

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Industrial

“REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA DEL PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL PROFIBUS EN LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL, DURANTE EL PERIODO 2001 AL 2018”

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería Industrial

Autor:

Heller David Arias Arias

Asesor:

Mg. Odar Roberto Florián Castillo

Lima - Perú

2019

DEDICATORIA

A mi esposa e hijos por su
comprensión en el tiempo de ausencia en
pos de mis metas y superación.

A mi madre vivo ejemplo de lucha,
constancia y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas aquellas personas que me enriquecieron con su apoyo y conocimientos y que aportaron en mi crecimiento personal y profesional.

A todos los docentes con vocación sincera e incondicional en el impartir de su saber y experiencia dentro y fuera de las aulas.

A mis compañeros por compartir las mismas metas y esfuerzo en la búsqueda de nuestra superación.

Y a todas aquellas mentes que trabajan el día a día por conseguir un mundo mejor.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-----------|
| DEDICATORIA | 2 |
| AGRADECIMIENTO | 3 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 5 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 6 |
| RESUMEN | 7 |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN | 8 |
| CAPÍTULO II. METODOLOGÍA | 12 |
| CAPÍTULO III. RESULTADOS | 19 |
| CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES | 29 |
| REFERENCIAS | 30 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Buses de campo para aplicaciones industriales. | 10 |
| Tabla 2 Base de datos. | 14 |
| Tabla 3 Base de datos. | 15 |
| Tabla 4 Base de datos. | 16 |
| Tabla 5 Base de datos. | 17 |
| Tabla 6 Resumen de Papers por continente. | 21 |
| Tabla 7 Comparación de características entre algunos buses (Construida a partir de AIE 2011). | 23 |
| Tabla 8 Distancia máxima del segmento en función de la velocidad de transmisión.. | 24 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Pirámide de la automatización. | 9 |
| <i>Figura 2.</i> Detalle de pasos de exclusión para las fuentes halladas. | 18 |
| <i>Figura 3.</i> Detalle de fuentes consultadas para la revisión sistemática. | 19 |
| <i>Figura 4.</i> Detalle de porcentaje de participación en papers revisados por países..... | 20 |
| <i>Figura 5.</i> Detalle de Papers hallados por año. | 21 |
| <i>Figura 6.</i> Protocolo de acceso al medio. | 24 |

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolla en la industria y el papel fundamental que desempeñan los protocolos de comunicación industrial en la evolución y auge de la automatización, enfocándose principalmente en el bus de campo "Profibus", evidenciando sus ventajas mediante la simplificación del cableado y la centralización de la información que los sistemas de control requieren para la comunicación entre maestros y esclavos que toda automatización requiere, cuyo objetivo es conocer los elementos, normas y aplicaciones que permitan el diagnóstico rápido y especializado en el mantenimiento preventivo.

La investigación emplea el método de la revisión sistemática de la literatura científica hallada durante en el periodo 2001 al 2018 mediante el uso de los principales buscadores académicos como Redalyc, Scielo y Google académico.

En el contenido se identifican una serie de datos técnicos que toda Red Profibus debe de cumplir para funcionamiento, su aplicación en los sistemas de supervisión SCADA, la educación y entrenamiento, principios de funcionamiento y medidas de seguridad que toda red industrial debe de contar para su protección evidenciándose la escasez de información con respecto a tipos de mantenimientos preventivos enfocados a la confiabilidad o procedimientos de diagnóstico que permitan definir su estado a través del tiempo de funcionamiento.

PALABRAS CLAVES: Protocolo de comunicación, Profibus, automatización, industrial.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La automatización surge con la finalidad de sustituir total o parcialmente la operación del hombre por medio de un operador virtual o artificial que se encargara de la ejecución de todas las actividades requeridas en el ámbito de producción industrial que se realizara de manera programada para el control automático de sus procesos teniendo como objetivo que las variables controladas mantengan sus valores de control asignados siendo resistentes a las perturbaciones utilizando conocimientos de la mecánica, electrónica e informática este último mediante el hardware y el software. (López, 2010)

Durante las últimas décadas el auge de la automatización en gran parte de la industria ha alcanzado niveles insospechados que al hacerse más complejos y avanzados involucran también la complejidad de su cableado, ante ello y con el objetivo de reducir la abundancia del cableado por cada sistema automático se da origen a los primeros sistemas de comunicación industrial para el intercambio de información entre sistemas de automatización y sistemas de campo distribuidos, cumpliendo fines importantes dentro de la industria como: producir con un alto rendimiento y obtener mejores resultados económicos, todo esto gracias a su aplicación en todos los niveles (tanto horizontales como verticales) de la pirámide de la automatización (figura. 1) que ayudan en la integración, comunicación, control y supervisión; cuyas ventajas son: aumento de la eficacia, control y comunicación automático, reducción de los costos de mantenimiento, mantenimientos preventivos basados en "históricos" y principalmente el aumento de producción. (Belmonte, 2018).

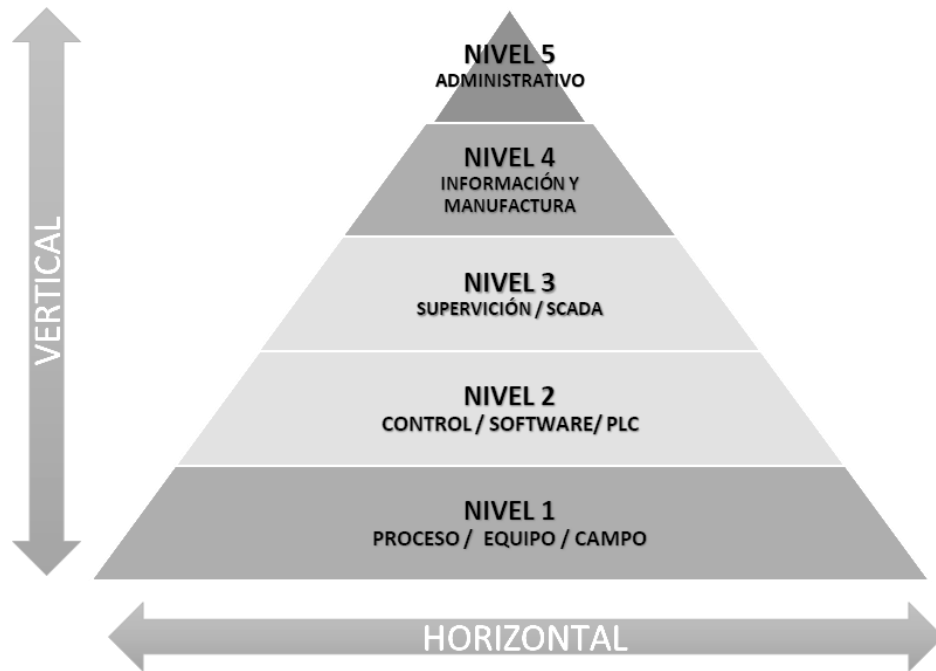


Figura 1. Pirámide de la automatización.

Fuente: Creación propia.

