

Índice general

Resumen	I
1. Introducción general	1
1.1. Servicios de planta	1
1.2. Motivación	2
1.3. Estado del arte	4
1.3.1. Orígenes	4
1.4. Objetivos y alcances	7
2. Introducción específica	9
2.1. Protocolos de comunicación	9
2.1.1. SPI <i>Serial Peripheral Interface</i>	9
2.1.2. I2C <i>Inter Integrated Circuit</i>	10
Bibliografía	11

Índice general

Resumen	I
1. Introducción general	1
1.1. Servicios de planta	1
1.2. Motivación	2
1.3. Estado del arte	4
1.3.1. Orígenes	4
1.4. Objetivos y alcances	7
2. Introducción específica	9
2.1. Protocolos de comunicación	9
2.1.1. SPI	9
2.1.2. I2C	10
2.1.3. UART	10
2.1.4. LoRa	11
2.1.5. ModBUS TCP	11
2.1.6. HTTP	12
2.1.7. Wi-Fi	12
2.1.8. MQTT	13
2.2. Tecnologías de backend	14
2.2.1. NodeJS	14
2.2.2. Express	14
2.3. Tecnologías de frontend	15
2.3.1. Ionic	15
2.3.2. Highcharts	15
2.4. Dispositivos <i>hardware</i>	16
2.4.1. ESP32	16
2.4.2. STM32	17
2.5. Herramientas utilizadas	18
2.5.1. Visual Studio Code	18
2.5.2. STM32 Cube IDE	19
2.5.3. Postman	19
2.5.4. phpMyAdmin	19
2.5.5. Wireshark	19
Bibliografía	21

Índice de figuras

1.1. Línea de blisteado y estuchado. ¹	1
1.2. Planta purificadora de agua de ósmosis inversa.	2
1.3. Distribución de los servicios en planta.	3
1.4. Primera generación de SCADA, estructura monolítica.[1]	4
1.5. Segunda generación de SCADA, estructura distribuida.[1]	5
1.6. Tercera generación de SCADA, estructura en red.[1]	5
1.7. Estructura básica de un SCADA. ²	6
2.1. Conexión entre dispositivos SPI maestro - esclavo.	9
2.2. Bus de conexión de dispositivos I2C.	10

Índice de figuras

1.1. Línea de blisteado y estuchado. ¹	1
1.2. Planta purificadora de agua de ósmosis inversa.	2
1.3. Distribución de los servicios en planta.	3
1.4. Primera generación de SCADA, estructura monolítica.[1]	4
1.5. Segunda generación de SCADA, estructura distribuida.[1]	5
1.6. Tercera generación de SCADA, estructura en red.[1]	5
1.7. Estructura básica de un SCADA. ²	6
2.1. Conexión entre dispositivos SPI maestro - esclavo.	9
2.2. Bus de conexión de dispositivos I2C.	10
2.3. Conexión entre dispositivos UART[2].	10
2.4. Modulación CSS.	11
2.5. Arquitectura de comunicación ModBUS TCP.	11
2.6. Métodos HTTP de uso frecuente.	12
2.7. Evolución de la tecnología Wi-Fi. ³	13
2.8. Modelo de publicación y suscripción. ⁴	13
2.9. Arquitectura NodeJS.	14
2.10. Modelo de aplicación capacitor.	15
2.11. Gráficos disponibles en librería <i>Highcharts</i> . ⁵	16
2.12. Indicadores disponibles en librería <i>Highcharts</i>	16
2.13. Montaje de módulo ESP32	17
2.14. Módulo STM32	18
2.15. Módulos de comunicación adicionales	18
2.16. Interfaz STLINK V2	19

- Agua helada / purificada.
- Aire comprimido.

1.2. Motivación

El departamento de mantenimiento de planta se encuentra formado por tres sectores: servicios, mecánica y electrónica.

Los servicios de planta son un componente fundamental para su funcionamiento. El departamento de servicios entre otras tareas se encarga de asegurar y mantener su provisión. Algunos de estos se detallan a continuación:

- Potencia eléctrica.
- Gas Natural.
- Vapor industrial / sanitario.
- Agua potable / purificada y agua para la producción de inyectables.
- Aire comprimido.
- Efluentes cloacales / industriales.
- Mantenimiento de edificio, luminarias, etcétera.

