**3.1.- Tecnologías utilizadas y tendencias**

**3.1.1.- Controladores lógicos programables**

Un controlador lógico programable, autómata programable o por sus siglas en inglés, PLC (*Programmable Logic Controller*) es un tipo especial de controlador, el cual está basado en un microprocesador y utiliza una memoria programable para almacenar instrucciones e implementar funciones como lógica, secuenciación, temporización, conteo y aritmética para controlar máquinas y procesos (Bolton, 2007). El autor usa el término “lógica” por la naturaleza de programación de estos controladores, el cual está orientado a la implementación de operaciones basadas en la lógica binaria.

La lógica binaria funciona con variables que únicamente pueden asumir 2 valores, los cuales se representan comúnmente con 1 y 0, y a partir de ello se pueden realizar operaciones que dan origen a funciones lógicas o de conmutación, a partir de las cuales se representa la relación entre las entradas y salidas del propio circuito. Un ejemplo sencillo de esto es con dos entradas llamadas A y B, si se activara alguna de ellas, se activa una salida C y en el caso de activarse ambas de forma simultánea, se activa una salida D.

En el caso de un PLC, el conjunto de estas funciones da origen a una instrucción, y una secuencia de instrucciones dan por origen a un programa, el cual es cargado y almacenado en la memoria del PLC para monitorizar las entradas y salidas y ejecutar las reglas de control establecidas en la programación lógica del programa que se encuentra almacenado en su memoria. Por lo tanto, en caso de requerir un cambio en un sistema de control, ya sea porque las necesidades cambiaron o porque la lógica está funcionando mal, simplemente se necesita realizar un programa nuevo y cargarlo al PLC, dando como resultado un sistema flexible y rentable.

Un PLC cuenta con los siguientes componentes funcionales básicos:

* CPU: Es la unidad procesadora o central del microprocesador. Se encarga de interpretar las señales de entrada y salida y ejecutar las acciones de control según el programa almacenado.
* Fuente de alimentación: Convierte la tensión de CA de alimentación (110/220 V) a baja tensión de CC (5 V), que es el nivel de trabajo del procesador y los circuitos en los módulos de entrada y salida.
* Dispositivo de programación: Necesario para crear el programa y cargarlo al PLC. Puede ser el mismo PLC, una PC o laptop o incluso dispositivos especializados.
* Unidad de memoria: Donde se almacena el programa que se utilizará para las acciones de control realizadas por el microprocesador y los datos almacenados para su procesamiento.
* Secciones de entrada y salida: Puntos de conexión entre el PLC y dispositivos externos que interactúan entre ellos, ya sea para enviar información al PLC o recibirla.
* Interfaces de comunicación: Se usan para transmitir datos en redes de comunicación desde o hacia PLCs remotos u otros dispositivos compatibles, para la verificación de dispositivos, adquisición de datos o la gestión del sistema.

**3.1.2.- Red de comunicaciones**

Una red de comunicaciones es “un conjunto de dispositivos con capacidad de comunicación que pueden intercambiar información a distancia” (Alonso-Zárate, s. f.), además, una red está formada por tres tipos de elementos:

* Equipos finales: Ordenadores, PLCs o dispositivos compatibles que sirven como origen y destino de información.
* Equipos intermedios: Sirven para cumplir funciones específicas y esenciales en la red, por ejemplo, amplificar las señales, adaptar protocolos, implementar medidas de seguridad o concentrar y tratar datos.
* Enlaces: Permiten la conexión entre los equipos, pueden ser por cable (coaxial, fibra óptica, etc.) o mediante radio enlaces (mediante antenas y ondas electromagnéticas).

También es importante entender las formas básicas que puede adoptar una red, según Bolton (2007) son las siguientes:

* Estrella: Cada terminal está conectado directamente a un *host*, al cual comúnmente se conoce como maestro y a los terminales se les denomina esclavos. El *host* contiene la memoria, procesamiento y equipos de conmutación para la comunicación y mediante este se accede a los terminales preguntando por turnos si quieren intercambiar información.
* Bus: Cada terminal está conectado a un solo cable transmisor, por lo que cada equipo tiene una conexión directa al resto de equipos de la red. Para esta topología de red se debe considerar que el intercambio de información sea ordenado, ya que el envío de información de un dispositivo es simultáneo al resto de dispositivos, por lo que no puede haber dos dispositivos enviando información al mismo tiempo ya que se produciría una colisión.
* Anillo: En este tipo de red, los equipos están conectados entre sí formando un circuito cerrado. La diferencia respecto a la topología de bus es que en esta topología la información se transmite de nodo a nodo de forma unidireccional y no de forma simultánea, lo que la hace menos susceptible a colisiones. Cuando un equipo recibe su propio mensaje, este es eliminado de la red.

