

Prototipo Didáctico para Prácticas de Redes Industriales

Armando-Martínez Reyes Autor A., Roxana-García Andrade Autor B., Arnoldo-Fernández Ramírez Autor C., David-Ocaña Díaz Autor D. Carlos-Hernández Santos Autor E.

^a Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Nuevo León, armando.mr@tecnm.nuevoleon.mx, Guadalupe, Nuevo León, México Autor A.

^b Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Nuevo León, roxana.ga@tecnm.nuevoleon.mx, Guadalupe, Nuevo León, México Autor B.

^c Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Nuevo León, arnoldo.fr@tecnm.nuevoleon.mx, Guadalupe, Nuevo León, México Autor C.

^d Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Nuevo León, 1151020439@tecnm.nuevoleon.mx, Guadalupe, Nuevo León, México Autor D.

^e Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Nuevo León, carlos.hs@tecnm.nuevoleon.mx, Guadalupe, Nuevo León, México Autor E.

Resumen

En los últimos años las redes industriales han obtenido una importancia muy relevante en el área de automatización por tal motivo, es necesario de su conocimiento en la formación de los Ingenieros en Electrónica, Mecatrónica e Ingeniería Electromecánica. Con la finalidad de establecer la relación empresa-escuela, se consideró elaborar este prototipo didáctico de prácticas de redes industriales, donde los estudiantes pueden desarrollar las habilidades necesarias para que los alumnos puedan incorporarse a la industria de la automatización. Y lograr capacitarse en redes industriales, instrumentación y control, teniendo así una formación integral. La intención es que este prototipo de redes industriales lo elaboren los estudiantes en su casa, o laboratorio de la escuela, pudiendo ser individualmente o en grupo de 2, esto, considerando la falta de recursos de las instituciones educativas para la compra de componentes para formar dichas redes, por lo que resulta de mucha utilidad la fabricación de este prototipo didáctico.

Para su elaboración, se seleccionaron componentes de bajo costo y considerando que permita la capacitación práctica de protocolos de red industrial, integrando en un futuro una pantalla HMI (interface hombre maquina), creando un entorno similar a la industria para lo cual se propone elaborar una maqueta que contenga 4 Microcontroladores Arduino uno Rev. 3 con interface RS-485 y una Laptop con interface USB-RS485, sensor de humedad y temperatura y 2 servomotores 9g o similar, para integrarlos a una pantalla LCD touch Nextion modelo NX4827K043, que funcione como interface HMI, logrando así, elaborar prácticas en un entorno similar a la industria.

Esta solución incluye hardware y software usando el editor de Nextion. La pantalla TFT LCD (Thin Film Transistor Liquid Crystal Display).

Los resultados obtenidos con el prototipo han logrado el objetivo de capacitar a los estudiantes con elementos

didácticos de bajo costo, emulando equipos industriales que tiene un alto costo, tales como actuadores finales y transmisores de mediciones industriales.

Palabras clave—Redes industriales, Microcontroladores, RS485, Modbus, Protocolos.

Abstract

In recent years, industrial networks have obtained a very relevant importance in the automation area, for this reason, their knowledge is necessary in the training of Engineers in Electronics, Mechatronics and Electromechanical Engineering. In order to establish the company-school relationship, it was considered to develop this didactic prototype of industrial network practices, where students can develop the necessary skills so that students can join the automation industry. And achieve training in industrial networks, instrumentation and control, thus having a comprehensive training. The intention is that this prototype of industrial networks be developed by the students at home, or in a school laboratory, and can be done individually or in a group of 2, this, considering the lack of resources of the educational institutions for the purchase of components to form these networks, so the manufacture of this didactic prototype is very useful.

For its elaboration, low-cost components were selected and considering that it allows the practical training of industrial network protocols, integrating in the future an HMI screen (human machine interface), creating an environment similar to the industry for which it is proposed to develop a mockup containing 4 Arduino Uno Rev. 3 Microcontrollers with RS-485 interface and a Laptop with USB-RS485 interface, humidity and temperature sensor and 2 9g servomotors or similar, to integrate them into a Nextion LCD touch screen model NX4827K043, which works as HMI interface, thus achieving, develop practices in an environment similar to the industry.

This solution includes hardware and software using the Nextion editor. The TFT LCD screen (Thin Film Transistor Liquid Crystal Display).

