



Implementación de una red EtherNet/IP mediante el uso del protocolo industrial común de movimiento

Ivone Cecilia Torres Rodríguez¹, Pedro Francisco Huerta González², René Tolentino Eslava³

RESUMEN

En este trabajo se realiza la implementación del protocolo industrial común de movimiento sobre una red EtherNet/IP, ya que en la industria el control de movimiento de varios ejes generalmente utiliza sincronización basada en eventos, lo que requiere una entrega absoluta y programada de datos cíclicos críticos en el tiempo a través de la red. Para ello, en primer lugar, se realizó la integración de los dispositivos necesarios dentro de un sistema de control de movimiento, en base a diagramas de conexión y de distribución del sistema, a partir de eso, se realizan las configuraciones necesarias tanto de la arquitectura de conexión de los dispositivos, como de la configuración de cada uno de ellos para que puedan anexarse a la red EtherNet/IP y realizar la programación del sistema de control de movimiento. Por último, se realizan las pruebas físicas y de comunicación para corroborar que no se presenten fallas de funcionamiento. Dentro de estas pruebas se puede comprobar la funcionalidad del switch administrable, en donde a cada puerto se le asigna el dispositivo que se va a conectar dándole la prioridad en relación a la operación de cada nodo.

ABSTRACT

In this work, the implementation of the common industrial protocol of motion over an EtherNet/IP network is carried out, since in the industry the motion control of several axes generally uses event-based synchronization, which requires an absolute and programmed delivery of cyclical data. time-critical over the network. For this, in the first place, the integration of the necessary devices within a movement control system was carried out, based on connection and distribution diagrams of the system, from that, the necessary configurations of both the architecture and the connection of the devices, as well as the configuration of each one of them so that they can be attached to the EtherNet/IP network and carry out the programming of the movement control system. Finally, the physical and communication tests are carried out to verify that there are no malfunctions. Within these tests, the functionality of the manageable switch can be verified, where each

port is assigned the device to be connected, giving it priority in relation to the operation of each node.

Palabras claves: CIP Motion, Protocolo industrial, Servodrive, Servomotores.

INTRODUCCIÓN

En la industria moderna, las comunicaciones industriales son cada vez más indispensables, ya que los dispositivos necesitan transferir información de manera segura, rápida, eficiente, veloz y manejando en ciertas etapas del proceso una cantidad elevada de datos, es debida a esta necesidad que surge el Protocolo Industrial Común (CIP) motion (ODVA, 2021).

Actualmente son pocas las industrias que conocen y manejan el término de CIP Motion debido a que es una tecnología nueva, no obstante, es una herramienta útil e importante para el control de movimiento industrial, ya que ayuda a tener un proceso de alto rendimiento (ODVA, 2019).

El Protocolo Industrial Común es un protocolo desarrollado para aplicaciones industriales, el cual proporciona un método para organizar y representar datos, administrar conexiones y facilitar la mensajería en una red. Este, permite a los usuarios integrar aplicaciones de automatización, control, seguridad, sincronización y movimiento (Automation, 2022).

Es un protocolo donde los dispositivos están representados por un modelo de objetos, y los objetos específicos de la red definen cómo se configuran los parámetros, mientras que los objetos de comunicación proporcionan los medios para establecer comunicaciones y acceder a datos y servicios desde dispositivos a través de la red (Leurs, 2019).

DESARROLLO DEL PROTOTIPO

Se desarrollo un sistema de control de movimiento haciendo uso del protocolo CIP Motion, mediante la manipulación de dos servomotores y un motor trifásico de inducción, como se muestra en la figura 1.

Como se observa en la figura 1, para hacer esto posible se utilizó un controlador de automatización programable (PAC) CompactLogix L36ERM, el cual se comunicó mediante un puerto EtherNet/IP a un switch administrable (MOXA), enlazándose con dos servodrive Kinetix 350 que controlan a dos servomotores, un módulo remoto Point I/O y un variador de frecuencia PowerFlex 40 que controla aun motor de inducción, utilizando una topología de estrella.

¹ Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica-Zacatenco, Ingeniería en Control y Automatización. ictorres@ipn.mx, Maestra en Ciencias.

² Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica-Zacatenco, Ingeniería en Control y Automatización. phuerta@ipn.mx, Maestro en Ciencias.

³ Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica-Zacatenco, Ingeniería en Control y Automatización. rtolentino@ipn.mx, Maestro en Ciencias.



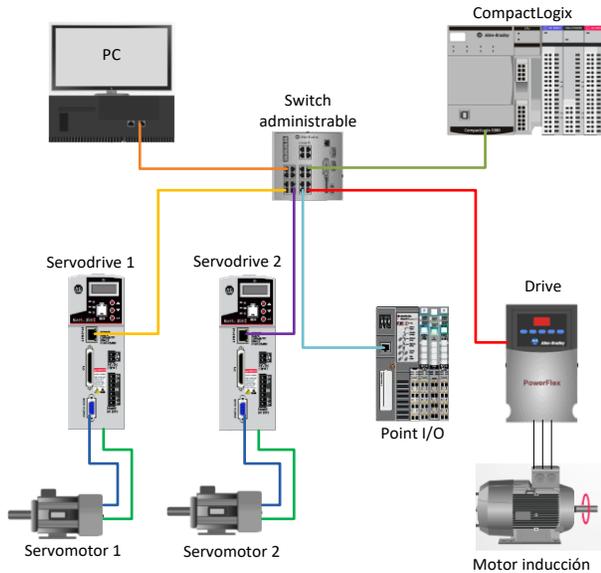


Figura 1.- Integración del prototipo.

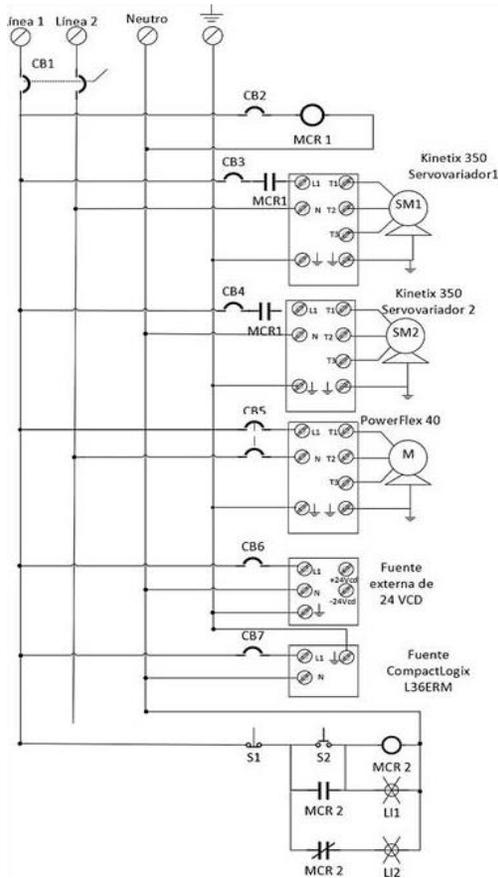


Figura 2.- Diagrama eléctrico de potencia.

Una vez seleccionados los dispositivos a utilizar en el sistema, se diseñaron los diagramas eléctricos. La alimentación principal consta de dos fases 127 V cada una, un neutro y una tierra. En la figura 2 se pueden apreciar las conexiones de los dos servodrive que se alimenta a 127 V y la conexión del variador de frecuencia a 220 V. Así mismo en esta figura se muestran las conexiones de la fuente externa de CD y la conexión de la fuente del PAC, así como el circuito de control que energiza las entradas del controlador. En la figura 3 se muestran los diagramas eléctricos de las entradas y salidas del PAC, que se alimentan a 24 V en corriente directa, los cuales se obtienen de la fuente externa que se instaló. Aquí se pueden apreciar las conexiones del switch administrable, del módulo remoto Point I/O, de las alimentaciones de los servodrive a 24 V y en general de las conexiones de las entradas y salidas.