Las posibilidades para contar con una red son bastante amplias, en la actualidad se cuenta con distintas tecnologías y protocolos que permiten y facilitan la implementación de estas, y cada una cuenta con sus ventajas y desventajas respecto a las otras, por ejemplo, las redes inalámbricas permiten crear redes más grandes y flexibles, sin embargo, una red cableada es más estable, rápida y segura. Adicional a esto, existen diferentes protocolos para la comunicación entre los equipos conectados en una red, esto puede entenderse como el idioma que hablan entre sí, algunos ejemplos son Modbus, Profibus o Ethernet/IP. Cuando esta tecnología empezó a posicionarse, fue necesaria una estandarización, es por eso que en 1979 la Organización Internacional de Normalización (ISO) estableció el modelo OSI (*open systems interconnect*) (publicada formalmente en 1984 en la ISO 7498). Este modelo propone un diseño de redes por capas, las cuales son:

* Capa física: Transmite la información a través del medio físico.
* Capa de enlace de datos: Transmite información entre nodos en una red local.
* Capa de red: Enruta la información entre redes.
* Capa de transporte: Proporciona la entrega de datos de forma fiable.
* Capa de sesión: Establece, mantiene y termina las sesiones de comunicación.
* Capa de presentación: Formatea la información para que sea entendible por la aplicación.
* Capa de aplicación: Proporciona servicios a las aplicaciones.

A partir de este modelo nació el modelo TCP/IP, el cual es una simplificación del modelo OSI y se distinguen cuatro capas:

* Capa interfaz de red: Incluye las capas 1 y 2 del modelo de referencia de la OSI.
* Capa de red o internet (protocolo IP): Coincide con la capa 3 del modelo de referencia OSI.
* Capa de transporte (protocolos TCP/UDP): Coincide con la capa 4 del modelo de referencia OSI.
* Capa de aplicación: Incluye los niveles 5, 6 y 7 de la torre OSI.

Si bien el modelo TCP/IP es conocido por ser el protocolo para conectarse a internet desde cualquier dispositivo, también es utilizado en industria en protocolos como Modbus o Ethernet. Otros protocolos como el AS-i aún usan el modelo OSI pero reduciendo las capas únicamente a aquellas que son realmente necesarias para el propósito del protocolo.

**3.1.3.- SCADA**

Un sistema SCADA, por sus siglas en inglés *Supervisory Control and Data Acquisition* hace referencia a un sistema compuesto por varias unidades terminales remotas que recopilan datos de campo y están conectadas a una estación maestra. En la estación maestra se puede ver los datos adquiridos y permite al operador realizar tareas de control (Bailey & Wright, 2003). Estos sistemas cuentan con gran eficiencia, fiabilidad y seguridad en sus operaciones, además de ser un sistema remoto, lo que permite el control de procesos sin la necesidad de estar presente en el campo o planta donde se encuentra el proceso controlado.

**3.2.- Comparación de tecnologías**

**3.2.1.- PLCs**

Los PLC seleccionados para la comparación y las características a comparar se ven en la siguiente tabla:



**3.2.2.- Protocolos de comunicación**

Se comparan los protocolos de comunicación desarrollados por Siemens en la siguiente tabla:



**Bibliografía**

Alonso-Zárate, J. (s. f.). *Redes de comunicación*.

Bailey, D., & Wright, E. (2003). *Practical SCADA for industry*. Elsevier.

Bolton, W. (2007). *Programmable logic controllers* (4th ed). Elsevier.

Organización Internacional de Normalización/Comisión Electrotécnica Internacional. (1994). Information technology - Open Systems Interconnection - Basic Reference Model: The Basic Model [Tecnología de la información - Interconexión de sistemas abiertos - Modelo básico de referencia: El modelo básico] (ISO/IEC 7498-1). **3.1.- Tecnologías utilizadas y tendencias**

**3.1.1.- Controladores lógicos programables**

Un controlador lógico programable, autómata programable o por sus siglas en inglés, PLC (*Programmable Logic Controller*) es un tipo especial de controlador, el cual está basado en un microprocesador y utiliza una memoria programable para almacenar instrucciones e implementar funciones como lógica, secuenciación, temporización, conteo y aritmética para controlar máquinas y procesos (Bolton, 2007). El autor usa el término “lógica” por la naturaleza de programación de estos controladores, el cual está orientado a la implementación de operaciones basadas en la lógica binaria.

La lógica binaria funciona con variables que únicamente pueden asumir 2 valores, los cuales se representan comúnmente con 1 y 0, y a partir de ello se pueden realizar operaciones que dan origen a funciones lógicas o de conmutación, a partir de las cuales se representa la relación entre las entradas y salidas del propio circuito. Un ejemplo sencillo de esto es con dos entradas llamadas A y B, si se activara alguna de ellas, se activa una salida C y en el caso de activarse ambas de forma simultánea, se activa una salida D.