The results obtained with the prototype have achieved the objective of training students with low-cost didactic elements, emulating industrial equipment that has a high cost, such as final actuators and industrial measurement transmitters.

Keywords— Industrial networks, Microcontrollers, RS485, Modbus, Protocols.

1. INTRODUCCIÓN

Las prácticas son esenciales para que un estudiante logre su desarrollo integral, de manera que tenga éxito en su vida laboral, uno de los problemas es la falta de práctica y habilidad de manipular, conectar y configurar los sistemas de comunicación de sensores y actuadores en redes industriales, debido a que no se realiza como en el entorno de una empresa, es por eso que se desarrolló un Prototipo

que simule los procesos industriales reales, de manera sencilla para la fácil comprensión de los alumnos.

En algunas instituciones donde se imparte la materia de redes industriales, orientadas a la automatización e instrumentación, no se cuenta con los elementos y equipos necesarios para la realización de la aplicación de los conceptos teóricos vistos en clase, además, de la necesidad de impartir clases en línea, a causa de la pandemia que se presentó a nivel mundialmente. Surge la necesidad de realizar las prácticas que comúnmente se realizan en un laboratorio en la escuela, ahora a realizarlas en su casa, los estudiantes, con este prototipo lograran los conocimientos de las materia de redes industriales de las carreras de Ingeniería Electrónica, Ingeniería Mecatrónica e Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico de Nuevo León. Se considera que los alumnos puedan realizar este prototipo en equipos de 2 o 3 estudiantes y será empleado durante todo el semestre en sus prácticas.

Con la era digital y la introducción de la industria 4.0 así como el internet de las cosas, es de suma importancia estos conceptos en la formación de los futuros ingenieros [1].

Las redes industriales son las que se encargan del intercambio y control de información en la comunicación digital. Para lograr esto se requiere una estructura de redes moderna, segura y confiable, que permita el transporte de información y datos a los diferentes dispositivos del proceso automatizado y poder tener esta información en tiempo real. La comunicación digital es de suma importancia ya que con ella podemos mantenernos informados y analizar los datos actualizados al momento para poder actuar en nuestros procesos automatizados. La implementación de una red industrial tiene muchas ventajas sobre cualquier otra forma de comunicación de datos en los procesos. Las redes de campo son sistemas de comunicación que usan una amplia variedad de medios físicos, tales como cables de cobre y fibra óptica. Con el surgimiento de los primeros sensores inteligentes con salidas digitales se requería un protocolo de comunicación digital. Ya que con el paso del tiempo se incrementaban en número de dispositivos instalados en sistemas industriales, por lo cual era necesaria una nueva forma de comunicación ya que la conectividad tradicional analógica no permitía interconectar muchos elementos a alta velocidad. Teniendo como consecuencia la pérdida de datos y por consiguiente falla en los procesos. Esto trajo como consecuencia la introducción de los buses de campo, la vía de comunicación para la automatización industrial anteriormente a esto se basaba en un cableado paralelo en donde los dispositivos se conectaban de forma independiente con el nivel de regulación y control.

El bus de campo es una red de comunicación industrial bidireccional y multipunto entre equipos de campo, existen diferentes compañías que han desarrollado diferentes soluciones, han clasificado en los siguientes grupos: buses de alta velocidad y baja fidelidad según [2]. Los buses de campo permiten conectar sensores y actuadores, que están conectados en un proceso industrial, ya sea de automatización o de instrumentación, fueron ideados para hacer una conexión más rápida, económica y de fácil mantenimiento, a nivel de lo que llamamos campo que es en

si el proceso. Anteriormente los elementos de campo como son los sensores y actuadores se conectaban a las computadoras o PLC, de control de procesos que se podían conectar a una red superior.

Actualmente con el concepto de buses de campo tenemos una red en la parte inferior en el proceso que permite una comunicación más rápida y sencilla por el tipo de señal que manejan los sensores, actuadores, transductores, módulos de I/O (entrada/salida), controladores de velocidad y PLC (Controlador lógico programable) u otros sistemas de control, que son básicamente elementos que envían y reciben señal de control y estos a su vez se van comunicando a niveles superiores de las redes, como se ilustra en la figura 1.

