de conexión a Profinet, ya que la comunicación es posible si se realiza mediante este puerto no mediante el puerto de servicio

disponible en el controlador (este se usa para la conexión desde un PC con RobotStudio).

Figura 1. Módulo de comunicación DSQC 688 para Profinet



Fuente: ABB Application Manual PROFINET Anybus Device

Para realizar la conexión entre estos dispositivos PLC de Siemens y los robots industriales de ABB es necesario tener claro el software básico para esta comunicación, el cual sería TIA portal para el caso de Siemens y RobotStudio para el caso de ABB.

Un concepto que se necesita tener claro para poder realizar la conexión entre estos programas que disponen los fabricantes, es el concepto de un GSD, el cual es un tipo de archivo que contiene la información del dispositivo que se desea conectar a una red Profinet y del cual existen dos tipos, los cuales son GSD para redes Profibus y GSDML para redes Profinet [22].

Para asegurarse que se pueda realizar esta conexión una vez se tengan los módulos adecuados, se debe instalar el respectivo archivo GSDML del robot en el software TIA portal y una vez se cuente con la conexión virtual y se hayan definido los espacios de memoria para realizar el intercambio de información, se realiza la conexión con los equipos físicos para comprobar el correcto funcionamiento del sistema.

Ahora bien, se puede plantear la pregunta ¿Qué otra alternativa existe si no se cuenta con los módulos necesarios para realizar la conexión entre los equipos físicos? Pues en este caso, sí existen alternativas para realizar la configuración de los equipos para conexión Profinet, pero debido a que la falta de los módulos limita la posibilidad de esta comunicación con los equipos físicos, la conexión estaría orientada a realizarse en simulación y se plantean las siguientes opciones:

1) En conjunto con comunicación OPC

En este caso se realizaría el procedimiento mencionado del enlace de los dispositivos por medio del archivo GSDML y una vez configuradas las señales en RobotStudio y los espacios de memoria en TIA portal, se debe realizar esta comunicación por medio de OPC, ya que al no tener el controlador con el módulo físico, este dispositivo no se reconoce en la red Profinet y se debe realizar la conexión de variables en un software externo como se observa en el trabajo realizado por Rives Sempere, Juan [23], en el cual se utiliza la herramienta LinkMaster del software KEPSserverEX para el enlace de las variables, manteniendo la misma lógica de la comunicación entre entradas y salidas, donde las salidas del PLCsim son entradas para el robot en RobotStudio y viceversa. Esta opción permite realizar el procedimiento de configuración para la comunicación Profinet, la declaración de señales y espacios de memoria, pero

finalmente la comunicación entre los programas se realiza por medio del servidor OPC.

2) Apoyándose en complementos de software

En ocasiones esta alternativa de comunicación OPC puede presentar cierta latencia que no conviene para algunos procesos en los que el manejo de los tiempos debe ser bastante preciso [24], en este caso se pueden emplear ciertos complementos como sería NetToPLCsim para simular la red Profinet en el simulador PLCsim brindado por TIA portal y RSConnectDIOToSnap7 en RobotStudio para simular las señales digitales tanto de entradas como de salidas y a su vez el complemento RSConnectGIOToSnap7 para el intercambio de bytes enteros de información.

Ahora bien, al realizar proyectos con los equipos físicos en los que el método de comunicación utilizado sea el protocolo Profinet, se logra incluso reducir el cableado entre los dispositivos para la comunicación, pues en este caso solo se requiere de un cable Ethernet ya que por medio de él se transmite la información y esto contribuye a que se puedan llevar a cabo aplicaciones en las cuales incluso el PLC pueda estar a 100 metros de distancia, a diferencia del cableado de entradas y salidas digitales, el cual requiere un cable para cada señal.

Entre algunas aplicaciones para el uso del protocolo Profinet podemos encontrar la detección y corrección de fugas de gases [25], en donde no existiría un ambiente idóneo de trabajo para una persona y se puede reemplazar por un robot articulado monitoreando variables desde una pantalla HMI a distancia. Teniendo en cuenta que la comunicación Profinet es estándar para diferentes dispositivos, se puede integrar con equipos de visión artificial [26] y de igual manera realizar tanto control como monitoreo de variables del PLC por medio de una Interfaz Hombre-Máquina (HMI) y esto permite que el operario pueda realizar labores de control con el robot articulado sin necesidad de tener profundos conocimientos de robótica.