La producción de medicamentos en la Argentina es auditada por la A.N.M.A.T [2] y requiere el cumplimiento de las buenas prácticas de manufactura GMP (*Good Manufacturing Practices*). Por este motivo todos los servicios que impactan de manera directa sobre el producto son monitoreados por sistemas de supervisión, control y adquisición de datos denominados SCADA.

Actualmente la planta cuenta con dos sistemas SCADA, uno para el control de HVAC (*Heating, Ventilating, Air Conditioned*) y otro para el control de las plantas de tratamiento de agua purificada. Estos sistemas registran variables críticas de la planta. Cuando estas se encuentran fuera de especificación pueden generar desvíos en la producción y observaciones en los lotes producidos.

La figura 1.2 muestra las instalaciones de una planta purificadora de agua de ósmosis inversa con todos sus servicios.



FIGURA 1.2. Planta purificadora de agua de ósmosis inversa.

- Agua helada / purificada.
- Aire comprimido.

1.2. Motivación

El departamento de mantenimiento de planta se encuentra formado por tres sectores: servicios, mecánica y electrónica.

Los servicios de planta son un componente fundamental para su funcionamiento. El departamento de servicios entre otras tareas se encarga de asegurar y mantener su provisión. Algunos de estos se detallan a continuación:

- Potencia eléctrica.
- Gas Natural.
- Vapor industrial / sanitario.
- Agua potable / purificada y agua para la producción de inyectables.
- Aire comprimido.
- Efluentes cloacales / industriales.
- Mantenimiento de edificio, luminarias, etcétera.

La producción de medicamentos en la Argentina es auditada por la A.N.M.A.T [3] y requiere el cumplimiento de las buenas prácticas de manufactura GMP (*Good Manufacturing Practices*). Por este motivo todos los servicios que impactan de manera directa sobre el producto son monitoreados por sistemas de supervisión, control y adquisición de datos denominados SCADA.

Actualmente la planta cuenta con dos sistemas SCADA, uno para el control de HVAC (*Heating, Ventilating, Air Conditioned*) y otro para el control de las plantas de tratamiento de agua purificada. Estos sistemas registran variables críticas de la planta. Cuando estas se encuentran fuera de especificación pueden generar desvíos en la producción y observaciones en los lotes producidos.

La figura 1.2 muestra las instalaciones de una planta purificadora de agua de ósmosis inversa con todos sus servicios.



FIGURA 1.2. Planta purificadora de agua de ósmosis inversa.

1.3. Estado del arte

Los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos SCADA son utilizados por organizaciones e industrias del sector público y privado. Los principales objetivos y beneficios de la implementación de estos sistemas son:

- Control y mantenimiento de la eficiencia de los procesos.
- Lectura en tiempo real de indicadores y datos de planta.
- Almacenamiento de registros históricos.
- Información averías para reducir el tiempo de parada.
- Gestión de reportes.
- Centralización de los datos de planta.

1.3.1. Orígenes

Los orígenes de estos sistemas se remontan a la década del 50. En ese entonces el control y operación de los equipamientos de una planta se efectuaba de forma manual mediante el accionamiento de pulsadores, llaves y diales.

A medida que las plantas industriales crecían, se requería más personal para que las operara e incluso debían recorrerse grandes distancias para llegar al punto de operación de cada instalación.

A principios de los años 50 las primeras computadoras fueron desarrolladas con propósitos de control en el ámbito industrial y los sistemas de control se volvieron populares en las industrias que presentaban mayores utilidades como es el caso de las petroleras.

En las décadas del 60 y 70 se incorpora la telemetría para el monitoreo. Esto permitió la transmisión de mediciones provenientes de sitios remotos a un equipo central (*Mainframe*). Estas estructuras recibieron el nombre de estructuras **monolíticas**, cuya estructura se detalla en la figura 1.4.