En el caso de un PLC, el conjunto de estas funciones da origen a una instrucción, y una secuencia de instrucciones dan por origen a un programa, el cual es cargado y almacenado en la memoria del PLC para monitorizar las entradas y salidas y ejecutar las reglas de control establecidas en la programación lógica del programa que se encuentra almacenado en su memoria. Por lo tanto, en caso de requerir un cambio en un sistema de control, ya sea porque las necesidades cambiaron o porque la lógica está funcionando mal, simplemente se necesita realizar un programa nuevo y cargarlo al PLC, dando como resultado un sistema flexible y rentable.

Un PLC cuenta con los siguientes componentes funcionales básicos:

* CPU: Es la unidad procesadora o central del microprocesador. Se encarga de interpretar las señales de entrada y salida y ejecutar las acciones de control según el programa almacenado.
* Fuente de alimentación: Convierte la tensión de CA de alimentación (110/220 V) a baja tensión de CC (5 V), que es el nivel de trabajo del procesador y los circuitos en los módulos de entrada y salida.
* Dispositivo de programación: Necesario para crear el programa y cargarlo al PLC. Puede ser el mismo PLC, una PC o laptop o incluso dispositivos especializados.
* Unidad de memoria: Donde se almacena el programa que se utilizará para las acciones de control realizadas por el microprocesador y los datos almacenados para su procesamiento.
* Secciones de entrada y salida: Puntos de conexión entre el PLC y dispositivos externos que interactúan entre ellos, ya sea para enviar información al PLC o recibirla.
* Interfaces de comunicación: Se usan para transmitir datos en redes de comunicación desde o hacia PLCs remotos u otros dispositivos compatibles, para la verificación de dispositivos, adquisición de datos o la gestión del sistema.

**3.1.2.- Red de comunicaciones**

Una red de comunicaciones es “un conjunto de dispositivos con capacidad de comunicación que pueden intercambiar información a distancia” (Alonso-Zárate, s. f.), además, una red está formada por tres tipos de elementos:

* Equipos finales: Ordenadores, PLCs o dispositivos compatibles que sirven como origen y destino de información.
* Equipos intermedios: Sirven para cumplir funciones específicas y esenciales en la red, por ejemplo, amplificar las señales, adaptar protocolos, implementar medidas de seguridad o concentrar y tratar datos.
* Enlaces: Permiten la conexión entre los equipos, pueden ser por cable (coaxial, fibra óptica, etc.) o mediante radio enlaces (mediante antenas y ondas electromagnéticas).

También es importante entender las formas básicas que puede adoptar una red, según Bolton (2007) son las siguientes:

* Estrella: Cada terminal está conectado directamente a un *host*, al cual comúnmente se conoce como maestro y a los terminales se les denomina esclavos. El *host* contiene la memoria, procesamiento y equipos de conmutación para la comunicación y mediante este se accede a los terminales preguntando por turnos si quieren intercambiar información.
* Bus: Cada terminal está conectado a un solo cable transmisor, por lo que cada equipo tiene una conexión directa al resto de equipos de la red. Para esta topología de red se debe considerar que el intercambio de información sea ordenado, ya que el envío de información de un dispositivo es simultáneo al resto de dispositivos, por lo que no puede haber dos dispositivos enviando información al mismo tiempo ya que se produciría una colisión.
* Anillo: En este tipo de red, los equipos están conectados entre sí formando un circuito cerrado. La diferencia respecto a la topología de bus es que en esta topología la información se transmite de nodo a nodo de forma unidireccional y no de forma simultánea, lo que la hace menos susceptible a colisiones. Cuando un equipo recibe su propio mensaje, este es eliminado de la red.

Las posibilidades para contar con una red son bastante amplias, en la actualidad se cuenta con distintas tecnologías y protocolos que permiten y facilitan la implementación de estas, y cada una cuenta con sus ventajas y desventajas respecto a las otras, por ejemplo, las redes inalámbricas permiten crear redes más grandes y flexibles, sin embargo, una red cableada es más estable, rápida y segura. Adicional a esto, existen diferentes protocolos para la comunicación entre los equipos conectados en una red, esto puede entenderse como el idioma que hablan entre sí, algunos ejemplos son Modbus, Profibus o Ethernet/IP. Cuando esta tecnología empezó a posicionarse, fue necesaria una estandarización, es por eso que en 1979 la Organización Internacional de Normalización (ISO) estableció el modelo OSI (*open systems interconnect*) (publicada formalmente en 1984 en la ISO 7498). Este modelo propone un diseño de redes por capas, las cuales son:

* Capa física: Transmite la información a través del medio físico.
* Capa de enlace de datos: Transmite información entre nodos en una red local.
* Capa de red: Enruta la información entre redes.
* Capa de transporte: Proporciona la entrega de datos de forma fiable.
* Capa de sesión: Establece, mantiene y termina las sesiones de comunicación.
* Capa de presentación: Formatea la información para que sea entendible por la aplicación.
* Capa de aplicación: Proporciona servicios a las aplicaciones.