Según la IEC (International Electrotechnical Commission) y la ISA (International Society of America) se conoce como buses de campo a las redes de datos serie, digitales y múltiples punto de conexión empleados para comunicar a todos los elementos de control del Nivel 1 como son: sensores, actuadores y controles locales a través de un solo cable, orientado a la transmisión de datos en el ámbito industrial para procesos discretos y continuos. Dentro de la comunicación industrial podemos encontrar a una gran variedad de buses de campo cuya diferencia radica principalmente por su aplicación, propietarios, abiertos o normalizados por organizaciones internacionales como: ISO, ITU, IEEE, etc. Los cuales se detalla en la tabla. 1. (Domínguez, Poza, Mariño, Hernández, & Machado, 2001)

Tabla 1

Buses de campo para aplicaciones industriales.

| PROTOCOLO | PROPIETARIO | NORMA | APLICACIÓN |
|---------------------|--|---|--------------------------------------|
| P-NET | Industria (Dinamarca) | CENELEC EN 50170 Vol. 1 | |
| PROFIBUS | Industria (Alemania) | CENELEC EN 50170 Vol. 2, DIN STD 19245 | |
| WorldFIP | Industria (Francia) | CENELEC EN 50170 Vol. 3, NFC 46 601-605 | |
| HART | Rosemount y Fisher | IEC TC65 (DDL: Description Device Language) | |
| SP50 Fieldbus | IEC/ISA | ANSI 850/IEC 1158 | |
| Foundation Fieldbus | ISP y WorldFIP | ISA SP50/IEC TC65 | |
| MODULINK | Weidmüller (Alemania) | | |
| Modbus | Modicon (USA) | | |
| PROWAY | IEC | | |
| TIWAY | Texas Instrument | | Control Industrial |
| SINEC LI | Siemens | | |
| Interbus-S | Phoenix (Alemania) | DIN E19258 | |
| DataHighway | Allen Bradley | | |
| EPA/MiniMAP | General Motors (USA) | (MMS) EIA RS-511, ISO 9506 | |
| Bitbus | Intel | IEEE 1118 | |
| Genius I/O | Gen. Electric (USA) y Fanuc (Japón) | | |
| Measurement Bus | Industria (Alemania) | DIN 663448 | |
| CC-Link | Mitsubishi Electric (Japón) | | |
| MMS-ATM | Lab. Logiciels, Systèmes, Réseaux-IMAG (Francia) | | |
| CAN | Bosch (Alemania) y CiA | ISO 11898/11519 | |
| UART-9141 | Europa (Diagnóstico) | ISO 9141 | |
| SDS | Honeywell | ISO 11989 (basado en CAN) | |
| DeviceNet | Allen Bradley (Rockwell) | ISO 11898 y 11519 (basado en CAN) | |
| ControlNet | | Basado en CAN | |
| OSEK/VDX | Universidad de Karlsruhe | Define aplicaciones para VAN and CAN | |
| VAN | Renault-PSA | | Automoción e Industria de Maquinaria |
| SERCOS | USA | IEC 61491 | |
| SENSOPLEX | Ford (California) | | |
| J1850 | SAE (Diagnóstico) USA | | |
| J1939 | SAE | Basado en CAN | |
| MI Bus | Motorola | | |
| ABUS | Volkswagen | | |
| Compobus/S | Omron | | |
| SERIPLEX | APC (USA) | | |
| AS-I | Siemens | IEC 1131-3 | Sensores y actuadores |
| RACKBUS | | | |
| NBIP | Intel | | Microcontroladores |
| MIL-STD 1553B | DOD (USA) | Gobierno USA y otros (OTAN) | Aeronaves |
| M3S | Instituciones (Europa) | ISO/TC173/SC1/WG7 | Sillas de ruedas |
| MITS | Research Council (Noruega) | IEC TC80/WG6 | Barcos |

Nota: Recuperado de (Domínguez, Poza, Mariño, Hernández, & Machado, 2001)

El bus de campo Profibus es un Protocolo de Comunicación Industrial que gran parte de la industria actual emplea en sus procesos productivos, surgido gracias a un proyecto entre la asociación de trece empresas y cinco universidades en el país de Alemania en los años de 1987, enfocado en ser un bus de campo estándar para la automatización de procesos

para ayudar a la integración de los dispositivos de control y convertirlo en un sistema centralizado asumiendo la función de controlador para poder comunicarse con dispositivos de campo que a su vez también respondan e intercambien información relevante cuando sea necesario, todo esto mediante un dialogo digital que notifica al usuario ante eventos importantes en la red y que en un sistema completo se pueda obtener todos los datos necesarios para mantener el proceso de manera continua y segura. La relevancia de esta comunicación se da por ser un protocolo que brinda soluciones completas en toda la planta a todo nivel de la automatización de sus procesos y que la diferencia notablemente de otros protocolos. (Powell & Vandelinde, 2009)

El protocolo Profibus es un sistema centralizado el cual recibe y envía información mediante el hardware y que se procesa mediante software para el aprovechamiento de todas sus virtudes, una falla a nivel de hardware puede impactar seriamente durante un proceso ya que lo detendría en gran parte o en su totalidad en cuyo caso es importante saber identificar y diagnostica rápidamente el tipo de falla que lo produzca o mejor aún identificar sus elementos claves para un mantenimiento preventivo para la eliminación de posibles y futuras fallas que garanticen su confiabilidad, ante lo planteado se plantea la siguiente interrogante, **¿Qué se conoce sobre el protocolo de comunicación industrial Profibus en la automatización en los últimos 18 años?**

Como objetivo general; conocer los elementos, normas y aplicaciones del protocolo de comunicación industrial Profibus en el periodo 2001 al 2018 y como objetivos específicos; identificar alternativas diagnóstico y de mantenimiento que puedan ayudar en identificar fallas de manera rápida y precisa o previniendo fallas mediante mantenimientos preventivos especializados de elementos claves en la red.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Para la fundamentación de estudio de este trabajo de investigación se empleara el método de “revisión sistemática de la literatura científica” que se define como “investigaciones científicas en las que la unidad de análisis son los estudios originales primarios, a partir de los cuales se pretende contestar a una pregunta de investigación claramente formulada mediante un proceso sistemático y explícito” (Ignacio Ferreira González, 2011), todas ellas contenidas en distintas fuentes de información y cuyo fin es “sintetizan los resultados de investigaciones primarias mediante estrategias que limitan el sesgo y el error aleatorio” (Cook DJ, 1995). Mediante ella se resolverá la pregunta de investigación: ¿Qué se conoce sobre el protocolo de comunicación industrial Profibus en la automatización en los últimos 20 años?

Para la selección de la información recolectada se considera lo siguiente: la información cuantitativa, los idiomas de selección de búsqueda sean el inglés, español y el portugués, sean respaldadas por instrucciones de prestigio como: universidades, institutos, centros de investigación aplicadas a los procesos industriales.

Los recursos utilizados para la búsqueda de la información se dieron mediante el análisis de diversos “papers” cuya base de datos se detalla en las tablas 2, 3, 4, 5 y 6; todos ellos hallados en distintas plataformas de búsqueda académica como repositorios de distintas universidades de Sudamérica y Centro América e instituciones de investigación.

La metodología empleada para la búsqueda de la literatura se hizo a través de las palabras claves derivadas de nuestra pregunta de investigación como: “Protocolo de comunicación industrial”, “Profibus”, “automatización industrial” y sus diferentes combinaciones como: “Protocolo de comunicación industria AND “Automatización”,

“Protocolo de comunicación industria” AND “Profibus”, “Profibus” AND “Automatización”, "Industry communication protocol" AND "Automation" ,"Industry communication protocol" AND "Profibus", "Profibus" AND "Automation", "Protocolo de comunicação industrial” AND "Automação", "Protocolo de comunicação industrial" AND "Profibus", "Profibus" AND "Automação", todas ingresadas en los principales buscadores académicos como Redalyc, Scielo y Google académico.

Dentro de la información recolectada solo se incluirá aquellos papers con bases de datos comprobados y respaldados por instituciones científicas e industriales que daten entre los años de 2001 al 2019, que sean aplicadas a la industria y a la comunicación industrial, manejo y conocimiento de la red Profibus y planes de mantenimiento aplicados y comprobados en la industria.

Los criterios de exclusión se empelaron de la siguiente manera: redundancia o repetitividad de información, tesis, resúmenes, libros, fuentes sin fechas de referencia, carentes de fuentes primarias, que no tengan respaldo académico ni institucional, información descontinuada o ya no se apliquen a las actuales aplicaciones industriales y que el tema o tipología sea distinto.

Tabla 2.