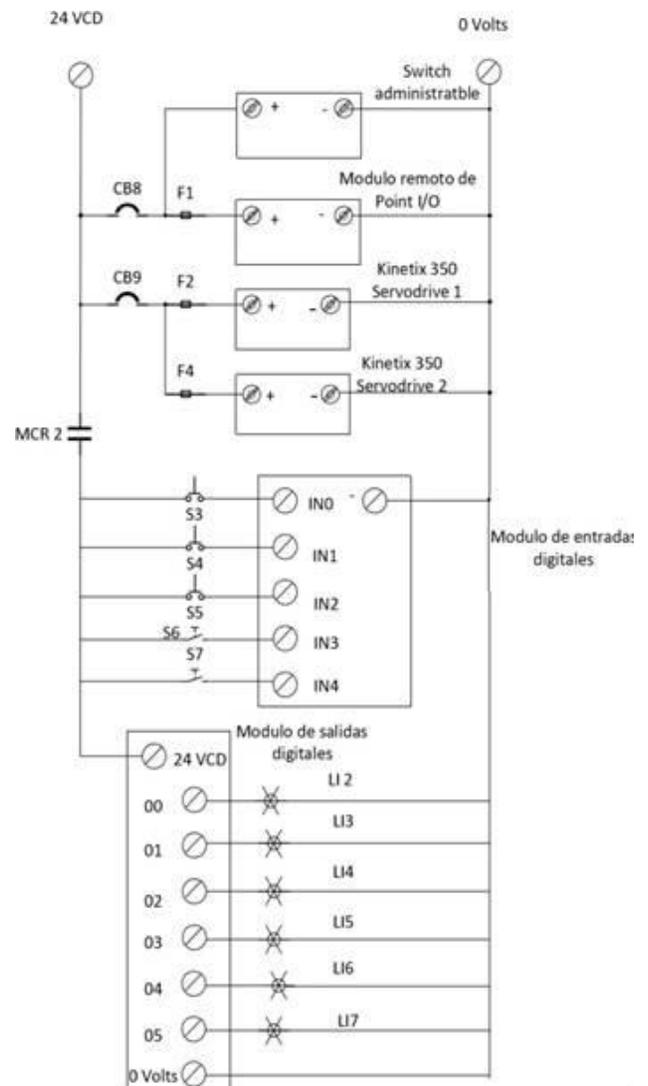


Figura 3.- Diagrama eléctrico de conexiones a 24V CD.



TOPOLOGÍA DE COMUNICACIÓN

Una vez armado y conectado el sistema de control de movimiento, se diseñó la estructura de comunicación de EtherNet/IP mediante la topología estrella con un Switch administrable, como se muestra en la figura 4.

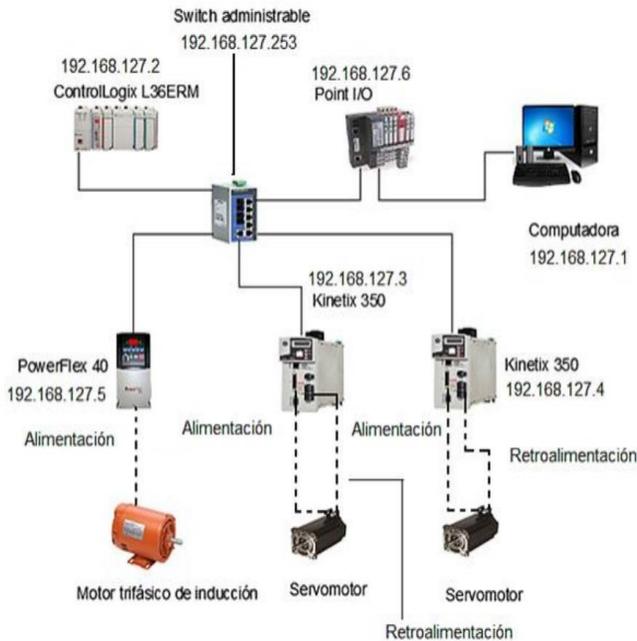


Figura 4.- Conexión de los dispositivos en topología estrella.

Para poder establecer la comunicación entre los dispositivos mediante una red EtherNet/IP, fue necesario que se encuentren en la misma red, por lo cual se asignaron las direcciones IP que se muestran en la Tabla 1 a cada uno de los dispositivos a través del software BOOTP/DHCP server.

Tabla 1.- Direcciones IP de los dispositivos de la red.