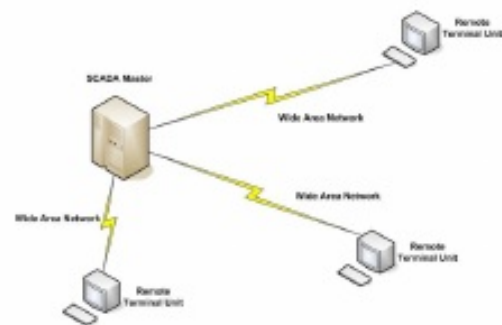


FIGURA 1.4. Primera generación de SCADA, estructura monolítica.[1]

1.3. Estado del arte

Los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos SCADA son utilizados por organizaciones e industrias del sector público y privado. Los principales objetivos y beneficios de la implementación de estos sistemas son:

- Control y mantenimiento de la eficiencia de los procesos.
- Lectura en tiempo real de indicadores y datos de planta.
- Almacenamiento de registros históricos.
- Información averías para reducir el tiempo de parada.
- Gestión de reportes.
- Centralización de los datos de planta.

1.3.1. Orígenes

Los orígenes de estos sistemas se remontan a la década del 50. En ese entonces el control y operación de los equipamientos de una planta se efectuaba de forma manual mediante el accionamiento de pulsadores, llaves y diales.

A medida que las plantas industriales crecían, se requería más personal para que las operara e incluso debían recorrerse grandes distancias para llegar al punto de operación de cada instalación.

A principios de los años 50 las primeras computadoras fueron desarrolladas con propósitos de control en el ámbito industrial y los sistemas de control se volvieron populares en las industrias que presentaban mayores utilidades como es el caso de las petroleras.

En las décadas del 60 y 70 se incorpora la telemetría para el monitoreo. Esto permitió la transmisión de mediciones provenientes de sitios remotos a un equipo central (*Mainframe*)[4]. Estas estructuras recibieron el nombre de estructuras **monolíticas**, cuya estructura se detalla en la figura 1.4.

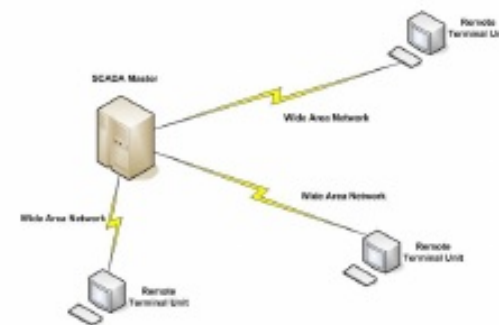


FIGURA 1.4. Primera generación de SCADA, estructura monolítica.[1]

En las décadas del 80 y 90 los sistemas evolucionaron con el advenimiento de la tecnología LAN (*Local Area Networking*) y el desarrollo de computadoras más pequeñas. Cada sistema contaba con protocolos LAN de tipo propietario, por lo tanto la comunicación entre dispositivos de otros sistemas no era posible. Estos sistemas recibieron el nombre de "sistemas distribuidos". La figura 1.5 representa un sistema SCADA distribuido.

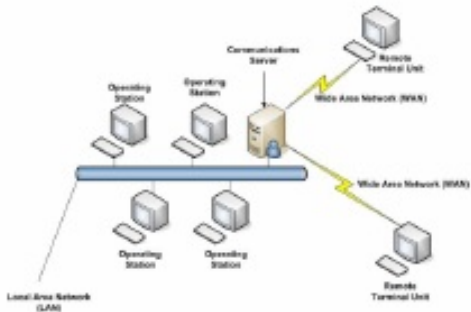


FIGURA 1.5. Segunda generación de SCADA, estructura distribuida.[1]

A mediados de los años 90 y principios del año 2000 el crecimiento industrial y la aparición de nuevos fabricantes de equipamiento llevó a los sistemas SCADA a un modelo de arquitectura abierta. La comunicación se basó en protocolos no propietarios, lo que permitió que la funcionalidad adquirida por los SCADA pueda distribuirse en redes de área extensa WAN. La utilización del protocolo IP y nuevos estándares permitieron su desarrollo de manera más eficiente y efectiva en el tiempo. En la figura 1.6 puede observarse la implementación de una estructura en red.