Base de datos

| Título | Resumen | Autor (es) | Fuente | País | Año | Universidad / Instituto /Centro de Investigación |
|--|---|--|---------------------------|-----------|------|--|
| Buses de campo y protocolos en redes industriales. | El presente artículo describe el funcionamiento de las redes industriales, sus componentes y principales protocolos. | César Augusto SALAZAR SERNA Luis Carlos CORREA ORTIZ | umanizales.edu.co | Colombia | 2011 | Universidad de Manizales |
| Análisis y actualización del programa de la asignatura Automatización Industrial en la formación profesional de ingenieros electrónicos. | En este artículo se presenta el estudio para la actualización del programa de la asignatura Automatización en la Universidad de la Costa. | Heyder Páez-Logreira Victor Zabala-Campo Ronald Zamora-Musa | educacioneningenieria.org | Colombia | 2016 | Asociación Colombiana de Facultades de ingeniería |
| Diseño e implementación de una red de comunicaciones industriales tipo SCADA. | Para este diseño se utilizaron PLCs y protocolos, dada su importancia en la industria nacional como internacional. Se presenta el desarrollo de la red, en donde se manejan los estándares Profibus, DeviceNet, RS485 y Ethernet. | Jesús Ibáñez Hernández Hernando Chagolla Gaona Aldo Luis Méndez Pérez Domingo Rangel Miranda Agustín Barrera Navarro | itcelaya.edu.mx | México | 2014 | Instituto Tecnológico de Celaya. |
| Instrumentación, control, y telesupervisión en centrales térmicas de pequeña potencia. | El Laboratorio de Sistemas de Control (LSC) de la UTN Regional Santa Fe colabora activamente en este proceso y propone en este trabajo la adecuación de las centrales, para poder integrarlas a un sistema de Control Supervisor y Adquisición de Datos (SCADA) de administración y gestión de combustible. | Ulises Manassero José Luis Torres Diego López Rodrigo Furlani Raúl Regalini Matias Orué | ufsc.br | Brasil | 2011 | Iberoamerican Journal of Industrial Engineering, Florianópolis |
| Análisis protocolar del bus de campo CAN. | Analizar el bus CAN (Controller Area Network), como base para arquitecturas de bus industrial en aplicaciones de tiempo real distribuidas, sistemas de supervisión y control en el ámbito de celdas de producción. | Héctor Kaschel C. Ernesto Pinto L. | sistemamid.com | Chile | 2005 | Universidad de Santiago de Chile |
| El futuro del control de procesos. | En este artículo se recogen algunas de las tendencias que previsiblemente enmarcarán el futuro del control de procesos. | Cesar de Prada | polipapers.upv.es | España | 2004 | Universidad de Valladolid |
| Internet en el desarrollo de prácticas no presenciales con procesos industriales. | En este trabajo se presentan dos aplicaciones de monitorización y control de procesos a través de Internet. | César Ramos Juan M. Herrero Miguel Martínez Xavier Blasco | researchgate.net | España | 2001 | Universitat Politècnica de València |
| Desarrollo de un Laboratorio de Sistemas y Comunicaciones Industriales para la Mejora del Proceso Enseñanza/Aprendizaje. | Este trabajo muestra un procedimiento para la creación de un moderno laboratorio de sistemas y comunicaciones industriales con la finalidad de mejorar el proceso enseñanza/aprendizaje. | Ernesto Granado Washington Marín Omar Pérez | researchgate.net | Venezuela | 2010 | Universidad Simón Bolívar Universidad Nueva Esparta |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.

Base de datos

| Título | Resumen | Autor (es) | Fuente | País | Año | Universidad / Instituto /Centro de Investigación |
|---|---|---|--------------------|------------------|------|---|
| Los sistemas SCADA en la automatización industrial. | El presente artículo se enfoca en la importancia de los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos, conocidos como SCADA como un aspecto fundamental de la automatización de los procesos de manufactura en la industria actual. | Esteban Pérez-López | scielo.sa.cr | Costa Rica | 2014 | Universidad de Costa Rica |
| Diseño de sistemas de comunicaciones industriales para su uso en la enseñanza. | En este artículo se describe el diseño de diferentes dispositivos que conforman sistemas de iniciación y aprendizaje con aplicación en la enseñanza del protocolo CAN (Controller Area Network). | Miguel Angel Domínguez Francisco Poza Perfecto Mariño Heriberto Hernández Fernando Machado | e-spacio.uned.es | España México | 2001 | Universidad de Vigo Universidad Tecnológica de Mixteca |
| Redes industriales. | Con el avance de la tecnología aplicada a los procesos industriales se ha podido llegar a manejar gran cantidad de información mediante los diferentes tipos de redes. Las redes digitales permiten de manera rápida la administración de la información en la industria en los diferentes campos. Para monitorear, supervisar y controlar parámetros y variables. | Julio César Caicedo-Erasoa Diana Rocío Varón-Sernab Félix Octavio Díaz Arangoc | ucaldas.edu.co | Colombia | 2015 | Universidad de Caldas |
| Implementación de Protocolo de Comunicación Profibus de Redes de Comunicación Industriales para la Automatización de Sistemas de Manufactura. | Trabajo orientado al desarrollo de un sistema de comunicación maestro / esclavos, implementando el protocolo de comunicación de redes industriales PROFIBUS para el montaje de sistemas flexibles de manufactura basado en el microcontrolador Atmel. | M.Sc. Eduardo Calderón Porras | unipamplona.edu.co | Colombia | 2004 | Universidad Nacional Autónoma de Bucaramanga |
| Sistemas de Control Basados en Red Modelado y Diseño de Estructuras de Control. | La orientación de este trabajo es la de hacer una amplia introducción del tema, de tal manera que en el ámbito profesional de la Automática se pueda tener una primera toma de contacto, encontrando aquellas referencias más importantes que permitan profundizar en el planteamiento del control en tiempo real de este tipo de instalaciones. | J. Salt V. Casanova A. Cuenca R. Pizá | sciencedirect.com | España | 2008 | Universidad Politécnica de Valencia |
| Diseño de un sistema de control avanzado para regular la velocidad de una turbina de vapor acoplada a un generador DC. | El artículo presenta la metodología para el diseño de dos estrategias de control, LQG (Linear Quadratic Gaussian Control) y DMPC (Discrete Time Model Predictive Control), para regular la velocidad de una turbina de vapor acoplada a un generador DC de excitación independiente. | Hernando González-Acevedo Hernan González-Acuña | scielo.org.co | Colombia | 2018 | Universidad Autónoma de Bucaramanga |
| Diseño e implementación de prácticas de redes industriales usando controladores lógicos programables. | Este artículo describe la metodología de diseño mecatrónico estructurada con fines educativos para presentar un material de desarrollo de competencias en el área de las redes de comunicación industrial, sustentando la viabilidad en la disposición de las instalaciones y elementos del laboratorio de automatización industrial. | Alexander Quintero Ruiz César Augusto Sánchez Pérez Nayibe Chio Cho | acofi.edu.co | Colombia | 2006 | Universidad Autónoma de Bucaramanga |
| Propuesta de Aplicación de Metodología POKA YOKE para el Sistema de Estación Automatizada de Distribución con PROFIBUS y HMI. | Se presenta una metodología de programación aplicando la herramienta Poka-Yoke basada en la norma IEC 61131 (International Electrotechnical Commission) para la automatización, en la que se integran soportes visuales en la interfaz gráfica TP177B y otros participantes de la red Commonwealth de Profibus (Bus de campo de proceso) con módulos de enrutamiento y almacenes de piezas. | Ing. Abraham Pérez Delgado M.C. Héctor Islas Torres M.I.L. Héctor Santos Alvarado M.C. Juan Carlos Vásquez Jiménez Lic. Uriel Gómez Juárez. | itsna.edu.mx | México | 2017 | Universidad Tecnológica de Tehuacán, Instituto Tecnológico de Tehuacán |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.