Dispositivo	MAC	Dirección IP
Computadora	6C:34:08:43:33:23	192.168.127.1
PAC	E4:90:69:A3:B2:FC	192.168.127.2
Servovariador 1	00:0C:61:02:19:45	192.168.127.3
Servovariador 2	00:0C:61:01:9E:78	192.168.127.4
Variador de frecuencia	00:00:BC:56:57:0B	192.168.127.5
Point I/O	E4:90:69:9F:82:4D	192.168.127.6
Switch administrable	00:AB:BC:56:83:5B	192.168.127.253

En el caso del switch administrable la asignación de su IP se realizó a través de la aplicación de web server de MOXA, en la cual también se realizaron las configuraciones de fecha, hora, velocidad de transferencia, habilitación de los puertos, medio de comunicación y de las direcciones IP de los equipos que pueden

tener acceso a él, como se muestra en la figura 5. También se realizó la configuración del protocolo con el que se va a trabajar, ya que de fábrica tiene habilitado el protocolo Modbus TCP, el cual se tiene que deshabilitar y habilitar el protocolo EtherNet/IP. El switch que se instala tiene un relé el cual se utiliza para dar advertencias a través de un led indicador rojo, que se enciende en caso de presentarse una falla. El relé se habilita solo si se pierde la conexión con alguno de los dispositivos que se asignaron a cada uno de los puertos, de igual forma se habilita si hay un exceso de tráfico en alguno de los puertos.

Port Settings

Port	Enable	Description	Name	Speed	FDX Flow Ctrl	MDI/MDIX
1	<input checked="" type="checkbox"/>	100TX,RJ45	CompactLogix	Auto	Enable	Auto
2	<input checked="" type="checkbox"/>	100TX,RJ45	ServoVariador 1	Auto	Enable	Auto
3	<input checked="" type="checkbox"/>	100TX,RJ45	ServoVariador 2	Auto	Enable	Auto
4	<input checked="" type="checkbox"/>	100TX,RJ45	Variador de frecuencia	Auto	Enable	Auto
5	<input checked="" type="checkbox"/>	100TX,RJ45	Point I/O	Auto	Enable	Auto

Figura 5.- Configuración de los puertos del Switch.

Una vez asignadas las IP de cada uno de los dispositivos, se utilizó el software RSLink Classic para configurar un driver para la red EtherNet/IP como se puede observar en la figura 6.

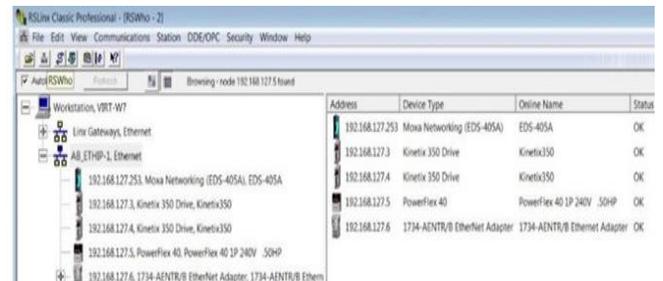


Figura 6.- Dispositivos de la red EtherNet/IP.

PROGRAMACIÓN

Para realizar la programación del controlador, primero se desarrollaron los diagramas de flujo para verificar la comunicación de los dispositivos y poder observar la transferencia de datos a través del switch administrable, para ello se crearon 3 rutinas diferentes: Rutina de partida, Rutina simple y Rutina triple.

La rutina de partida se creó con la intención de siempre poder partir del mismo punto para las rutinas simple y triple, esto debido a que los encoders de los servomotores son incrementales y no absolutos, por lo tanto, requieren de un punto de partida para iniciar una rutina. Lo que se hace en esta rutina es desplazar la base del eje lineal hasta la parte inferior, cuando lo detecta el sensor del límite inferior, este se desplaza 4 revoluciones hacia arriba y ahí se detiene. Después de esto el eje rotatorio empieza a girar en sentido de las manecillas del reloj, hasta el punto en donde lo detecta un sensor de proximidad y finalmente avanza 0.2 revoluciones más en el mismo sentido (figura 7).