C. Protocolo de comunicación OPC

Este protocolo de comunicación basado en la arquitectura cliente-servidor permite la interacción entre variables de diferentes programas, logrando así la integración de dispositivos de diferentes fabricantes, lo cual es muy útil en el entorno industrial, ya que permite trabajar con equipos de diferentes fabricantes [27].

Para realizar la comunicación por medio de protocolo OPC es necesario apoyarse de otro software que pueda ser el servidor de la comunicación y funcione como el puente de enlace para las variables entre los programas.

En esta sección para este tipo de comunicación sigue la misma línea de enfoque de conexión entre equipos de los fabricantes Siemens y ABB, ya que de esta manera se puede aplicar la información recopilada a los equipos disponibles en la facultad de Ingeniería Mecatrónica de la USTA.

El protocolo de comunicación OPC permite realizar la conexión sin necesidad de algún tipo de módulo físico o algún tipo de cableado, puesto que toda la comunicación se realiza por medio de software en el servidor (el cual es la parte principal de la comunicación), allí se crean los dispositivos como clientes y se configuran las señales que se desean enlazar.

Existe la ventaja que la comunicación OPC es un estándar de comunicación industrial pues ya los fabricantes consideran el desarrollo de un servidor propio y para esta investigación se toma el caso de ABB, el cual cuenta con su servidor IRC5 OPC UA Server [28] que le permite la comunicación por medio de otros programas como podría ser el KEPServerEX [23], en este caso solo es necesario agregar los dispositivos con los que se va a trabajar en el servidor, una vez configurados los dispositivos, se configuran las señales que van a interactuar con los demás programas para finalmente enlazarlas con la herramienta LinkMaster que provee el mismo KEPServerEX, el cual por cierto es utilizado en algunas asignaturas impartidas en la facultad de Ingeniería Mecatrónica de la USTA.

Sin embargo, el KEPServerEX no es el único servidor existente para realizar este tipo de conexión, también se puede encontrar la herramienta Open6251 server, el cual es open source y ha demostrado alta confianza para la conexión de dispositivos ya sea en simulación con herramientas propias como UaModeler o en aplicaciones con los equipos reales [29].

Una ventaja que se puede obtener de realizar esta comunicación por medio de OPC, es que permite interactuar con demás programas que puedan conectarse como clientes, por ejemplo, sería el caso de MatLab, el cual por medio de su Toolbox de comunicaciones industriales puede conectarse con un controlador ABB desde simulación y aprovechando el IRC5 OPC UA server se evita usar algún programa externo [30]. Además, al tener el software de ABB en conjunto con MatLab se puede: integrar herramientas de visión artificial, conectar los equipos con sistemas ERP [31] e incluso subir archivos a la nube para intercambio de información con otros dispositivos y otros proveedores.

Cabe mencionar que los robots del fabricante ABB no son los únicos que se pueden conectar mediante OPC, ya que también se pueden encontrar ejemplos como el trabajo realizado por Martínez Rodríguez [32], en donde se observa cómo se realiza la conexión de más de dos programas, en este caso utilizando el software TIA portal para el controlador PLC, Roboguide para la integración con el robot industrial del fabricante Fanuc y Matlab para diseño y simulación de una HMI utilizando su paquete de AppDesigner.

IV. POSIBLES PROYECTOS A REALIZAR EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA DE LA USTA

Considerando la investigación realizada en la sección anterior respecto a los tipos de comunicación más comunes para poder realizar la conexión entre un PLC y un robot industrial, se pueden plantear qué proyectos o trabajos son posibles con

los equipos y programas disponibles en la Facultad de Ingeniería Mecatrónica de la USTA.