Y así nació una nueva comunicación en la industria, en 1979 con Modbus [3], la cual permitía una comunicación entre diferentes dispositivos. En la década de los 80 cuando los sistemas de comunicación y de control tuvieron un avance muy considerable, fue entonces que se crearon los protocolos de comunicación.

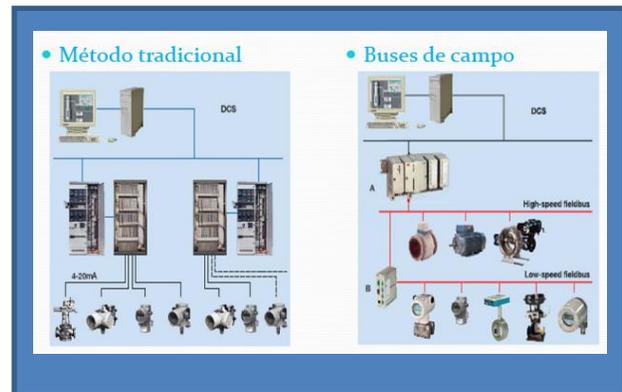


Figura 1 Buses de Campo
Fuente: Docplayer, monitores industriales

En esta misma década muchas compañías de todo el mundo crearon especificaciones propias tanto de hardware como de software. Los protocolos de comunicación es un conjunto de normas y reglas que permiten el intercambio de información entre varios equipos, estos equipos al estar interconectados forman una red de comunicación.

Existen una gama amplia de protocolos que nos ayudan a automatizar, interactuar, controlar etc. En este trabajo nos enfocaremos en el protocolo serial RS485 o IEA 485.

La interfaz serie más utilizada en la industria. Tiene una gran ventaja sobre la RS232 o TIA/EIA-232, usando la tecnología multipunto, se pueden conectar múltiples receptores y transmisores, según [4]. Para cumplir con los requerimientos de una determinada aplicación, existen dos formas de operación de esta tecnología el Half Duplex y Full Duplex. Siendo la Half Duplex capaz de recibir o enviar datos de recepción o enviar por separado, es decir primero se envía y después se recibe. En el Full Duplex se envía y se recibe en forma simultánea, pero se requieren 2 interfaces RS485 por cada dispositivo.

Por lo anterior en este artículo se presenta un prototipo de redes industriales, el cual se elabora con componentes y dispositivos de bajo costo, siendo dispositivos didácticos permiten la aplicación de protocolos e interconectividad semejantes a los equipos industriales que tiene un alto costo. El alto costode los equipos industriales se debe a que su operación esta sujeta a ambientes, corrosivos, abrasivos, con polvo, humedad etcétera, y operan en largos periodos de tiempo. Los componentes de este prototipo no están diseñados para estos ambientes agresivos de la industria sin embargo, debido a que operan en ambientes controlados como una casa o un laboratorio y donde sus periodos de operación son de corto tiempo responden a las necesidades del objetivo planteado. Este prototipo cumple con los requerimientos necesarios para abordar la mayor cantidad de los temas vistos en el programa de la materia.

2. CONTENIDO

2.1 Alcance

Con la finalidad de contar con un equipo de bajo costo que permita la capacitación practica de protocolos de red industrial, por lo cual, se realizó un prototipo que contiene 4 Microcontrolador Arduino uno Rev. 3[5], con interface RS-485 y una Laptop con interface USB-RS485 para monitoreo y también podría ser usada como maestro o HMI, la pantalla LCD touch Nextion modelo NX4827K043 o similar funcionara como interfase HMI, un sensor de humedad y temperatura con salida RS485, dos servomotores de tipo 9g y 3 leds con la finalidad de elaborar prácticas con diferentes escenarios que se presentan en un entorno similar a la industria.

2.2 Desarrollo

Como sabemos este protocolo el RS485 emplea un par de cables trenzados para eliminar “ruido” y cuya red puede extenderse a 1200m y hasta 32 dispositivos en forma natural (estándar),

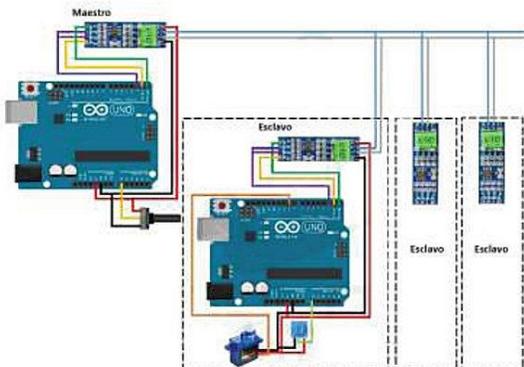


Figura 2. Implementaciones con 2 microcontroladores
Fuente: naylampmechatronics

En la figura 2 se muestra un esquema de 2 microcontroladores y la interface RS485