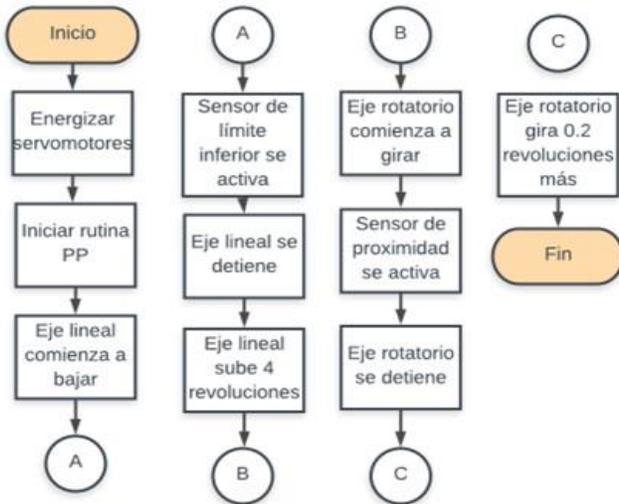


Figura 7.- Diagrama de flujo de la rutina punto de partida.

La rutina simple desplaza la base del eje lineal 2 revoluciones hacia abajo, después 2 revoluciones hacia arriba y posteriormente el eje rotatorio gira una revolución en sentido de las manecillas del reloj, esta rutina es cíclica por lo tanto esta se mantendrá haciendo lo mismo hasta que se oprima el botón de paro (figura 8).

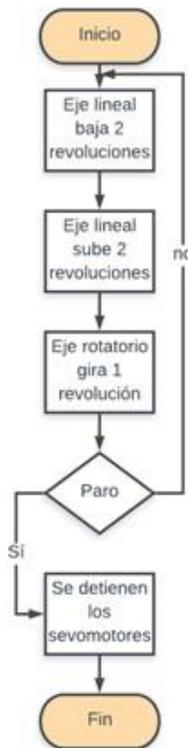


Figura 8.- Diagrama de flujo de la rutina simple.

La rutina triple comienza desplazando la base del eje lineal 2 revoluciones hacia abajo, después 2 revoluciones hacia arriba, comienza a girar el eje rotatorio en sentido de las manecillas del reloj 0.2 revoluciones, vuela a bajar y subir la base del eje lineal, posteriormente gira 0.2 revoluciones más el eje rotatorio en el mismo sentido, vuela a bajar y subir la base, finalmente gira 0.6 revoluciones el eje rotatorio en el mismo sentido, la rutina es cíclica por lo tanto esta se detendrá hasta que se presiones el botón de paro de ciclo (figura 9).

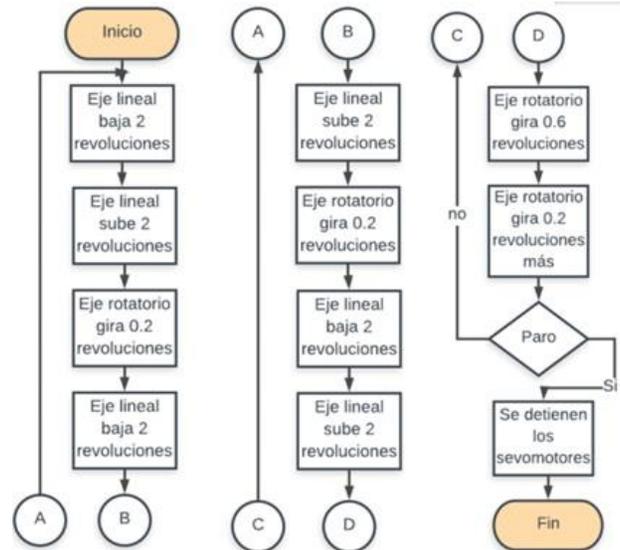


Figura 9.- Diagrama de flujo de la rutina triple.

Una vez teniendo las rutinas de operación, se realizó la programación en escalera en el software Studio 5000, donde previamente se agregaron las tarjetas que físicamente tiene el PAC, como se observa en la figura 10 en la sección del 1769 Bus.

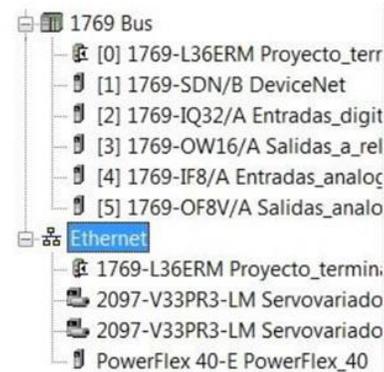


Figura 10.- Dispositivos dados de alta en el PAC.