Base de datos

| Titulo | Resumen | Autor (es) | Fuente | País | Año | Universidad / Instituto /Centro de Investigación |
|--|---|--|---------------------|----------|------|--|
| Análisis del estado del arte de los buses de campo aplicados al control de procesos industriales. | Este artículo se analiza el estado de avance en la tecnología de la comunicación de los buses de campo aplicados al control de procesos industriales. | Héctor Kaschel C. Ernesto Pinto L. | sistemamid.com | Chile | 2001 | Universidad de Santiago de Chile |
| Diseño de un sistema robótico cartesiano para aplicaciones industriales. | El presente artículo describe los principales aspectos de la formulación del modelo y del diseño de los sistemas de control y accionamiento, involucrados en el desarrollo del prototipo de un robot industrial estándar denominado Sistema Robótico Cartesiano (SRC). | Jorge Rojas V. Ingeborg Mahla A. Gerardo Muñoz C. Daniel Castro A. | scielo.conicyt.cl | Chile | 2003 | Universidad de Tarapacá |
| Equipo Didáctico para Aprendizaje Colaborativo en Automatización e Informática Industrial | En este trabajo se presenta un equipo didáctico desarrollado en la Universidad de Burgos en España, utilizado para impartir docencia de laboratorio en las asignaturas de automatización e informática industrial, con la metodología de aprendizaje colaborativo. | Juan V. Martín Fernando Tadeo Teresa Álvarez Jesús Peláez | scielo.conicyt.cl | España | 2009 | Universidad de Burgos Universidad de Valladolid |
| Modelo de automatización de procesos para un sistema de gestión a partir de un esquema de documentación basado en Business Process Management (bpm). | Esta investigación pretendió construir un modelo automatizable de documentación de procesos. Se espera que este permita dar respuesta a los requisitos de varios sistemas de gestión, de manera que una organización pueda estandarizarlos. | Karen López Supelano | dialnet.unirioja.es | Colombia | 2015 | Universidad & Empresa |
| Implementación de una red industrial can para un sistema scada. | Un estudio enfocado a diseñar e implementar una red industrial CAN que permita la integración e interoperabilidad de equipos de control y dispositivos de campo de diferentes fabricantes. | Julián Andrés Vidal I. Milton Sergio Zúñiga G. Oscar Amaury Rojas A. | unicauca.edu.co | Colombia | 2007 | Universidad del Cauca |
| Automatización de una planta industrial de alimentación mediante control distribuido. | En este trabajo se presenta la automatización del proceso de fabricación de arroz con leche en una planta de productos lácteos correspondiente a una PYME. La planta objeto de automatización consta de zonas de llenado, cocción, vaciado y una zona de retorno. | Gerardo González-Filgueira Francisco Javier Rodríguez Permuy | scielo.mec.pt | España | 2018 | Universidade da Coruña |
| Laboratorio de sistemas industriales distribuidos: un recorrido práctico por las tecnologías de comunicación industrial. | En este artículo se propone una nueva aproximación; la metodología propuesta permite al alumno configurar y utilizar todos los pasos relacionados con el proceso de automatización donde se tiene como modelo la pirámide de automatización. Esta tarea se realiza en un número reducido de sesiones de laboratorio (30 horas) mediante una estrategia de rotación en determinadas sesiones. | J. Muñoz-Mari A. Rosado-Muñoz J. Guerola-Tortosa W. Blay-Corcho | e-spacio.uned.es | España | 2004 | Universidad de Valencia Siemens |
| Estudio comparativo de clasificadores empleados en el diagnóstico de fallos de sistemas industriales. | En este artículo se presenta un estudio comparativo del desempeño de cuatro de las técnicas de clasificación más usadas para el diagnóstico de fallos en procesos industriales. Dentro de las técnicas seleccionadas se encuentran los clasificadores Vecinos más Cercanos (VMC), Mínimos Cuadrados Parciales (MCP), Redes Neuronales Artificiales (RNA) y Máquinas de Soporte Vectorial (MSV). | José M. Bernal-de Lázaro Alberto Prieto-Moreno Orestes Llanes-Santiago Emilio García-Moreno | scielo.sld.cu | Cuba | 2011 | Ingeniería Mecánica |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5.

Base de datos

| Título | Resumen | Autor (es) | Fuente | País | Año | Universidad / Instituto /Centro de Investigación |
|---|---|--|---------------------|----------|------|---|
| The PROFIBUS Protocol Observation | PROFIBUS is a very complex protocol created in 3 layers of the reference communication model. The paper shows experimental way to explain the behaviour of devices on bus under normal traffic and diagnostic events. | Peter Drahoš Igor Bélai | sciencedirect.com | Rusia | 2012 | The International Federation of Automatic Control |
| Análisis experimental del funcionamiento de un sistema de control basado en red sobre el protocolo Profibus-DP (II) | En el artículo complementario a éste se describe una representación esquemática del funcionamiento de un sistema de control basado en red sobre el protocolo Profibus-DP, que permite representar las distintas etapas que sigue una señal analógica desde el instante de tiempo en que se captura hasta que es aplicada a la planta, después de ser procesada. | V. Casanova V. Mascarós J. Salt | ceautomatica.es | España | 2004 | Universidad Politécnica de Valencia |
| Análisis experimental del funcionamiento de un sistema de control basado en red sobre el protocolo Profibus-DP (I) | En este trabajo se representan las etapas que sigue una señal analógica en un sistema de control en red que utiliza el protocolo Profibus-DP, desde el instante de tiempo en que se captura hasta que es aplicada a la planta, después de ser procesada. | V. Casanova V. Mascarós J. Salt | researchgate.net | España | 2005 | Universidad Politécnica de Valencia |
| Efectos del enlace de comunicación en un sistema de control basado en red utilizando Profibus-DP | Los sistemas de control basados en red son un tipo especial de sistemas donde se utiliza un medio de comunicación compartido por distintos dispositivos y/o el controlador se encuentra alejado de la planta y es necesario un medio de comunicación fiable y segura. | V. Casanova V. Mascarós J. Salt A. Cuenca | polipapers.upv.es | España | 2006 | Universidad Politécnica de Valencia |
| Laboratorio de Automatizaciones y Redes Industriales | Este proyecto es una iniciativa para el desarrollo de una solución de bajo costo a la necesidad de equipamiento de laboratorios, al implementar plataformas tecnológicas de vanguardia en innovación y tecnología educativa. El proyecto consiste en equipar un laboratorio de automatización y redes industriales con equipo industrial y empleo de máquinas de realidad virtual para entrenamiento local. | Antonio Jr. Vallejo Guevara Manuel E. Macias García Campus Laguna | repositorio.tec.mx | México | 2013 | Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey |
| Programación de la trama de PROFIBUS DP utilizando RS485, en un microcontrolador Microchip. | En este artículo, se muestra el frame del protocolo de comunicación industrial PROFIBUS DP, su programación utilizando micro controladores Microchip, la parte que envía el maestro a los esclavos y si es correcta la información lo almacena en la base de datos de esclavos; por otro lado la programación de respuesta de los esclavos que le envían al maestro la información que se les ha requerido, con diferentes direcciones dentro de la red digital de comunicación para control. | A. De la Barrera González O. Jiménez Ramírez J.C. Sánchez García. | researchgate.net | España | 2013 | Instituto Politécnico Nacional |
| Implementación de un dispositivo pasivo para una red Profibus-DP, basado en microcontrolador. | Se presenta el desarrollo de una estación pasiva para entradas y salidas de propósito general, con capacidad de comunicación mediante el protocolo Profibus-DP. La implementación se basa en un microcontrolador STM32, respetando las especificaciones de las capas física y de enlace de datos definidas para el protocolo. Se describe la arquitectura hardware y software de la estación pasiva, así como las pruebas a las que fue sometida para verificar su funcionamiento. | Asfur Barandica López Carlos Julio Ramirez Borrero Melani Gisella Viveros Moreno | dialnet.unirioja.es | Colombia | 2015 | University of Valle Postobón S.A. |
| Seguridad en redes industriales. | Temas como el control del ancho de banda, la implementación de aplicaciones determinísticas y de tiempo real sobre una red no determinística o la necesidad del networking específico para las rudas condiciones del mundo industrial, son sin duda puntos clave dentro de estos entornos. | Ignacio Alvarez Vargas | isa-spain.org | España | 2013 | Siemens SA ISA |

Fuente: elaboración propia.

De toda la información recopilada se encontraron 126 fuentes relacionadas a las palabras clave y que luego de aplicar los criterios de exclusión quedaron 32 fuentes que cumplieran con los criterios de inclusión y que fueron agrupados y ordenados de la siguiente manera: título, resumen, autor (es), fuentes, país, año e instituciones de respaldo reflejados en las tablas 2, 3, 4 y 5 cuyo proceso se resume en la figura 2.