Principalmente, es necesario tener bases sólidas en cada una de las áreas que involucra este tipo de proyectos, que, para este caso sería la robótica, automatización y comunicaciones industriales principalmente, y teniendo en cuenta que la principal línea de enfoque de la USTA es la automatización, se propone iniciar con la profundización en el área de robótica y reconocimiento de los equipos que componen la celda de trabajo, entre los cuales se encuentran principalmente:

- Robot IRB 120 ABB: El cual se puede observar en la **Figura 2**, está compuesto por 6 ejes de tipo articular, cuenta con una carga útil de hasta 3Kg, un alcance de hasta 0.58 m y tan solo pesa 25Kg. Es un robot que cuenta con gran versatilidad, pues puede montarse tanto en suelo como invertido o sobre un muro en cualquier ángulo (inclinado alrededor del eje X o Y) [33]

Figura 2. Robot IRB 120 ABB de la facultad de Ingeniería Mecatrónica



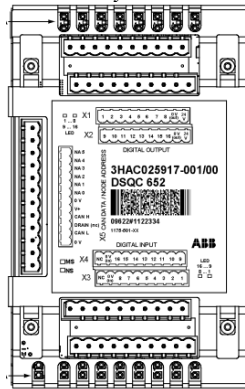
- Controlador IRC5 y FlexPendant: Se cuenta con la versión compacta del controlador (ver **Figura 3**), que es el módulo de accionamiento quien envía las ordenes de control al robot, contiene el software del sistema que es RobotWare-OS y también cuenta con el puerto de servicio por el cual se conecta al PC para transmitir la programación del robot. Por otra parte, e interconectado al controlador, se encuentra el FlexPendant (ver **Figura 4**), que es la interfaz física de programación, cuenta con interruptores de arranque de motores, teclas programables y puerto USB para transmisión de módulos de programación. [34]

Figura 3. Controlador IRC5



Figura 4. FlexPendant

- Tarjeta I/O DSQC 652: Esta tarjeta de entradas y salidas (ver **Figura 5**) está contenida dentro del controlador y maneja todas las señales digitales I/O entre el controlador y dispositivos externos. Cuenta con 16 entradas digitales con un voltaje requerido de 24v (15v min. y 35v max.) y 16 salidas digitales a 24v, su voltaje de alimentación es 24 voltios y cuenta con puerto de conexión DeviceNet. [35]

Figura 5. Módulo de entradas y salidas DSQC 652

Fuente: Application manual DeviceNet Master/Slave

Conjunto a los equipos físicos, es necesario tener conocimientos sobre el software y el lenguaje de programación del robot, los cuales son:

- Software RobotStudio: Es el entorno de programación y simulación de los manipuladores de ABB, permite programación online, offline, supervisar y configurar un controlador real por medio de un controlador virtual. [36]
- Lenguaje de programación RAPID (Robotics Application Programming Interactive Dialogue): Es el lenguaje de programación de alto nivel que se utiliza para la programación y configuración de los robots y controladores de ABB en el entorno de RobotStudio. [37] [38]

Teniendo claros los conocimientos con respecto a los equipos físicos y los programas disponibles para el área de robótica, se puede proponer una ruta de proyectos que permitan obtener el máximo beneficio de estos recursos.

- Modelado y simulación de una célula robótica en RobotStudio: RobotStudio es un software muy completo el

cual cuenta con una librería que incluye todos los robots del fabricante ABB y algunos elementos adicionales como bandas transportadoras y posicionadores que se pueden utilizar para la simulación de un proceso. Dentro de las principales funcionalidades disponibles en RobotStudio se encuentran: el modelado de sólidos, creación y programación de componentes inteligentes, configuración de señales del controlador y programación de módulos para las tareas y trayectorias del robot. El objetivo de este proyecto consiste en comprender las principales funcionalidades que se encuentran en el software RobotStudio, familiarizarse con el entorno de programación y simulación que se ofrece, además de introducirse en la programación en lenguaje RAPID, que es el lenguaje utilizado para la programación de los robots del fabricante ABB, el cual permite generar trayectorias, interactuar con las señales del controlador y programar diferentes labores como por ejemplo tareas soldadura, aplicación de pintura, pick and place, ensamblaje, entre otros.

- Establecimiento de comunicación mediante módulos I/O: Una vez se ha diseñado y simulado una célula robótica en RobotStudio, se puede realizar la construcción de dicha célula aplicando todos los conocimientos adquiridos. Para esta siguiente etapa se propone realizar una conexión por medio de los buses de entradas y salidas entre el controlador del robot y uno de los PLC disponibles en la Facultad de Ingeniería Mecatrónica de la USTA. Estos PLC Siemens 1214C AC/DC/Rly cuentan con 14 entradas digitales a 24V DC y 10 salidas a relé, contacto seco [39], lo cual permitiría la conexión entre buses de entrada y salida con la tarjeta de señales DSQC 652, teniendo en cuenta que esta conexión requiere tener la tierra o los 0v de referencia común. Por seguridad de los equipos, se debe realizar la comprobación de las señales de dos maneras, utilizando equipos de medición como un multímetro y por medio de software ya que RobotStudio y TIA portal permiten visualizar el comportamiento de las señales.