En la implementación se emplearon 1 maestro y 3 esclavos, el maestro puede ser un microcontrolador o una computadora con interface USB a RS485 y los esclavos tienen una única interface RS485, se implementó la configuración half dúplex, esta configuración half dúplex implica que en un momento dado, un esclavo puede enviar y recibir datos y no lo puede hacer simultáneamente, si quisiéramos tener esa posibilidad debemos utilizar la configuración full dúplex, y para ello se requiere dos interfaces RS485 por cada microcontrolador Arduino uno. Por la situación de disminuir costos se optó por la configuración half dúplex.

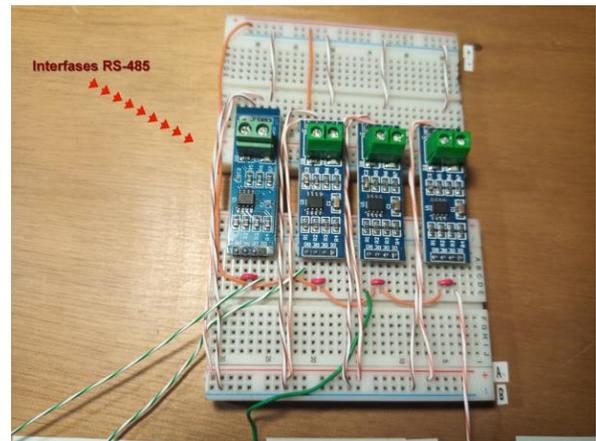


Figura 3. Conexión de interfaces
Fuente: Elaboración propia

Se instalaron las interfaces en dos protoboard separados para que la longitud de la interface permita hacer interconexiones a través de los protoboard, esto se muestra en la figura 3.

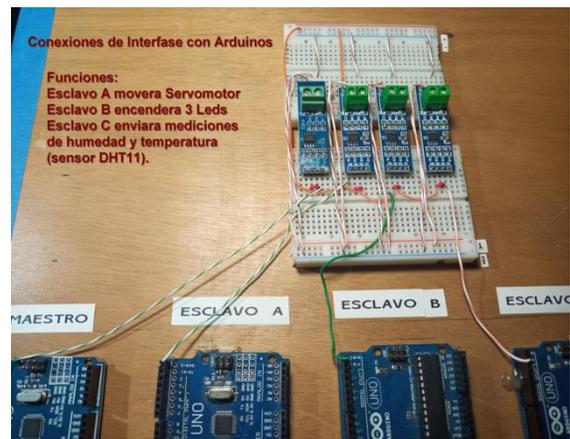


Figura 4. Declaracion de funciones
Fuente: Elaboración propia

Lo siguiente fue el armado con los microcontroladores Arduino UNO como maestro y tres esclavos, denominados A, B y C, los cuales harán las siguientes funciones. Como se aprecia en la figura 4. El esclavo A, tendrá conectado un servomotor, que actuará a través de un potenciómetro,

conectado en el maestro. Este esclavo solo recibirá información. Al esclavo B se conectaron 3 leds de diferente color para que enciendan de manera individual cada uno. De igual manera que en el esclavo A, este microcontrolador está preparado para recibir información únicamente. Sin embargo, el esclavo C va a enviar medición de humedad y temperatura usando el sensor DHT11. No obstante se cambió este sensor por la incapacidad para hacer mediciones de temperatura en decimales, como se menciona en [6].