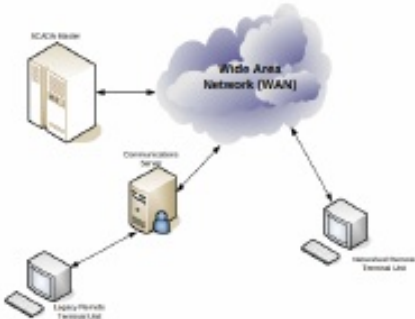


FIGURA 1.6. Tercera generación de SCADA, estructura en red.[1]

En las décadas del 80 y 90 los sistemas evolucionaron con el advenimiento de la tecnología LAN (*Local Area Networking*) y el desarrollo de computadoras más pequeñas. Cada sistema contaba con protocolos LAN de tipo propietario, por lo tanto la comunicación entre dispositivos de otros sistemas no era posible. Estos sistemas recibieron el nombre de "sistemas distribuidos[4]". La figura 1.5 representa un sistema SCADA distribuido.

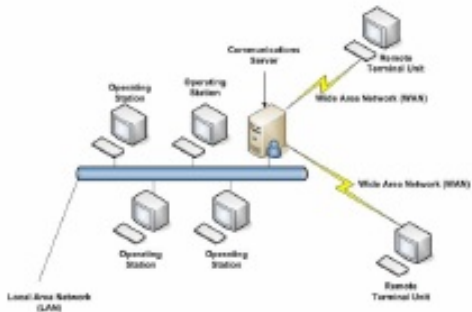


FIGURA 1.5. Segunda generación de SCADA, estructura distribuida.[1]

A mediados de los años 90 y principios del año 2000 el crecimiento industrial y la aparición de nuevos fabricantes de equipamiento llevó a los sistemas SCADA a un modelo de arquitectura abierta. La comunicación se basó en protocolos no propietarios, lo que permitió que la funcionalidad adquirida por los SCADA pueda distribuirse en redes de área extensa WAN. La utilización del protocolo IP y nuevos estándares permitieron su desarrollo de manera más eficiente y efectiva en el tiempo[4]. En la figura 1.6 puede observarse la implementación de una estructura en red.

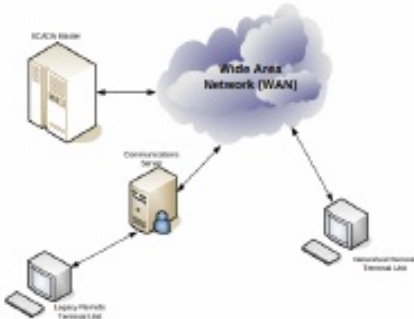


FIGURA 1.6. Tercera generación de SCADA, estructura en red.[1]

A medida que los sistemas SCADA incorporaron protocolos de comunicación abiertos, la interoperabilidad y compatibilidad entre sistemas y hardware mejoró, al punto de que un SCADA WinCC diseñado por Siemens puede encontrarse vinculado a controladores de otros fabricantes como Allen Bradley, Omron y otros.

Si bien esta integración es perfectamente realizable, cabe aclarar que desde el punto de vista de la practicidad y velocidad de implementación, esta será más eficiente utilizando componentes de hardware y software del mismo fabricante, además presenta ventajas económicas debido a que los programas necesarios para el diseño y puesta en marcha requieren licencias pagas.

Este tipo de estructura puede visualizarse en la figura 1.7.

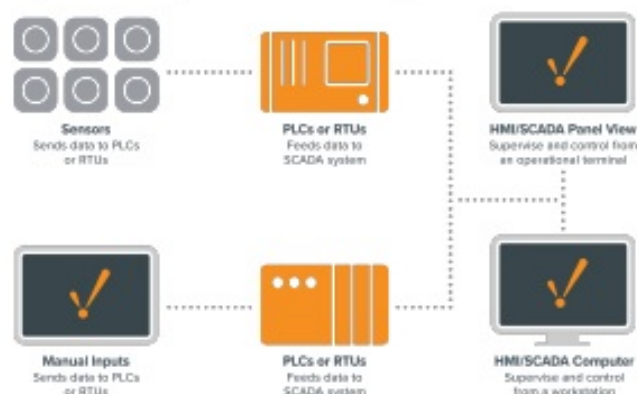


FIGURA 1.7. Estructura básica de un SCADA.²

Las empresas líderes en sistemas SCADA utilizan en la actualidad el concepto de SaaS (*Software as a Service*). La idea de este concepto es proveer un servicio de software en la nube donde el usuario pueda contratar servicios adicionales en tanto los requiera por medio de una suscripción. Entre las ventajas de estos sistemas se pueden destacar las siguientes:

- Gestión y mantenimiento en la nube.
- Disponibilidad para agregar o quitar servicios.
- Interacción con sistemas de producción de planta.
- Acceso al sistema por medio de dispositivos móviles.
- Sistema escalable y con mayor potencia de cálculo para el uso de herramientas de predicción.