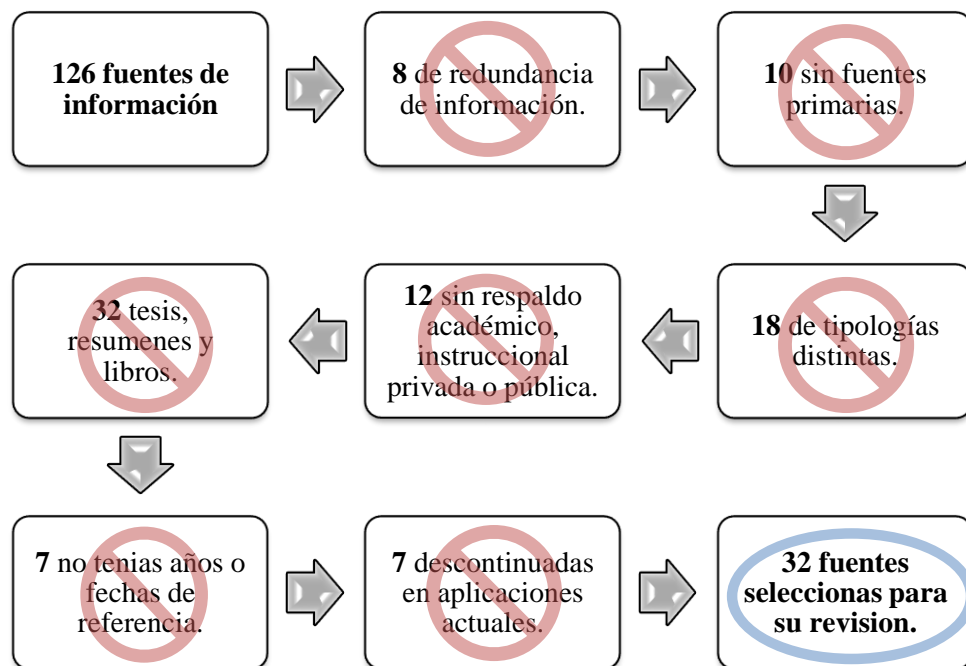


Figura 2. Detalle de pasos de exclusión para las fuentes halladas.

Fuente: Creación propia.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Para el desarrollo de la revisión sistemática se trabajó en base a 32 papers que fueron el resultado de la selección de una base de datos de 126 fuentes de información que datan de entre los años del 2001 al 2018, todos ellos respaldados por instituciones científicas e industriales aplicadas a la industria y en la preparación académica en comunicación industrial enfocada al manejo y conocimiento de la red Profibus.

Las fuentes a las que se fueron consultadas son de gran variedad sin encontrarse un predominio debido a su naturaleza en la automatización, recurriendo a varias fuentes como: scielo con 6, researchgate con 3, solo con 2: Dialnet, E-spacio, Polipapers, Sciencedirect, Sistemamid, Researchgate; solo con 1: Researchgate, Acofi, Ceautomatica, Educacioneningenieria, Isa-spain, Itcelaya, Itssna, Repositorio.tec, Ucaldas, Ufsc, Umanizales, Unicauca, Unipamplona; todos ellos provenientes de universidades (repositorios) e instituciones de investigación y desarrollo a nivel académico e industrial como se detalla el la figura 3.

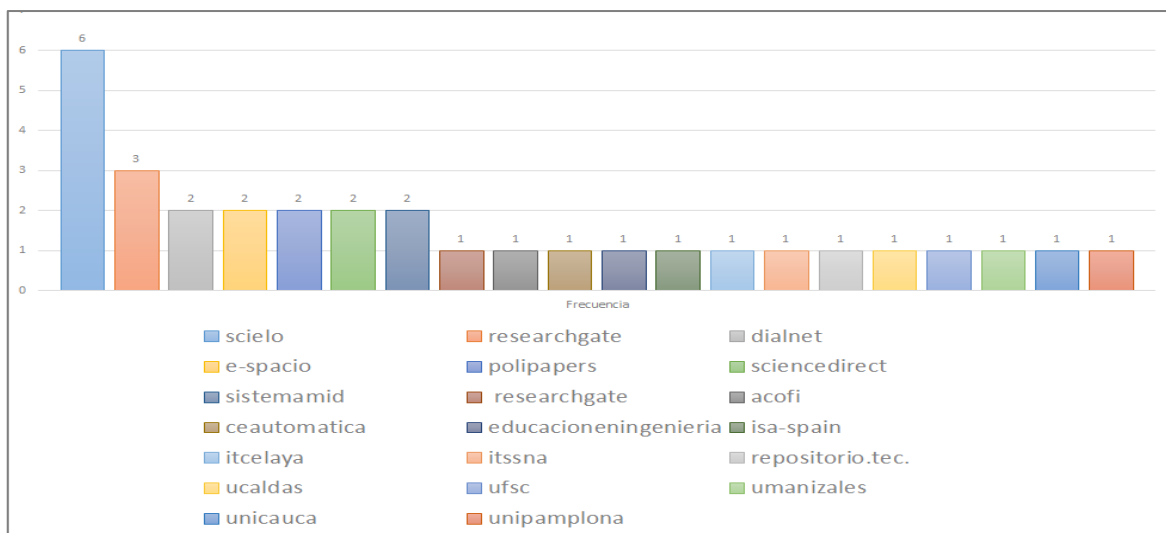


Figura 3. Detalle de fuentes consultadas para la revisión sistemática.

Fuente: Creación propia.

La mayor cantidad de información relacionada a automatización y manejo de protocolos industriales enfocados al bus de campo Profibus a nivel de países se halló en España con un 34% seguido de Colombia con un 28%, México y Chile cada uno con un 10% y con solo con un 3% los países de: Venezuela, Rusia, Cuba, Costa Rica y una asociación entre México y España, tal como se puede apreciar en la figura 4.

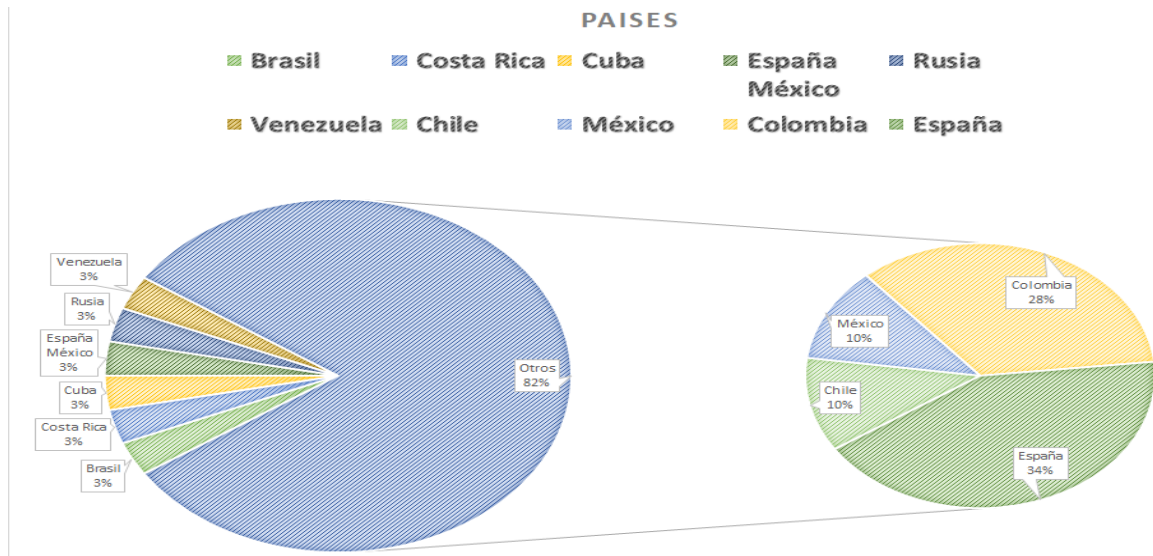


Figura 4. Detalle de porcentaje de participación en papers revisados por países.

Fuente: Creación propia.

Los años de los que datan los artículos revisados se dan desde el 2001 hasta el 2018 de los cuales la mayor cantidad de artículos son provenientes del año 2004 con el 13%, los años 2001, 2011, 2014 y 2018 representan el 9% por cada uno, los años 2014, 2005, 2006 y 2018 con el 6% cada uno y los años 2003, 2007 al 2010, 2012, 2016 y 2017 solo con el 3% según se aprecia en la figura 5.