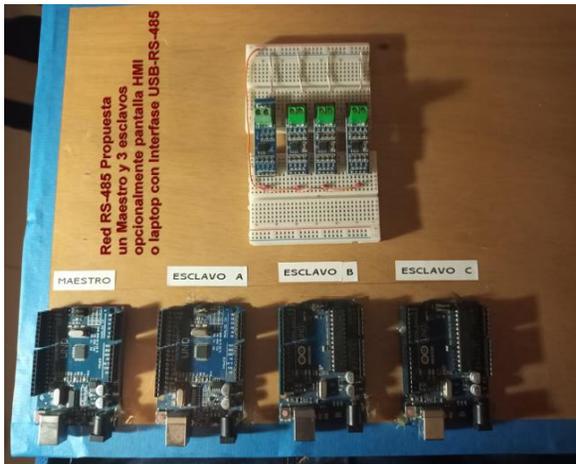


Figura 5. Red

Fuente: elaboración propia

En la figura 5, se observa que la red de comunicación está montada en una estructura sólida y dura para el mejor manejo y manipulación de la misma.

Un elemento más que se incorporó al prototipo para que tenga más funcionalidad, es una interfaz hombre máquina o pantalla HMI.

Se está utilizando una pantalla HMI de la marca Nextion, la cual es una pantalla Touch a color con comunicación serial que nos permitirá trabajar esta red, sin la necesidad de una computadora. Es decir, proporciona un interfaz amigable entre usuario-máquina, posee un editor Nextion, la cual incluye procesador y memoria integrados, desarrollado por un software gratuito y descargable [7].

La pantalla TFT LCD (Thin Film Transistor Liquid Crystal Display). Nextion utiliza sólo un puerto serie para hacer la comunicación. Con esto disminuye el problema del cableado excesivo. En esta situación, el editor de Nextion tiene un lenguaje de programación de forma gráfica así como componentes predefinidos tales como botones, texto, barra de progreso, deslizador, panel de instrumentos, etc. Con esto se enriquece el diseño de la interfaz.

Para el montaje de la pantalla HMI se realizó un gabinete aprovechando los recursos de la impresión en 3d. Se elaboró un diseño con las dimensiones de la pantalla como se muestra en la figura 6.



Figura 6. Pantalla HMI y Gabinete

Fuente: Elaboración propia



Figura 7. Armado final

Fuente: elaboración propia

En la figura 7 se observa la construcción final, en esta imagen falta incluir los servomotores, los leds y el sensor de temperatura y humedad. Aquí ya se observa la distribución de las interfaces RS485, se cuenta con la pantalla Nextion ya montada en su gabinete, y los microcontroladores ya etiquetados con las funciones que se describieron anteriormente. Con esto estamos logrando un prototipo de red compacta y de bajo costo. Los microcontroladores representan instrumentos industriales, en este prototipo el microcontrolador que manipula un servomotor es un receptor que emula un actuador final como podría ser una válvula neumática con su convertidor de señal eléctrica a aire cuyo costo dependerá del tamaño y la aplicación específica, de igual forma el microcontrolador que manipula los leds, representan actuadores de potencia como los utilizados en la automatización. El microcontrolador maestro representa un controlador lógico programable o computadora de control de procesos.

En la construcción se sustituyó el sensor de humedad y temperatura DHT11 ya que este sensor no cuenta con un protocolo RS485 directo, que originalmente iba conectado a un microcontrolador de tal manera que se añadió un sensor

de humedad y temperatura cuya salida es RS485, Modelo XY-MD02. El alcance de este sensor depende de la velocidad de transmisión, siendo posible conseguir 35 Mbps en distancias inferiores a 10 metros, y hasta 100 Kbps en distancias hasta 1200 metros.

Logrando con esto incorporarse a la Red directamente, esto de acuerdo al manual del fabricante [8], se puede apreciar el montaje del mismo en la figura 8.

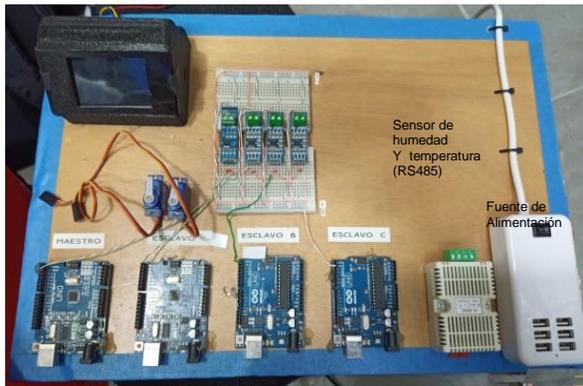


Figura 8. Prototipo de Red RS485
Fuente: Elaboración propia

En la figura 8, se observa el prototipo listo con el montaje de los Servomotores, leds, sensores de temperatura y humedad, así como la pantalla HMI Nextion. La pantalla Nextion tiene la característica de contar con su propio lenguaje de configuración el cual opera desde una PC incorporando plantillas predefinidas siendo un lenguaje grafico muy intuitivo de componentes lo que facilita y optimiza el tiempo de desarrollo.