Asimismo, en el proyecto se seleccionó el procesador del controlador y se dieron de alta los servodrivs y servomotores así



como el variador de velocidad todos ellos a través de la tarjeta de comunicación Ethernet, como se observa en la figura 10.

Posteriormente se creó el grupo de movimiento llamado “Ejes_del_prototipo” para manipular los dos servomotores, como se observa en la figura 11, en este caso un eje fue rotatorio y el otro vertical ya que de esa forma estaban acoplados los servomotores al modelo que se utilizó.



Figura 11.- Grupo de movimiento.

En el proyecto también se dio de alta el switch de la misma forma que los dispositivos anteriores, para esto se fue a la sección de comunicaciones y se seleccionó el módulo de Ethernet genérico como se puede observar en la figura 12.

Catalog Number	Description	Vendor	Category
DataMan 300 Series	ID Reader	Cognex Corp...	Communication
DataMan 500 Series	ID Reader	Cognex Corp...	Communication
DataMan 8000 Series	ID Reader	Cognex Corp...	Communication
Drivelogix5730 Ether...	10/100 Mbps Ethernet Port on DriveLogix5730	Allen-Bradley	Communication
E1 Plus	Electronic Overload Relay Communications...	Allen-Bradley	Communication
EtherNet/IP	SoftLogix5800 EtherNet/IP	Allen-Bradley	Communication
ETHERNET-BRIDGE	Generic EtherNet/IP CIP Bridge	Allen-Bradley	Communication
ETHERNET-MODU	Generic Ethernet Module	Allen-Bradley	Communication
ILX34-AENWG	1734 Wireless Ethernet Adapter, Twisted-P...	Prosoft Tech...	Communication
IND131 Ethernet/IP	Scale Terminal	Mettler-Toledo	Communication
IND560 Ethernet/IP	Scale Terminal	Mettler-Toledo	Communication

Figura 12.- Selección del módulo Ethernet para el switch.

Luego de haber dado de alta todos los dispositivos que conforman la red EtherNet/IP se prosiguió a importar la instrucción Add-On, esta es otra de sus ventajas del Switch ya que se puede descargar esta instrucción desde el sitio web oficial de MOXA sin ningún costo. Mediante esta instrucción se puede configurar el switch sin la necesidad de ingresar a la consola web, de igual forma se pueden utilizar los parámetros de este para que se tomen decisiones dentro de la programación.

Después de haber importado la instrucción, automáticamente aparece en la pestaña de las instrucciones Add-On, el cual se configuro con los parámetros que se muestra en la figura 13 (Bradley,2020).



Figura 13.- Instrucción Add-On con tags asignadas.

En la memoria global (controller tags) se pueden visualizar los parámetros del switch, (figura 14), dentro de este se encuentran todos los tags que se utilizan para configurar los datos generales del switch así como las advertencias por alguna falla del mismo.

Name	Value
moxa_param.Switch_Idnetity	{...}
+ moxa_param.Switch_Idnetity.Vendor_ID	991
+ moxa_param.Switch_Idnetity.Device_Type	775
+ moxa_param.Switch_Idnetity.Product_Code	7
+ moxa_param.Switch_Idnetity.Major_Revision	0
+ moxa_param.Switch_Idnetity.Minor_Revision	0
+ moxa_param.Switch_Idnetity.Serial_Number	16#0000_259d
+ moxa_param.Switch_Idnetity.Product_Name	'EDS-408A'
+ moxa_param.Switch_Idnetity.Assigned_Na...	''
+ moxa_param.Switch_Idnetity.Geographic_...	''
+ moxa_param.Switch_TCPIP	{...}
moxa_param.Switch_Vendor	{...}
+ moxa_param.Switch_Vendor.System_Firm...	524291
+ moxa_param.Switch_Vendor.System_Fault...	8192
+ moxa_param.Switch_Vendor.Switch_Port...	0
+ moxa_param.Switch_Vendor.Port_Exist	{...}
+ moxa_param.Switch_Vendor.Port_Enbale	{...}
+ moxa_param.Switch_Vendor.Port_Link_St...	{...}
+ moxa_param.Switch_Vendor.IGMP_Snoop...	0
+ moxa_param.Switch_Vendor.Query_Interval	125
+ moxa_param.Switch_Vendor.IGMP_Enhan...	0
+ moxa_param.Switch_Vendor.Relay_1	0
+ moxa_param.Switch_Vendor.Relay_2	0

Figura 14.- Tags del switch administrable.