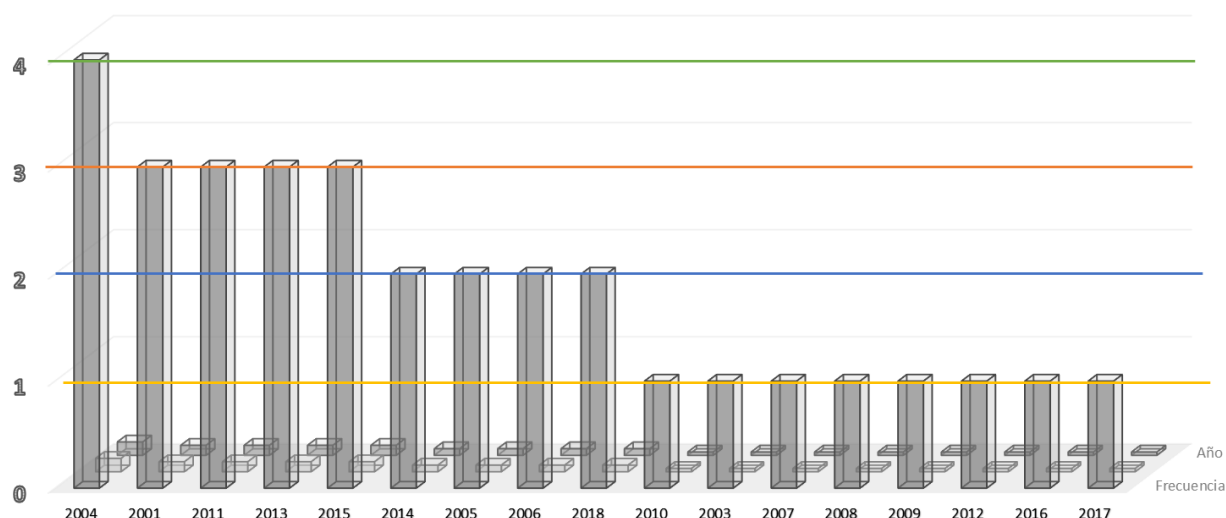


Figura 5.. Detalle de Papers hallados por año.

Fuente: Creación propia.

Se resalta que gran parte de la información trabajada fue hecha en Sudamérica con un 44% de participación, mientras que Europa, solo con España alcanzó el 38%, Norteamérica con el 16% y Centroamérica y Eurasia cada uno con el 3%.

Tabla 6.

Resumen de Papers por continente.

| País | Papers | Continente | Papers |
|------------|--------|-------------------|--------|
| Brasil | 1 | | |
| Venezuela | 1 | América del Sur | 14 |
| Chile | 3 | | |
| Colombia | 9 | | |
| España | 12 | Europa | 12 |
| Cuba | 1 | América del Norte | 5 |
| México | 4 | | |
| Rusia | 1 | Eurasia | 1 |
| Costa Rica | 1 | Centro América | 1 |

Fuente: elaboración propia.

El 13% de la información recopilada define los distintos tipos de protocolos industriales y sus características como: el intercambio de datos, el uso de circuitos y conductores, las partes que componen una red industrial y la gran variedad de conexiones existentes, que se dan mediante un bus para la transmisión de datos predominando el modo

serial que por poseer más usuarios o interconexiones (Caicedo-Erasoa, Varón-Sernab, & Díaz Arangoc, 2015) en las redes la función característica es la de transferencia de bits entre distintos nodos que componen una red, definidas por: los niveles de señal, codificación, sincronización y tiempos de transmisión de bits (Kaschel C. & Pinto L., 2005). En tal sentido podemos definir como bus de campo a un sistema de transmisión de información mediante un solo cable de comunicación que simplifica la instalación, la operación de maquinas y equipos a nivel industrial, todos ellos empleados en un proceso de producción; la ausencia de estándares hace que varias compañías desarrollen varias soluciones que se acondicionen a sus diferentes aplicaciones y necesidades (se resumen en la tabla 8 para la apreciación de sus principales características). (Salazar Serna & Correa Ortiz, 2011). Las ventajas más resaltantes de los buses de campo se pueden identificar por: la reducción de costos (se reducen costos en la instalación), mantenimiento (menos cableado que revisar) y las mejoras en el funcionamiento de un sistema, todo ello por la reducción en su cableado y su reemplazado a un solo cable para la conexión de los diversos nodos. Sus ventajas se evidencian en la flexibilidad a la variedad de diseños para las que se presta, la simplificación en la obtención de datos, la comunicación bidireccional que se da entre los dispositivos de campo y los sistemas de control y los servicios de administración que se originan gracias a la información que se adquiere y almacena que servirá como una importante herramienta de diagnóstico que ayude a la toma de decisiones. (Kaschel C & Pinto L, 2001).

Tabla 7.

Comparación de características entre algunos buses (Construida a partir de AIE 2011)

| Nombre | Topología | Soporte | Máximo Dispositivo | Ratetrans bps | Distancia Max Km | Comunicación |
|---------------------|---|---|-----------------------|------------------|------------------------|--|
| Profibus DP | línea, estrella, anillo | Par trenzado, Fibra óptica | 127/segm | hasta 1.5M y 12M | 0.1segm 24fibra | Master/Slave, Peer to peer |
| Profibus PA | línea, estrella, anillo | Par trenzado, Fibra óptica | 14400/segm | 31.5K | 0.1segm 24fibra | Master/Slave, Peer to peer |
| Profibus-FMS | | Par trenzado, Fibra óptica | 127/segm | 500K | | Master/Slave, Peer to peer |
| Foundation Fieldbus | estrella | Par trenzado, Fibra óptica | 240p/segm 32.768 sist | 100M | 0.1par 2fibra | Single/multi master |
| LonWorks | Bus, anillo, estrella, lazo | Par trenzado, Fibra óptica, coaxial radio | 32768/dom | 500K | 2 | Master/Slave, Peer to peer |
| Interbus | Segmenta-do | Par trenzado, Fibra óptica | 256/nodos | 500K | 400/segm 12.8 total | Master/Slave |
| DeviceNet | Troncal/puntualc/ bifurcación | Par trenzado, Fibra óptica | 2018 nodos | 500K | 0.5 6c/repetid | Master/Slave, Multi-master, Peer to peer |
| ASI | bus, estrella, anillo, estrella | Par trenzado, Fibra óptica | 31 p/res | 167K | 0.1, 0.3 c/rep 24fibra | Master/Slave |
| Modbus | línea, estrella, árbol, red con segmentos | Par trenzado, Coaxial, radio | 1250 p/ segm | 1.2 a 115.2K | 0.35 | Master/Slave |
| Ethernet industrial | bus, estrella, malla, cadena | Coaxial, Par trenzado, Fibra óptica | 400p/segm | 10, 100M | 0.1 100 mono c/switch | Master/Slave Peer to peer |
| Hart | | Par trenzado | 15 p/segm | 1.2K | 0.1segm 24fibra | Master/Slave |

Fuente: Recuperado de (Salazar Serna & Correa Ortiz, 2011)

El 22% de la literatura revisada se enfoca al uso y análisis del protocolo de comunicación Profibus caracterizado por ser un bus de campo abierto que cumple con el estándar EN50170 de procedencia europea (Casanova, Mascarós, & Salt, 2005) que incluye tres versiones diferentes de protocolo de comunicación: Profibus DP el cual está diseñado para la comunicación entre controladores programables y dispositivos de entrada y salida a nivel de campo, Profibus PA versión modificada del Profibus DP para seguridad intrínseca y la alimentación de los dispositivos del mismo bus y Profibus FSM diseñado para comunicaciones industriales a nivel de celda cuya prioridad es la de emitir gran cantidad de

información y no por su tiempo de respuesta (Casanova V. , Mascarós, Salt, & Cuenca, 2006), el medio físico de comunicación utilizado se da a través de: cable eléctrico basado en el estándar RS-485 que puede transmitir desde 9.6 Kbits/seg hasta 3 Mbits/serg dependiendo de la longitud del segmento según la tabla 9 y la fibra óptica cuya virtud principal es la de ser inmune a las interferencias electromagnéticas. “Profibus emplea un mecanismo hídrico de control de acceso al bus de campo (figura 6) utilizando un procedimiento de paso testigo para la comunicación entre los nodos activos (maestros), y el procedimiento maestro esclavo para la comunicación entre los nodos activos y los nodos pasivos (esclavos)” (Casanova, Mascarós, & Salt, 2005).