²Imagen tomada de <https://inductiveautomation.com/blog/sites/default/files/inline-images/BasicSCADADDiagram>

A medida que los sistemas SCADA incorporaron protocolos de comunicación abiertos, la interoperabilidad y compatibilidad entre sistemas y hardware mejoró, al punto de que un SCADA WinCC diseñado por Siemens puede encontrarse vinculado a controladores de otros fabricantes como Allen Bradley, Omron y otros.

Si bien esta integración es perfectamente realizable, cabe aclarar que desde el punto de vista de la practicidad y velocidad de implementación, esta será más eficiente utilizando componentes de hardware y software del mismo fabricante, además presenta ventajas económicas debido a que los programas necesarios para el diseño y puesta en marcha requieren licencias pagas.

Este tipo de estructura puede visualizarse en la figura 1.7.

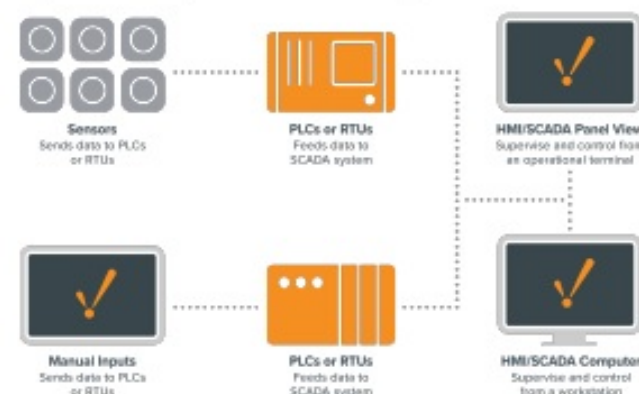


FIGURA 1.7. Estructura básica de un SCADA.²

Las empresas líderes en sistemas SCADA utilizan en la actualidad el concepto de SaaS (*Software as a Service*)[5]. La idea de este concepto es proveer un servicio de software en la nube donde el usuario pueda contratar servicios adicionales en tanto los requiera por medio de una suscripción. Entre las ventajas de estos sistemas se pueden destacar las siguientes:

- Gestión y mantenimiento en la nube.
- Disponibilidad para agregar o quitar servicios.
- Interacción con sistemas de producción de planta.
- Acceso al sistema por medio de dispositivos móviles.
- Sistema escalable y con mayor potencia de cálculo para el uso de herramientas de predicción.

²Imagen tomada de <https://inductiveautomation.com/blog/sites/default/files/inline-images/BasicSCADADDiagram>

Capítulo 2

Introducción específica

En el siguiente capítulo se realiza una introducción a las tecnologías utilizadas en el desarrollo de este trabajo. Estas se aplican a las distintas capas del modelo de arquitectura de IoT (*Internet of Things*).

2.1. Protocolos de comunicación

Los protocolos de comunicación son estándares que se utilizan para definir la manera en la que se vinculan uno o mas dispositivos. Existe una gran cantidad de protocolos diseñados para resolver distintas problemáticas, a continuación se detallan los utilizados en el desarrollo de este trabajo.

2.1.1. SPI Serial Peripheral Interface

El protocolo de comunicación SPI es un protocolo de comunicación serie, sincrónico y full duplex. Los dispositivos sincrónicos cuentan con una señal de clock para la sincronización de los datos enviados y recibidos. A su vez, las señales MOSI Master Output Slave Input y MISO Master Input Slave Output permiten la transferencia simultánea de datos entre los dispositivos, esta funcionalidad recibe el nombre de full duplex.

En la figura 2.1 se observa la conexión entre dispositivos SPI.



FIGURA 2.1. Conexión entre dispositivos SPI maestro - esclavo.