PRUEBAS Y RESULTADOS

Las primeras pruebas realizadas fueron de medición eléctrica, para comprobar que todos los equipos estuvieran alimentados de forma



correcta. Se midió la tensión eléctrica de entrada de cada dispositivo con un multímetro.

En la figura 15 se muestra la prueba de tensión en el servodrive, en esta se muestra la alimentación a 127 V de corriente alterna en la etapa de potencia.



Figura 15.- Prueba de tensión en el servodrive 1.

Las siguientes pruebas realizadas fueron las de las secuencias de programación para comprobar el funcionamiento del sistema y así poder detectar fallas o anomalías que se pudieran presentar en alguna de las rutinas, en la figura 16 se observa la prueba de la rutina para el desplazamiento del eje lineal y del eje rotatorio.

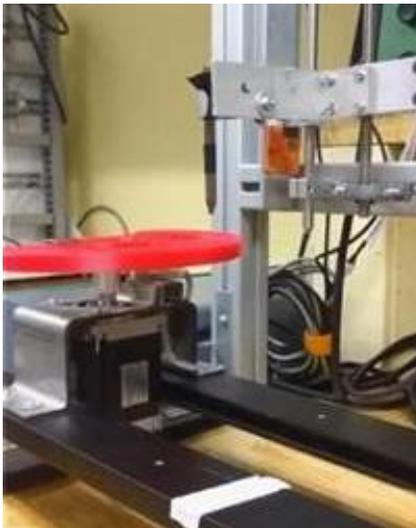
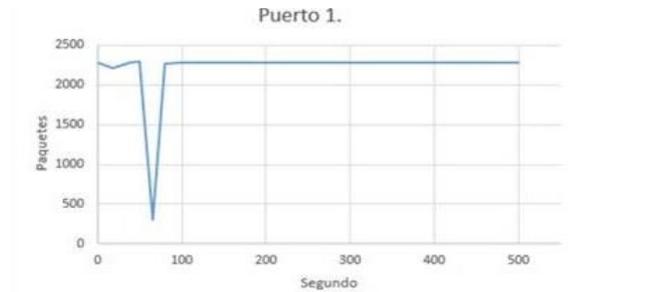


Figura 16.- Prueba de desplazamiento del eje lineal y rotacional.

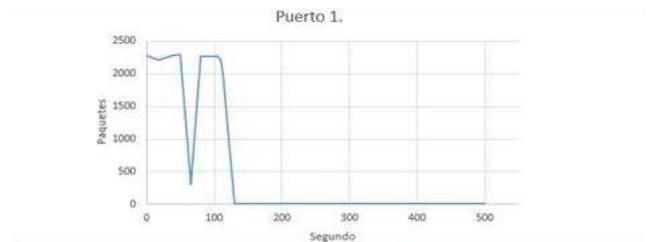
Una vez realizadas las pruebas de las secuencias de programación se realizaron las pruebas de la transferencia de datos en tiempo real en cada uno de los puertos del switch administrable. Para poder realizar la prueba es necesario desconectar físicamente el cable del puerto 1. En la figura 17 se muestra una gráfica de la transferencia de datos cuando hay comunicación con el dispositivo.



Port	Interface	Line swap	Link	Speed	MDIX	Traffic	IP of connected device
1	10/100M Tx	Enable	On	100M-Full MDI	1%	NA	NA

Figura 17.- Gráfica de transferencia de datos con comunicación.

Asimismo, en la figura 18 se muestra una gráfica de la transferencia de datos cuando se pierde la comunicación con el dispositivo.



Port	Interface	Line swap	Link	Speed	MDIX	Traffic	IP of connected device
1	10/100M Tx	Enable	Off	---	---	0%	NA

Figura 18.- Gráfica de transferencia de datos sin comunicación.

En el apartado de advertencias de la consola web se puede observar cómo indica que se perdió la conexión (figura 19)

Current Warning List		
Index	Event	Relay
1	Port 1 Link Off 1	1

Figura 19.- Advertencia en consola web.