A partir de este modelo nació el modelo TCP/IP, el cual es una simplificación del modelo OSI y se distinguen cuatro capas:

* Capa interfaz de red: Incluye las capas 1 y 2 del modelo de referencia de la OSI.
* Capa de red o internet (protocolo IP): Coincide con la capa 3 del modelo de referencia OSI.
* Capa de transporte (protocolos TCP/UDP): Coincide con la capa 4 del modelo de referencia OSI.
* Capa de aplicación: Incluye los niveles 5, 6 y 7 de la torre OSI.

Si bien el modelo TCP/IP es conocido por ser el protocolo para conectarse a internet desde cualquier dispositivo, también es utilizado en industria en protocolos como Modbus o Ethernet. Otros protocolos como el AS-i aún usan el modelo OSI pero reduciendo las capas únicamente a aquellas que son realmente necesarias para el propósito del protocolo.

**3.1.3.- SCADA**

Un sistema SCADA, por sus siglas en inglés *Supervisory Control and Data Acquisition* hace referencia a un sistema compuesto por varias unidades terminales remotas que recopilan datos de campo y están conectadas a una estación maestra. En la estación maestra se puede ver los datos adquiridos y permite al operador realizar tareas de control (Bailey & Wright, 2003). Adicionalmente a esto, un sistema SCADA permite también el almacenamiento de datos, lo que permite hacer análisis o informes históricos con los registros. Estos sistemas cuentan con gran eficiencia, fiabilidad y seguridad en sus operaciones, además de ser un sistema remoto, lo que permite el control de procesos sin la necesidad de estar presente en el campo o planta donde se encuentra el proceso controlado.

Las características principales de un sistema SCADA son:

* Interfaz de usuario
* Visualización de gráficos
* Alarmas
* Tendencias
* Interfaz RTU (y PLC)
* Escalabilidad
* Acceso a datos
* Base de datos
* Redes
* Tolerancia a fallos y redundancia
* Procesamiento distribuido cliente/servidor

Según la corporación RT Engineering (2023), son necesarios los siguientes componentes para la implementación de un sistema SCADA:

* Dispositivos de campo y RTU (Unidades Terminales Remotas): Son unidades independientes destinadas a la adquisición y control de datos para enviarlos a la estación central.
* PLCs: Son fundamentales en un sistema SCADA, sobre todo para la automatización de procesos. Se encargan del control lógico de los procesos industriales.
* Red de comunicaciones: Se encarga de transmitir la información entre los dispositivos del sistema a controlar.
* Estación maestra: Es la estación central del sistema y se puede identificar como el cerebro del sistema. Recopila datos del proceso y los procesa para tomar decisiones basadas en los datos. Además, permite al operador visualizar los datos y controlar de forma manual y remota los procesos controlados por el sistema SCADA.
* HMI (Interfaz Hombre-Máquina): Representa visualmente el sistema. Usualmente con pantallas táctiles que permiten al operador supervisar el estado del proceso, recibir alertas y controlar el sistema según sea necesario. Es importante que sean fáciles e intuitivas de usar.
* Software SCADA: Es una aplicación que se ejecuta en la estación maestra. Esta aplicación interactúa con absolutamente todo el sistema y se encarga también de almacenar los datos históricos para su posterior análisis e informes. Algunos softwares modernos son capaces de hacer análisis sofisticados y modelado predictivo, siendo una gran ventaja para el sistema.

**3.2.- Comparación de tecnologías**

**3.2.1.- PLCs**

Los PLC seleccionados para la comparación y las características a comparar se ven en la siguiente tabla:



**3.2.2.- Protocolos de comunicación**

Se comparan los protocolos de comunicación desarrollados por Siemens en la siguiente tabla:



**Bibliografía**

Alonso-Zárate, J. (s. f.). *Redes de comunicación*.

Bailey, D., & Wright, E. (2003). *Practical SCADA for industry*. Elsevier.

Bolton, W. (2007). *Programmable logic controllers* (4th ed). Elsevier.

Organización Internacional de Normalización/Comisión Electrotécnica Internacional. (1994). Information technology - Open Systems Interconnection - Basic Reference Model: The Basic Model [Tecnología de la información - Interconexión de sistemas abiertos - Modelo básico de referencia: El modelo básico] (ISO/IEC 7498-1).

*The Ultimate Guide to Understanding and Implementing SCADA Systems | RT Engineer*. (2023, mayo 16). RT Engineering. https://www.rteng.com/blog/understanding-and-implementing-scada-systems