Además de realizar la conexión entre el PLC y el robot por medio de buses de I/O digitales, al utilizar los módulos disponibles en la facultad, se dispone también de las pantallas HMI KTP600 que se pueden programar para controlar las salidas del PLC (entradas al robot) y visualizar el estado de todas las variables necesarias de manera remota.

- Comunicación entre equipos por medio de OPC: Una vez construida la célula robótica y realizada la conexión de los sensores al PLC, se puede sustituir la comunicación física de señales digitales mediante una conexión por OPC, ya que al realizar esta conexión se permite eliminar el cableado, puesto que las variables e información se pueden transmitir por medio de los enlaces del OPC y para esta etapa se propone el servidor KEPServerEX, debido a que este servidor es el empleado para la enseñanza en la

facultad en las materias de comunicaciones industriales y sistemas SCADA. Cabe aclarar que este tipo de comunicación realizado por medio del servidor KEPServerEX tiene una limitante, ya que este software no es open source y en su versión gratuita permite la conexión solamente durante 2 horas continuas y una vez cumplido este tiempo se debe reiniciar el servidor.

Como aclaración, el PLC S7-1200 presente en la facultad es de versión inferior a V4.4, estas versiones no soportan comunicación OPC UA, si se desea implementar este método específicamente, se debe utilizar un modelo de PLC de versión V4.4 o superior y realizar la comunicación por medio de OPC UA en simulación; es debido a esto que se requiere del servidor KEPSserverEX para conexión por medio de OPC con el PLC físico.

Debido a que el controlador IRC5 presente en el laboratorio no cuenta con el módulo de expansión para comunicación Profinet DSQC 688 [40], no es posible realizar la comunicación directa entre el robot y PLC por medio de Profinet, pero si se podría intentar simular esta conexión apoyándose en los complementos ya mencionados como NetToPLCsim en TIA portal y RSConnectDIOToSnap7 para RobotStudio.

Estos proyectos se proponen con el objetivo de contar en los laboratorios de la facultad con una planta adecuada al trabajo del robot, que pueda ser utilizada tanto en prácticas de laboratorio como en proyectos de investigación futuros, los cuales orientan la formación a la profundización de conocimientos en el área de la robótica y comunicaciones industriales, para de esta manera obtener el máximo rendimiento tanto de los equipos como de los programas de software con los que cuenta la facultad.

V. ANALISIS DE LA INFORMACIÓN Y SU APLICABILIDAD

Durante el desarrollo de esta revisión bibliográfica se encontró información referente a la conexión de los robots articulados y las aplicaciones en las que estos se pueden emplear, teniendo en cuenta que cada uno cuenta con sus características, se realiza la Tabla 1, en donde se exponen las ventajas y desventajas de cada método de comunicación.

Tabla 1. *Ventajas y desventajas de los métodos de comunicación investigados.*

| TIPO DE COMUNICACIÓN | VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|---|---|---|
| CONEXIÓN DE BUSES DE ENTRADAS Y SALIDAS | Sencilla de implementar. En la mayoría de casos no requiere de módulos adicionales. Mayor velocidad | Requiere de cableado físico que depende de la cantidad de señales que se deseen conectar Resta capacidad de integrar sensores y actuadores al ocupar |

| TIPO DE COMUNICACIÓN | VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|----------------------|--|---|
| | en la comunicación. | los módulos I/O para la comunicación. Permite solo transferencia de señales digitales. |
| PROTOCOLO PROFINET | Protocolo estándar de comunicación para la automatización, por lo que cuenta con amplia documentación y soporte. Permite el intercambio de señales digitales y valores de señales analógicas. Permite conexión entre dispositivos de diferentes fabricantes que soporten este protocolo de comunicación. | Requiere de módulos adicionales para la conexión. Mayor complejidad en la configuración de los equipos para la aplicación de este protocolo. |
| PROTOCOLO OPC | Permite la interconexión entre equipos de diferentes fabricantes. Puede manejar grandes cantidades de datos e información. | La conexión de este protocolo se realiza mediante software con el servidor, no requiere de cableado físico La configuración puede parecer compleja, requiere de mayor estudio y práctica. En la mayoría de casos requiere de un programa adicional de terceros que suele tener un costo extra para la licencia. |

Tomando en cuenta el enfoque principal de este documento de investigación que es la aplicación de estos métodos de comunicación a los equipos disponibles en la Facultad de Ingeniería Mecatrónica de la USTA, se realiza la Tabla 2, en donde se puede observar la aplicabilidad de estos protocolos de comunicación.