Tabla 8.

Distancia máxima del segmento en función de la velocidad de transmisión.

| Velocidad de transmisión (kbits/seg) | Máxima longitud de segmento (m) |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| 1200- 3000 | 100 |
| 1500 | 200 |
| 500 | 400 |
| 187.5 | 1000 |
| 9.6 - 93.75 | 2000 |

Fuente: Recuperado de (Casanova, Mascarós, & Salt, 2005)

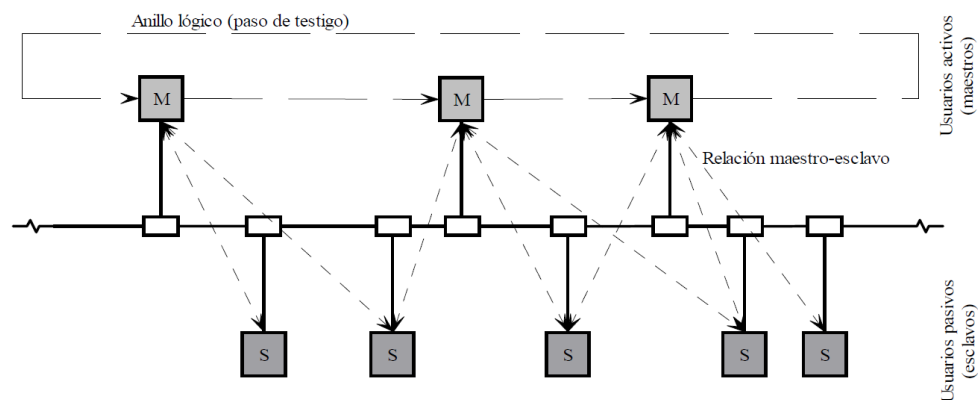


Figura 6.. Protocolo de acceso al medio.

Fuente: Recuperado de (Casanova, Mascarós, & Salt, 2005)

Para (Calderón Porras, 2004) una manera global de entender su funcionamiento es recordar que la red es un bus de datos y que solamente puede haber una estación transmitiendo en un momento determinado. El software del maestro es el que se encarga de la sincronización de la red y de evitar que una estación envíe un mensaje cuando no le corresponde en la etapa de iniciación el maestro debe leer de la base de datos la información de cada uno de sus esclavos y almacenarla en una matriz para posteriormente al recibir el token para comunicarse con sus esclavos y empezar la comunicación con cada uno de ellos haciéndose de una manera ordenada de acuerdo a la orden del maestro con cada esclavo para solicitud de información y de envío de información para el cambio de algunas de las variables del esclavo.

Con mayor aplicación en la industria mundial encontramos al protocolo de comunicación Profibus DP en nodos instalados, cuya ventaja radica en las altas tasas de transferencia de datos que se dan de manera confiable. Profibus DP maneja dos tipos de equipos: los maestros o estaciones activas y los esclavos o estaciones pasivas, dentro de las funciones del maestro es la de enviar datos de salida al esclavo obteniendo respuesta incluida sus datos de entrada, a su vez las estaciones activas presentan dos tipos: Maestro DP clase 1 encargados del control central mediante el intercambio de información con los esclavos y el Maestro DP clase 2 usado específicamente para la programación, configuración o diagnóstico. (Barandica López, Ramírez Borrero, & Viveros Moreno, 2015). Todo ello evidenciado en la aplicación de (Casanova, Mascarós, & Salt, 2004) que explica el funcionamiento de este protocolo donde se describe de forma abreviada las etapas que sigue una señal analógica desde que es capturada hasta que es escrita en una salida analógica después de ser procesada por un maestro y transmitida por el bus de campo.

Para hacer posible es intercambio de información es vital la intervención de la Interface RS485 el cual se define como un medio físico por el cual se emite y recibe las señales de datos, emitido por la EIA/TIA, cuyas velocidades van desde 9,600 bits/seg hasta 10Mbits/seg. Se caracteriza principalmente por: Transmisión síncrona NRZ, empleando una topología de red de bus con manejo diferencial balanceado, requiriendo de terminadores en los dispositivos conectados en los extremos del bus, asegurando el acoplamiento y desacoplamiento de estaciones durante operación normal, sin afectar el resto, los terminadores son resistivos de 104Ω teóricos en los extremos, utilizando el valor comercial que se ha instalado con éxito de 120Ω cada uno. Para ello se utiliza cable apantallado de par trenzado calibre 24 AWG nivel 5, se pueden manejar 32 estaciones por segmento y un máximo de 127 estaciones por red, contando maestros, repetidores y esclavos, utiliza conector tipo DB9 que opcionalmente puede ser alimentado con +24V para alimentación de los dispositivos con corriente máxima de 100mA, la distancia máxima de cobertura dependiendo de la velocidad de transferencia, tal como se muestra en la tabla 9, pudiendo extender la distancia por la utilización de repetidores, configurados a la misma o diferente velocidad. (González, Ramírez, & García., 2013)

El otro 22% menciona a las comunicaciones industriales en los procesos productivos y su vital importancia para la supervisión y control, ya sea remota o lineal trabajada mediante gráficos integrados en una programación estructural basada en la norma de automatización IEC 61131 (Pérez Delgado, Islas Torres, Santos Alvarado, Vásquez Jiménez, & Gómez Juárez., 2017) empleando los buses de red y su aporte a la comunicación evitando el uso excesivo de cableado y que ofrezcan seguridad en la comunicación, el monitoreo y el control de los procesos. (Ibáñez Hernández, Chagolla Gaona, Méndez Pérez, Rangel Miranda, & Barrera Navarro, 2014). Para poder realizar el control de los Procesos Industriales el enviar

y recibir información es primordial; los componentes de bajo nivel (esclavos) en el sistema SCADA (a nivel de entradas y salidas) y los del nivel de campo y procesos tiene que mantenerse comunicados, donde la descripción y configuración posibilitan su control en los procesos industriales mediante dispositivos de control adecuados (Vidal, Zúñiga , & Rojas , 2007). Un Sistema Integrado de Supervisión hace posible que los operadores posean de forma centralizada la información de los subsistemas y por otro que esa información pueda monitorear el estado y funcionamiento, para ello se hace necesaria una topología de red de comunicaciones que permita lograr estos aspectos con una escalabilidad, baja tasa de fallas, un reducido tiempo de retardo y una aceptable velocidad de transferencia de datos de las comunicaciones entre los diversos buses de campo y el PLC (Manassero, y otros, 2011) mediante el empleo del Hardware se encarga del proceso físico y su relación con un PC para realizar las tareas de servidor de Internet, permitiendo así el acceso desde el exterior al proceso. La opción de implementar el control del proceso generalmente da de dos maneras: utilizar un PC (en este caso el PC realizaría funciones de controlador, monitor y servidor de Internet) o un autómata programable (PLC), el PLC realizaría funciones de controlador y el PC de monitor y servidor de Internet; y por otro el Software que se requiere para realizar las tareas de servidor con el fin de realizar prácticas a distancia (Ramos, Herrero, Martínez, & Blasco, 2001) todo esto para hacer posible la integración vertical de funciones de producción a distintos niveles (medida y control, supervisión, mantenimiento, planificación, negocios, etc.) apoyados bajo la existencia de redes de comunicaciones para fabricación, gestión, etc. que en los diversos niveles busca el mejoramiento en las coordinaciones y decisiones sin que todas ellas se realicen de forma aislada sino teniendo en cuenta el resto de los factores de la empresa (De Prada, 2004).

El 16% de esta información se dirige al diseño a nivel de ingeniería para el uso eficiente de los sistemas de control mediante el empleo de la lógica, la electrónica y el cálculo. Para hacer eficiente la aplicación y uso de la red Profibus DP el 19% de la información se enfoca en la enseñanza a nivel académico mediante el empleo de laboratorios y simulaciones.