Como parte de los resultados incluiremos una práctica realizada por los estudiantes.

En esta práctica se utilizó el prototipo que utiliza el protocolo RS485, este proyecto consistió en aplicar los conceptos teóricos de este protocolo utilizando tres módulos de Arduino, en donde controlaremos 3 diodos LEDS. Lo importante es que estos principios pueden ser aplicables para controlar diferentes dispositivos, ya sean válvulas, actuadores, etc.

El protocolo RS-485, está definido como un sistema de bus diferencial multipunto, es ideal para transmitir información a altas velocidades sobre largas distancias (35 Mbit/s hasta 10 metros y 100 kbit/s en 1200 metros) y a través de canales ruidosos, ya que el par trenzado reduce los ruidos que se inducen en la línea de transmisión.

Los pines 0 y 1, son los que permiten establecer comunicación entre Arduino y RS485.

El pin 2, es quien manda instrucciones desde la IDE de arduino. Las entradas A y B son las que permiten establecer la comunicación entre todos los esclavos y el master. Esto se muestra en la siguiente figura 9.

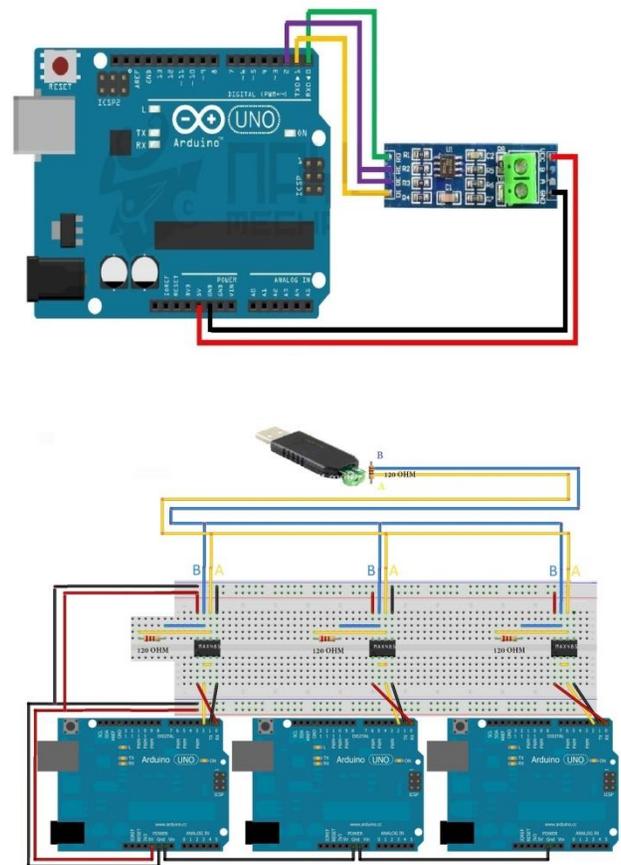


Figura 9. Diagrama de conexiones
Fuente: Elaboración propia

Esta es la conexión que se realizó para este proyecto. Como se puede observar, cada módulo de Arduino está conectado a un RS485, y a 3 LEDS, posteriormente cada salida del RS485 se encuentra conectado a dos puentes que corresponden a los cables de datos A y B, y estos a su vez están conectados al convertidor RS485 a USB, para que la computadora y nuestro software puedan leer los datos. Cuando trabajamos con este protocolo las tramas de datos son muy importantes.

La trama es la información en código que se le envía a cada esclavo. La trama más básica, es la que se utilizó en este proyecto, que es la siguiente figura 10.

DIRECCION	FUNCION	FIN
A	1	#

Figura 10. Trama de la información

DIRECCIÓN: Esta nos indica hacia cual dispositivo está destinada la trama de datos.

FUNCIÓN: Nos indica cual es la acción que queremos que realice el esclavo.

FIN: Indica la finalización de la trama.

Las otras 2 tramas de datos corresponden a tramas más complejas.