Tabla 2. *Aplicabilidad de los protocolos de comunicación en la USTA.*

| | |
|-----------------------|---|
| CONEXIÓN DE BUSES I/O | <p>Este método de conexión es posible debido a que los PLC S7-1200 Ac/DC/Rly disponibles en la USTA permiten la conexión con el módulo de entradas y salidas del controlador IRC5 pues comparten la misma tensión de funcionamiento que es 24v.</p> <p>La complejidad presente al momento de llevar a cabo la conexión es que el cableado debe realizarse cuidadosamente y verificando que se conecten entradas de PLC con salidas del controlador y viceversa para evitar daños en los módulos. Además, debe asegurarse que las tierras entre los dos módulos I/O sea común para que las señales se interpreten adecuadamente.</p> |
| PROTOCOLO PROFINET | <p>Debido a que el modelo de controlador IRC5 presente en la facultad no cuenta con la tarjeta DSQC 688 para comunicación Profinet, no es posible de realizar la conexión con los equipos físicos.</p> <p>La alternativa presente para realizar esta conexión sería mediante simulación utilizando los complementos NetToPLCsim para TIA portal y RSCconnectDIOToSnap7 para RobotStudio ya que la Universidad cuenta con licencias para estos programas.</p> |
| PROTOCOLO OPC | <p>Este método se puede implementar tanto en entorno de simulación como con los equipos físicos disponibles en la USTA, pues se dispone tanto los programas TIA Portal, RobotStudio y el servidor KEPServerEx que permite la comunicación entre ellos y a la vez esta programación se puede aplicar a los equipos reales para llevar a cabo aplicaciones con el robot y el PLC.</p> <p>La limitante de esta comunicación es que se cuenta con el software KEPServerEX en su versión gratuita y en esta versión se debe reiniciar el servidor cada 2 horas para seguir su funcionamiento.</p> |

Es importante comprender que al implementar una comunicación entre un robot industrial y un PLC, se debe realizar un análisis de las necesidades de cada caso en particular, pues esta tarea (como se pudo observar en el presente documento), requiere de una serie de configuraciones, estudios e incluso módulos que demandan una mayor inversión de tiempo y presupuesto. Gracias a que un robot industrial ya cuenta con un controlador y una interfaz Humano-Máquina para su programación (como lo es el TeachPendant), este puede

realizar por sí solo varias tareas complejas dentro de un proceso de producción. Sin embargo, al incluir al robot industrial como un elemento más de automatización, este se puede monitorear, agregar a los diferentes tipos de alarmas tanto locales como globales y en algunos casos puede facilitar la programación si no se tiene un profundo conocimiento de los lenguajes o programas que manejan ciertos fabricantes, pues se podrían enviar señales de control desde el PLC o HMI, y también permitiría visualizar su comportamiento, de tal manera que los sub-procesos o las rutinas realizadas por el robot, no estén aisladas del proceso general en el que estos equipos se encuentren trabajando en conjunto. Esto demuestra la viabilidad de realizar una conexión entre estos dos dispositivos, por un lado, el PLC puede realizar la gestión de los procesos, tomando decisiones basadas en la información recibida por los sensores y actuadores que se encuentren conectados a él. Por otro lado, el robot industrial puede llevar a cabo tareas repetitivas de forma precisa, lo que libera al operario de las tareas más peligrosas y aumenta la productividad de la empresa. Además, la comunicación entre el PLC y el robot industrial permite la integración de diferentes tecnologías y áreas de aprendizaje, lo que puede mejorar aún más la eficiencia y seguridad en procesos automatizados.