Los dispositivos SPI pueden ser direccionables mediante las señales de CS *chip select* y alcanzar velocidades de reloj de hasta 50MHz. Esto permite una gran capacidad de transferencia de datos, motivo por el cual son utilizados en dispositivos como, pantallas LCD, módulos ethernet y memorias entre otros.

Capítulo 2

Introducción específica

En el siguiente capítulo se realiza una introducción a las tecnologías utilizadas en el desarrollo de este trabajo. Estas se aplican a las distintas capas del modelo de arquitectura de IoT *Internet of Things*.

2.1. Protocolos de comunicación

Los protocolos de comunicación son estándares que se utilizan para definir la manera en la que se vinculan uno o mas dispositivos. Existe un gran número de protocolos diseñados para resolver distintas problemáticas, a continuación se detallan los utilizados en el desarrollo de este trabajo.

2.1.1. SPI

El protocolo de comunicación SPI Serial Peripheral Interface es un protocolo de comunicación serie, sincrónico y full duplex. Los dispositivos sincrónicos cuentan con una señal de clock para la sincronización de los datos enviados y recibidos. A su vez, las señales MOSI Master Output Slave Input y MISO Master Input Slave Output permiten la transferencia simultánea de datos entre los dispositivos, esta funcionalidad recibe el nombre de full duplex[6].

En la figura 2.1 se observa la conexión entre dispositivos SPI.



FIGURA 2.1. Conexión entre dispositivos SPI maestro - esclavo.

Los dispositivos SPI pueden ser direccionables mediante las señales de CS *chip select* y alcanzar velocidades de reloj de hasta 50MHz. Esto permite una gran capacidad de transferencia de datos, motivo por el cual son utilizados en dispositivos como, pantallas LCD, módulos ethernet y memorias entre otros.

2.1.2. I2C Inter Integrated Circuit

I2C es un protocolo de comunicación serie, sincrónico y **bidireccional** con un **número** reducido de hilos para su conexión. Se caracteriza por ser muy versátil y económico, el protocolo I2C se ha implementado en mas de 1000 circuitos **integrados** que han sido fabricados por mas de 50 compañías. **Además**, se utiliza en arquitecturas de control como SMBus System Management Bus, DDC PMBus Power Management Bus, IPMI Intelligent Platform Management Interface, DDC Display Data Channel and ATCA Advanced Telecom Computing Architecture.

Cada dispositivo cuenta con una dirección única e inalterable para su direccionamiento. De acuerdo al tipo, pueden incorporar una o mas entradas CS chip select para comunicarse con dispositivos idénticos sobre el mismo bus.

En la figura 2.2 se observa **el conexionado** de dispositivos en un bus I2C.

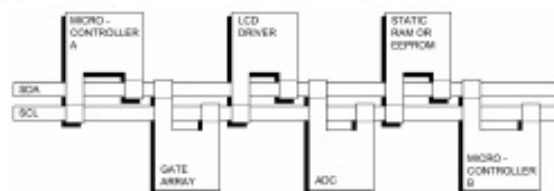


FIGURA 2.2. Bus de conexión de dispositivos I2C.

Las velocidades de comunicación varían desde los 100 kHz a los 5MHz, en la **actualidad** cuentan con dispositivos para aplicaciones, militares, medicinales e industriales. Entre los más utilizados se pueden encontrar, memorias, conversores ADC, DAC, sensores de temperatura y humedad, RTC Real Time Clock, giróscopos y otros.

2.1.2. I2C

I2C Inter Integrated Circuit es un protocolo de comunicación serie, sincrónico y **bi-direccional** con un **número** reducido de hilos para su conexión. Se caracteriza por ser muy versátil y económico, el protocolo I2C se ha implementado en mas de 1000 circuitos **integrados** que han sido fabricados por mas de 50 compañías. **Además**, se utiliza en arquitecturas de control como SMBus System Management Bus, BPM Bus Power Management Bus, IPMI Intelligent Platform Management Interface, DDC Display Data Channel and ATCA Advanced Telecom Computing Architecture[7].

Cada dispositivo cuenta con una dirección única e inalterable para su direccionamiento. De acuerdo al tipo, pueden incorporar una o mas entradas CS chip select para comunicarse con dispositivos idénticos sobre el mismo bus.

En la figura 2.2 se observa **la conexión** de dispositivos en un bus I2C.