El programa de Arduino que se utilizó en los esclavos (Arduinos) en la primera parte, se definieron variables y y el void setup. En la segunda parte de la programación sería la comunicación. En el primer if, se define a que dirección de Arduino se le mandará la información.

En el segundo if se define la función. Finalmente se imprime la respuesta del esclavo hacia el Master.

Como software para el equipo Mater, se utilizó la aplicación "Docklight Scripting" [9]. Esta aplicación es una Simulación de protocolos en serie, Docklight puede enviar secuencias definidas por el usuario de acuerdo con el protocolo utilizado y puede reaccionar a las secuencias entrantes. Se observa en la figura 11.

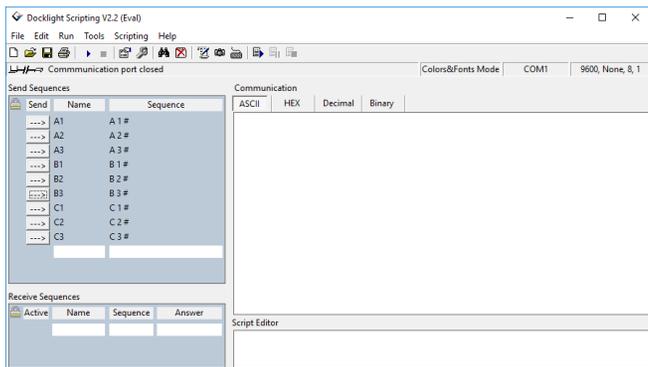


Figura 11. Docklight
Fuente: Elaboración propia

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El prototipo ha cumplido con las expectativas de lograr las habilidades prácticas similares al laboratorio físico del Instituto, y a su vez un reflejo del esquema industrial.

Se concluye que este prototipo de redes industriales ha sido probado en los últimos semestres, teniendo resultados muy satisfactorios, permitiendo comprobar los conocimientos teóricos de la materia por lo que se ha estado mejorando cada uno de semestres siguientes hasta el actual. Se contempla en el futuro próximo, integrar a esta red protocolos como Profinet, Ethernet/IP, Device net, etc [10]. Así como incorporar dispositivos del internet de las cosas (IOT), que permitan la comunicación inalámbrica y aprovechar los servicios de servidores en la nube (FTP, Web, Manejo estadísticos de datos, etc.).

4. REFERENCIAS

[1] Lu, Yang. "Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues." *Journal of industrial information integration* 6 (2017): 1-10.
[2] Kaschel, H., & Pinto, E. Análisis del estado del arte de los buses de campo aplicados al control de procesos

industriales. Fac. de Ingeniería, Depto. De Ingeniería Eléctrica. Universidad de Santiago de Chile.. (2001).

[3] Hassanpour, V., Rajabi, S., Shayan, Z., Hafezi, Z., & Arefi, M. M. "Low-cost home automation using Arduino and Modbus protocol". 2017 5th International Conference on Control, Instrumentation, and Automation (ICCIA). doi:10.1109/icciautom.2017.82586

[4] Messenger, J. L., "Time-Sensitive Networking: An Introduction," in *IEEE Communications Standards Magazine*, vol. 2, no. 2, pp. 29-33, JUNE 2018, doi: 10.1109/MCOMSTD.2018.1700047.

[5] Massimo B., Michael S., "Introducción a Arduino". Anaya, 2016, ISBN:978-0-596-15551-3

[6] González Flores, L. A., & Sánchez Márquez, J. A. . "Diseño de un sistema de medida de la temperatura, humedad e intensidad luminosa basado en el uso del microcontrolador arduino". *jóvenes en la ciencia*, 3(2), pp 2427–2432. (2017).

[7] L. D. Buesaquillo Imbaquingo. "Sistema de control para mejorar el desempeño de una máquina tostadora de café," B.S. Thesis. , 2019. [Online]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9546> , p 12-20.

[8] Product adopts industrial-grade chip. [Online]. Disponible en:

<http://www.sah.rs/media/sah/techdocs/xy-md02-manual.pdf>

[9] Docklight Scripting V2.4 User Manual 04/2022 [Online]. Disponible en:

https://docklight.de/pdf/docklight_scripting_manual.pdf

[10] PI North America. PROFINET System Description. Accessed: Dec. 5, 2018. [Online]. Available:

<https://us.profinet.com/technology/profinet/>