VI. CONCLUSIÓN

Como se pudo observar a lo largo de este trabajo de investigación, los robots articulados industriales son una herramienta muy útil de automatización, pues cuentan con una gran flexibilidad y adaptabilidad a la hora de realizar un proceso. Gracias a la revisión documental realizada, se pudieron conocer algunas de las aplicaciones en las que se emplean este tipo de robots en áreas como medicina, academia y líneas de producción realizando tareas como soldadura, manipulado de piezas y aplicación de pintura. Además se mencionan los beneficios que se obtienen al ser integrados en procesos de producción con los PLC, entre los que se encuentran mayor precisión, seguridad, eficiencia y reducción en los costos a largo plazo, lo cual demuestra que es una solución viable a la hora de llevar a cabo procesos automatizados, brindando una idea de los posibles proyectos que se pueden desarrollar con los recursos disponibles en la Facultad de Ingeniería Mecatrónica de la USTA, ya que se cuentan con los equipos físicos y software necesario para plantear proyectos en los que se integren distintas áreas del conocimiento como automatización, robótica, control, procesos de manufactura, comunicaciones industriales, entre otras.

Una vez identificadas las aplicaciones en las que se pueden encontrar los robots industriales trabajando de manera aislada o en conjunto con un PLC, se obtuvo información sobre algunos de los métodos de comunicación más comunes entre estos dos equipos, los cuales son: conexión de entradas y salidas realizando un cableado físico entre ambos dispositivos o por medio de protocolos de comunicación industriales como el protocolo Profinet que es el estándar de la automatización industrial o el protocolo OPC que permite la integración de

diferentes programas y fabricantes basándose en una estructura cliente – servidor.

Tomando en cuenta las ventajas y desventajas expuestas de cada tipo de comunicación, se puede concluir que no hay un método específico que se pueda considerar más óptimo al momento de llevar a cabo un proyecto en el que se requiera una comunicación entre PLC y robot, pues esto depende de la estructura, alcance y complejidad del proyecto. En el caso de los equipos presentes en la USTA, se puede considerar como el más viable a la conexión por medio de OPC, ya que se cuenta con el software KEPServerEX el cual se utiliza para la enseñanza de comunicaciones industriales en la Facultad de Ingeniería Mecatrónica y de esta manera se evita tener que realizar un cableado físico como el necesario para la conexión de buses de entradas y salidas, el cual es posible, pero puede representar un mayor riesgo a los equipos.