El 6% se enfoca en el uso de la información de los procesos para el diagnóstico y la gestión de la data obtenida durante los procesos de producción que ayuden a la clasificación para elaborar patrones que caractericen a las operaciones para clasificarlos como normal, defectuoso u operación desconocida (Bernal-de Lázaro, Prieto-Moreno, Llanes-Santiago, & García-Moreno, 2011). La gestión de los procesos se apoya en la documentación siendo el eje central de los procesos en la actualidad la tecnología de la información garantizando que los procesos empresariales cuenten con las aplicaciones que requieren para funcionar (López Supelano, 2015).

Y por último y con solo el 3% la definición de la seguridad de red de los entornos industriales, las acciones a efectuar sobre esta red y sus correspondientes necesidades de protección de la información y seguridad en el acceso a los dispositivos que la componen, dada la importancia no solo de los datos en sí mismos sino también los posibles peligros que nos puede conllevar una alteración de los mismos, teniendo muy en cuenta todos los mecanismos/hardware a utilizar para la protección de las mismas (Alvarez Vargas, 2007).

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

Gracias a la revisión de la literatura de los últimos 18 años se pudo identificar información importante relacionada al protocolo de comunicación o bus de campo Profibus en la aplicación de los procesos y controles industriales, hallando las principales normas, principios de funcionamiento, características y componentes que la hacen eficiente y que han aportado al desarrollo de la automatización en las distintas industrias haciéndola líder en su uso en la mayoría de las industrias actuales. Se evidencia que el conocimiento de los principios que operan este protocolo hará mayor la explotación de esta red industrial que minimizará los tiempos de parada debidos a fallos y operaciones de expansión y mantenimiento (Zabala Campo, Páez Logreira , & Zamora Musa , 2016). Ante ello, la percepción de la automatización y los sistemas inteligentes se vuelve vital en la formación de ingenieros o técnicos que en el futuro aportaran al desarrollo de equipos que beneficiaran la competitividad industrial mediante el uso adecuado de estas tecnologías (Granado, Marín, & Pérez, 2010). La capacidad de diseño de equipos con el protocolo Profibus implica el dominio de conocimientos profundos y permite ofrecer soluciones no convencionales, con buena relación costo/beneficio, a los usuarios de las redes Profibus (Barandica López, Ramírez Borrero, & Viveros Moreno, 2015). Por otro lado, también se evidencia la escasez de información con respecto a tipos de mantenimientos preventivos especializados enfocados a la confiabilidad o procedimientos de diagnostico que permitan definir su estado a través del tiempo de funcionamiento.

REFERENCIAS

- Alvarez Vargas, I. (2007). Seguridad en redes industriales. *ISA*, 1-7.
- Barandica López, A., Ramírez Borrero, C. J., & Viveros Moreno, M. G. (2015). Implementación de un dispositivo pasivo para una red Profibus-DP, basado en microcontrolador. *University of Valle*.
- Belmonte, L. P. (2018). *Comunicaciones Industriales y WinCC*. Ulzama: Marcombo.
- Bernal-de Lázaro, J., Prieto-Moreno, A., Llanes-Santiago, O., & García-Moreno, E. (2011). Estudio comparativo de clasificadores empleados en el diagnóstico de fallos de sistemas industriales. *Ingeniería Mecánica VOI 14*, 87-98.
- Caicedo-Erasoa, J. C., Varón-Sernab, D. R., & Díaz Arangoc, F. O. (2015). Redes industriales. *Vector 7*, 12-17.
- Calderón Porras, E. (2004). Implementación de Protocolo de Comunicación Profibus de Redes de Comunicación Industriales para la Automatización de Sistemas de Manufactura. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 17-24.
- Casanova, Mascarós, & Salt. (2004). Análisis experimental del funcionamiento de un sistema de control basado en red sobre el protocolo Profibus-DP (II). *Universidad Politécnica de Valencia*.
- Casanova, V., Mascarós, V., & Salt, J. (2005). Análisis experimental del funcionamiento de un sistema de control basado en red sobre el protocolo Profibus-DP (I). *Universidad Politécnica de Valencia*.
- Casanova, V., Mascarós, V., Salt, J., & Cuenca, A. (2006). Efectos del enlace de comunicación en un sistema de control basado en red utilizando Profibus-DP. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 82-93.
- Cook DJ, S. D. (1995). Methodologic guidelines for systematic reviews of randomized control trials in health care from the Potsdam Consultation on Meta-Analysis. *J Clin Epidemiol.*, 48:167-71.
- De Prada, C. (2004). El futuro del control de procesos. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 5-14.
- Domínguez, M. Á., Poza, F., Mariño, P., Hernández, H., & Machado, F. (2001). *Diseño de sistemas de comunicaciones industriales para su uso en la enseñanza*. Obtenido de <http://e-spacio.uned.es>: <http://e-spacio.uned.es/fez/view.php?pid=taee:congreso-2004-1062>
- González, A. D., Ramírez, O. J., & García., J. S. (2013). Programación de la trama de PROFIBUS DP utilizando RS485, en un microcontrolador Microchip. *Instituto Politécnico Nacional*.

- Granado, E., Marín, W., & Pérez, O. (2010). Desarrollo de un Laboratorio de Sistemas y Comunicaciones Industriales para la Mejora del Proceso Enseñanza/Aprendizaje. *Revista de la Facultad de Ingeniería UCV Vol 25*, 33-42.
- Ibáñez Hernández, J., Chagolla Gaona, H., Méndez Pérez, A. L., Rangel Miranda, D., & Barrera Navarro, A. (2014). Diseño e implementación de una red de comunicaciones industriales tipo SCADA. *Piscas Educativas No 108*, 139-164.
- Ignacio Ferreira González, G. U.-C. (Agosto de 2011). *Revisiones sistemáticas y metaanálisis: bases conceptuales e interpretación*. Obtenido de <http://www.revespcardiol.org>: <http://www.revespcardiol.org/es/revisiones-sistematicas-metaanalisis-bases-conceptuales/articulo/90024424/>
- Kaschel C, H., & Pinto L, E. (2001). Análisis del estado del arte de los buses de campo aplicados al control de procesos industriales. *Universidad de Santiago de Chile*.
- Kaschel C., H., & Pinto L., E. (2005). Análisis protocolar del bus de campo CAN. *Universidad de Santiago de Chile*.
- López Supelano, K. (2015). Modelo de automatización de procesos para un sistema de gestión a partir de un esquema de documentación basado en Business Process Management (bpm). *Universida & Empresa*, 131-156.
- López, E. P. (2010). Los sistemas SCADA en la automatización industrial. *Tecnología en Marcha*, 3-14.
- Manassero, U., Torres, J. L., López, D., Furlani, R., Regalini, R., & Orué, M. (2011). Instrumentación, control, y telesupervisión en centrales térmicas de pequeña potencia. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Industrial*, 70-86.
- Pérez Delgado, A., Islas Torres, H., Santos Alvarado, H., Vásquez Jiménez, J. C., & Gómez Juárez., U. (2017). Propuesta de Aplicación de Metodología POKA YOKE paea el Sistema de Estación Automatizada de Distribución con PROFIBUS y HMI. *Universidad Tecnológica de Tehuacán*.
- Powell, J., & Vandelinde, H. (2009). *Un recorrido por PROFIBUS Introducción al bus de campo para la automatización de procesos*. Peterborough: Siemens Milltronics Process Instruments.
- Ramos, C., Herrero, J., Martínez, M., & Blasco, X. (2001). Internet en el desarrollo de prácticas no presenciales con procesos industriales. *Universitat Politècnica de València*.
- Salazar Serna, C. A., & Correa Ortiz, L. C. (2011). Buses de campo y protocolos en redes industriales. *Universidad de Manizales*.
- Vidal, J. A., Zúñiga, M. S., & Rojas, O. A. (2007). Implementación de una red industrial can para un sistema scada. *Universidad del Cauca*.

Zabala Campo, V., Páez Logreira , H., & Zamora Musa , R. (2016). Análisis y actualización del programa de la asignatura Automatización Industrial en la formación profesional de ingenieros electrónicos. *Revista Educación en Ingeniería*, 39-44.