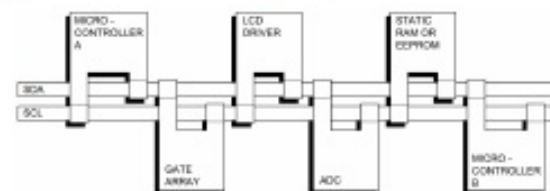


FIGURA 2.2. Bus de conexión de dispositivos I2C.

Las velocidades de comunicación varían desde los 100 kHz a los 5 MHz, en la **actualidad**, cuentan con dispositivos para aplicaciones, militares, medicinales e industriales. Entre los más utilizados se pueden encontrar, memorias, conversores ADC, DAC, sensores de temperatura y humedad, RTC Real Time Clock, giróscopos y otros.

2.1.3. UART

El protocolo de comunicación UART Universal Asynchronous Receiver Transmitter es uno de los más antiguos y utilizados para comunicaciones serie, este protocolo cuenta con la posibilidad de manejar 3 modos de funcionamiento:

- **simplex** : El dispositivo solo envía o recibe datos.
- **half duplex**: El dispositivo envía y luego recibe datos.
- **full duplex**: El dispositivo envía y recibe datos simultáneamente.

Las conexiones entre dispositivos se realizan entre 1 transmisor y un 1 receptor, no pueden existir mas de dos dispositivos conectados, dado que no tiene capacidad de direccionamiento. En la figura 2.3 se observa la conexión entre dispositivos USART.

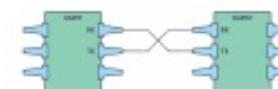


FIGURA 2.3. Conexión entre dispositivos UART[2].

Bibliografía

[1] McClanahan. «The Benefits of Networked SCADA Systems Utilizing IPEnabled Networks, Rural Electric Power Conference». En: IEEE, 2002, págs. C5 -C5-7.

[2] ANMAT. *Normativa de medicamentos*. Visitado el 2023-09-19, 2023. URL: http://www.anmat.gob.ar/webanmat/normativas_medicamentos_cuerpo.asp.

El protocolo UART es utilizado en periféricos de computadora, microcontroladores, automóviles, *smart cards*, SIM telefónica y otros.

2.1.4. LoRa

LoRa *Long Range* es una tecnología de comunicación inalámbrica que utiliza la modulación *CSSChip Spread Spectrum* desarrollada por la empresa Semtech. Este tipo de modulación posee grandes ventajas a nivel de alcance, inmunidad al ruido, seguridad y consumo de energía[8].

En la figura 2.4 se observa la forma de onda modulada de un dispositivo LoRa.

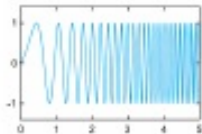


FIGURA 2.4. Modulación CSS.

Los dispositivos LoRa utilizan el espectro de frecuencias no licenciado ISM *Industrial, Scientific and Medical* de 915 MHz en la Argentina, esto representa una ventaja frente a otras tecnologías que utilizan frecuencias licenciadas como es el caso de SigFox, NB-IoT y LTE-M.

En la actualidad los dispositivos LoRa son utilizados en aplicaciones de agricultura, ciudades inteligentes, cuidado de la salud, hogar, control industrial y cadena de suministros entre otros.

2.1.5. ModBUS TCP

Modbus es un protocolo de aplicación abierto maestro-esclavo que puede ser implementado sobre distintas capas físicas. Modbus TCP es la implementación del protocolo Modbus sobre Ethernet TCP/IP, un protocolo orientado a la conexión con el que se busca asegurar la entrega de datos.

En la figura 2.5 puede observarse una arquitectura de comunicación ModBUS TCP en la que se combina ModBUS TCP y ModBUS Serial a través de un *gateway*[9].

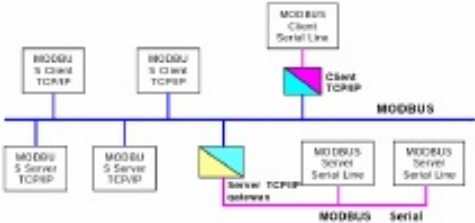


FIGURA 2.5. Arquitectura de comunicación ModBUS TCP.