VII. REFERENCIAS

- [1] N. Agudelo, G. Tano y C. A. Vargas, HISTORIA DE LA AUTOMATIZACIÓN, Bogota, 2020.
- [2] K. Saharia, BENEFITS AND PROBLEMS OF INDUSTRIAL ROBOTICS: A CASE STUDY, 2023.
- [3] J. H. Rojas Carvajal, La Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0 y su Impacto en la Educación Superior en Ingeniería en Latinoamérica y el Caribe, Boca Raton, 2017.
- [4] J. Kwantongon, W. Suamuang y K. Kamata, A Teaching Demonstration Set of a 5-DOF Robotic Arm Controlled by PLC, Thonburi, 2022.
- [5] A. R. PENAMARIA, Diseño, montaje y control de un manipulador robótico., 2020.
- [6] M. Ruiz Vinyeta y R. Llauger Roca, CONTROL DE UN BRAZO ARTICULADO MEDIANTE DISPOSITIVO MÓVIL, 2017.
- [7] H. D. Cevallos Rodriguez y J. L. Gualacio Padilla, IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO A DISTANCIA EN PROCESOS DE ENSAMBLAJE CON ROBOT INDUSTRIAL KAWASAKI RS003 POR MEDIO DE LA RED GSM EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE LA FACULTAD DE MECANICA, Riobamba, 2017.
- [8] A. B. Barrado, DISEÑO DE UNA CÉLULA ROBOTIZADA DIDÁCTICA, 2020.
- [9] B. M. Agudo, MODELADO, PROGRAMACIÓN Y SIMULACIÓN DEL ROBOT IRB 120 DE ABB CON ROBOTSTUDIO, Sevilla, 2017.
- [10] Rodríguez López, Miguel, Modelado, simulación y desarrollo de una práctica docente con el robot ABB IRB 120, Valladolid, 2021.
- [11] V. T. Yen, W. Y. Nan y P. V. Coung, Robust Adaptive Sliding Mode Neural Networks Control for Industrial Robot Manipulators, Springer, 2019.
- [12] K. Sughashini, V. Sunanthini, J. Johnsi, R. Nagalakshmi y R. Sudha, A pneumatic robotic arm for sorting of objects with chromatic sensor module, Ramapuram, 2020.
- [13] O. Clemente, «Ejercicio de manipulación y pegado de piezas,» 17 Febrero 2017. [En línea]. Available: <https://youtu.be/U5IjvFBxY>.
- [14] A. Grau, M. Indri, L. Lo Bello y T. Sauther, Industrial Robotics in Factory Automation: from the Early Stage to the Internet of Things, 2017.
- [15] C. C. Blanco Teherán, Y. Ramos Villegas, H. S. Padilla Zambrano, D. López Cepeda, L. Quiintana Pájaro, H. Corrales Santander y L. R. Moscote Salazar, Robótica en Neurocirugía, vol. 13, iMedPub Journals, 2017.
- [16] C. O. Ruiz Arias y J. L. Salao Bravo, IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE ALMACENAMIENTO CON ROBOT INDUSTRIAL EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA FACULTAD DE MECÁNICA, RIOBAMBA, 2016.
- [17] Q. Liu, Y. Wang, Y. Gou, D. Sheng, B. Li, Y. Zhang, J. Xu y Z. Liu, Design of Bicycle Production Line Based on PLC, 2020.
- [18] M. Mikhail y W. Sealy, Configuration of a PLC Controlled Articulated Robot for Autonomous Vision Inspection Applications, 2022.
- [19] E. Efe, M. Ozcan y H. Hakli, Building and Cost Analysis of an Industrial Automation System using Industrial Robots and PLC Integration, 2021.
- [20] J. Calvo Herrero, PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE DISCOS DE FRENO MEDIANTE LA PROGRAMACIÓN EN ROBOTSTUDIO DE UN ROBOT INDUSTRIAL ABB MODELO IRB4600_60_205, 2020.
- [21] Y. Ming y G. Li, Analysis of PROFINET IO Communication Protocol, Harbin, 2014.
- [22] S. Martinez, Automatización de una planta robotizada para operaciones de almacenaje, Cartagena, 2019.
- [23] J. C. Rives Sempere, Programación de una estación robótica en RobotStudio y comunicación OPC con PLC S7-1200, 2020.
- [24] R. Arroyo Bernal, Desarrollo de un entorno con HMI y PLC Siemens para tareas de paletizado de un robot industrial, Cartagena, 2021.
- [25] A. I. SAVRAN, VISION BASED POSITIONING ABB IRB 140 ROBOT FOR GAS LEAKAGE TEST AUTOMATION, 2018.
- [26] I. Romero Guillén, ESTACIÓN ROBOTIZADA DE PALETIZADO, 2017.
- [27] J. D. Lemos y D. Miranda Guerrero, OPC Como Alternativa a las Tecnologías Propietarias de Comunicación Industrial, Medellín, 2006.

- [28] ABB, Application manual IRC5 OPC Server help, 2015.
- [29] Y. Li, T. Cheng y L. Pan, Research and application of information Model of industrial Robot Welding System based on OPC UA, 2021.
- [30] R. Vidal del Cura, Célula multi-robot para el montaje de una luminaria, basado en robots ABB controlados mediante un interface de Matlab, empleando el protocolo de comunicaciones OPC., Valladolid, 2022.
- [31] R. Sancho García, diseño con Autodesk de una celula de trabajo robotica con vision artificial OPC UA Robotstudio y matlab, 2021.
- [32] A. Martínez Rodríguez, SIMULACIÓN DE UNA CÉLULA ROBOTIZADA, CONTROLADA POR UN AUTÓMATA PROGRAMABLE Y GESTIONADA CON UNA INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA, MEDIANTE COMUNICACIONES OPC., Valladolid, 2022.
- [33] ABB, Product specification IRB 120, 2019.
- [34] ABB, Especificaciones del producto Controller IRC5 with FlexPendant RobotWare 5.15, 2013.
- [35] ABB, Application manual DeviceNet Master/Slave, 2021.
- [36] ABB , Operating manual RobotStudio, 2010.
- [37] ABB, Manual de referencia técnica Instrucciones, funciones y tipos de datos de RAPID, 2013.
- [38] ABB, Manual del operador Introducción a RAPID, 2007.
- [39] SIEMENS, SIMATIC S7 Controlador Programable S7-1200 - Manual del sistema, 2012.
- [40] ABB, Application manual PROFINET Anybus Device, 2020.