Además, mediante el software RSLinx Classic se observa cómo se pierde la comunicación con el dispositivo (figura 20), también se aprecia que la comunicación con el resto de los dispositivos permanece, pero en este caso como el dispositivo que se encuentra en el puerto 1 es el PAC, los demás dispositivos se van a falla directamente y la rutina se detiene.



Figura 20.- Pérdida de comunicación RSLinx.



Otra prueba que se realizó con el switch fue la variación del límite de datos que puede transferir un puerto, en este caso en el puerto del PAC es donde mayor transferencia de datos había, debido a que la cantidad de datos que envía y recibe, son mayor que las de los otros dispositivos en la red, por lo tanto, el tráfico que había en el puerto 1 es del 1% (figura 21)

Index	Event	Relay
1	Port 1 Traffic overload!	1

Figura 21.- Tráfico en el puerto 1.

Una de las ventajas de usar un switch administrable es que se puede controlar y dar prioridad al tráfico de datos, y así como este advierte cuando se pierde la conexión con algún dispositivo o cuando el canal del puerto se empieza a saturar de información. En el área de priorización de tráfico se encuentra la opción de ajustes de limitación de velocidad de tráfico, en el cual se seleccionó la velocidad de transmisión de datos de cada puerto dependiendo si la priorización es alta, mediana, normal o baja, en este apartado se modifican todas las velocidades de todas las prioridades como se observa en la figura 22.

Port	Policy	Ingress Priority Queue Rate			
		Low	Normal	Medium	High
1	Limit Broadcast, Multicast, Flooded Unicast	2M	4M	8M	16M
2	Limit Broadcast, Multicast, Flooded Unicast	1M	2M	4M	8M
3	Limit Broadcast, Multicast, Flooded Unicast	256K	512K	1M	1M
4	Limit Broadcast, Multicast, Flooded Unicast	256K	256K	512K	512K
5	Limit Broadcast, Multicast, Flooded Unicast	128K	128K	256K	512K

Figura 22.- Priorización de los puertos.

CONCLUSIONES

El protocolo industrial común de movimiento es eficiente y brinda diversos beneficios en aplicaciones de movimiento, donde se requiere un posicionamiento mecánico preciso y controlado mediante el uso de variadores de frecuencia y servovariadores, este protocolo permite operar distintos ejes de movimiento a la vez. Para comprobar la aplicación que tiene CIP Motion se conectaron los dispositivos en una topología de estrella, por medio del software RSLinx Classic se visualizó la comunicación de los dispositivos en la red, posteriormente en la consola del switch administrable se observó la transferencia de datos que se llevaba a cabo cuando se ejecutaban las secuencias de programación. Mediante las pruebas se observó que al desconectarse alguno de los dispositivos de la red, el resto de los dispositivos seguían comunicándose sin presentar algún error y continuaban con sus tareas programadas.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Automation, R. (2022). Integrated Motion on the EtherNet/IP. Rockwell Automation.

Bradley, A. (2020). Manual de referencia. Instrucciones generales de los controladores Logix 5000. Rockwell Software.

Leurs, L. (2019). Application of CIP Safety for functional safety in motion applications. Rockwell Automation.

ODVA. (2019). The Common Industrial Protocol. ODVA.

ODVA. (2022). Common Industrial Protocol (CIP) and the family. ODVA.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Ivone Cecilia Torres Rodríguez: Ingeniera en Control y Automatización de ESIME Zacatenco, IPN. M. en C. en Ingeniería Eléctrica por la SEPI ESIME Zacatenco del IPN. Profesora titular del departamento de Ingeniería en Control y Automatización de la ESIME Zacatenco.

Pedro Francisco Huerta González: Ingeniero Electricista de ESIME Zacatenco, IPN. M. en C. en Ingeniería Eléctrica, SEPI ESIME Zacatenco, IPN. Profesor titular del departamento de Ingeniería en Control y Automatización de la ESIME Zacatenco.

René Tolentino Eslava: Ingeniero Mecánico de ESIME Azcapotzalco, IPN. M. en C. en Ingeniería Mecánica por la SEPI, ESIME Zacatenco, IPN. Profesor titular del departamento de Ingeniería en Control y Automatización de la ESIME Zacatenco.