



CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN INTERNET DE LAS COSAS

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

Sistema de monitoreo de servicios de planta

Autor:

Ing. Marcelo Roberto García

Director:

Mg. Ing. Gonzalo Nahuel Vaca (INVAP)

Jurados:

Nombre del jurado 1 (pertenencia)

Nombre del jurado 2 (pertenencia)

Nombre del jurado 3 (pertenencia)

*Este trabajo fue realizado en la ciudad de Buenos Aires,
entre marzo de 2022 y julio de 2023.*

Resumen

La presente memoria describe el desarrollo e implementación de un sistema de recolección de datos de bajo costo enfocado en la optimización del mantenimiento de servicios de planta. El trabajo se realizó para la empresa ROEMMERS S.A.I.C.F en el marco de una propuesta de mejora por parte del departamento de electrónica con la colaboración del departamento de servicios.

En este trabajo se utilizaron los conocimientos obtenidos de la carrera de especialización en IoT referidos a protocolos de comunicación, tecnologías de backend, frontend, bases de datos, sistemas operativos y redes.

Agradecimientos

A mi pareja, por su apoyo incondicional.

A mis padres y hermano.

A los profesores, profesoras, compañeros y compañeras por compartir sus conocimientos y experiencias.

Al Ing. Guillermo Horacio Vidal, Jefe de servicios de laboratorios ROEMMERS, por su confianza.

A Gabriel Méndez, Jefe de mantenimiento electrónico de laboratorios ROEMMERS, por su apoyo.

A todos los que participaron de forma directa e indirecta de este proyecto.

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 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 tablas

Capítulo 1

Introducción general

En este capítulo se describen las características del mantenimiento de los servicios de planta, los sistemas de control asociados, su estado del arte, y los objetivos y alcances para el desarrollo del siguiente trabajo.

1.1. Servicios de planta

Las plantas industriales son las instalaciones por medio de las que es posible la producción de bienes a gran escala. Casi la totalidad de los elementos que se consumen, utilizan y desechan a diario provienen o han sido procesados en una planta industrial.

Este trabajo se encuentra enfocado en una planta farmacéutica donde se producen medicamentos en diversas presentaciones como: sólidos, polvos, efervescentes, líquidos e inyectables.

A continuación por medio de la figura 1.1 se detalla la configuración de una línea de producción de sólidos. Esta se encuentra compuesta por una serie de máquinas automáticas donde se recibe el medicamento en polvo para ser comprimido, luego blisteado, estuchado, pesado, etiquetado, apilado y finalmente paletizado.

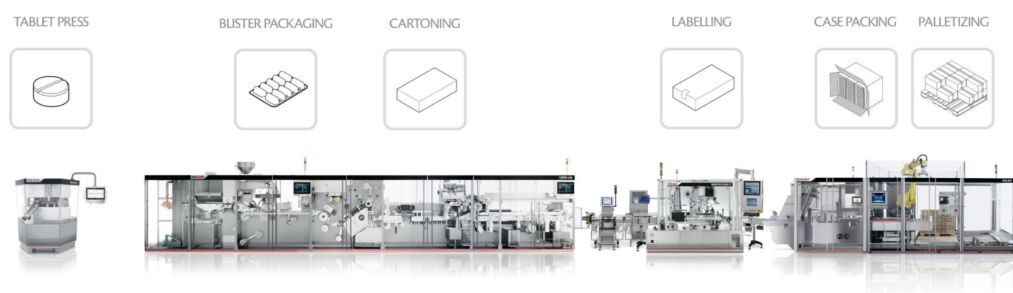


FIGURA 1.1. Línea de blisteado y estuchado.¹

Las máquinas automáticas cuentan con sistemas de control neumáticos, hidráulicos, térmicos, eléctricos y electrónicos. Estos sistemas requieren servicios esenciales para su funcionamiento, como:

- Electricidad.
- Vapor industrial / sanitario.

¹Imagen tomada de https://ima.it/pharma/wp-content/uploads/sites/2/2022/10/LINEA-BLISTER-con-PROCESSO_ICON_BS-scaled-e1666881021854-2048x726.jpg

- 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.

Una planta purificadora de agua se alimenta de los servicios de: agua potable para luego ser purificada, electricidad para el funcionamiento del sistema de control, aire comprimido para el accionamiento de válvulas y vapor para el control de temperatura del agua.

Los servicios mencionados se encuentran distribuidos a lo largo y a lo ancho de la planta como se puede apreciar en la figura 1.3. La revisión de su estado se realiza en forma local, lo que implica el control periódico por parte de un técnico de mantenimiento.

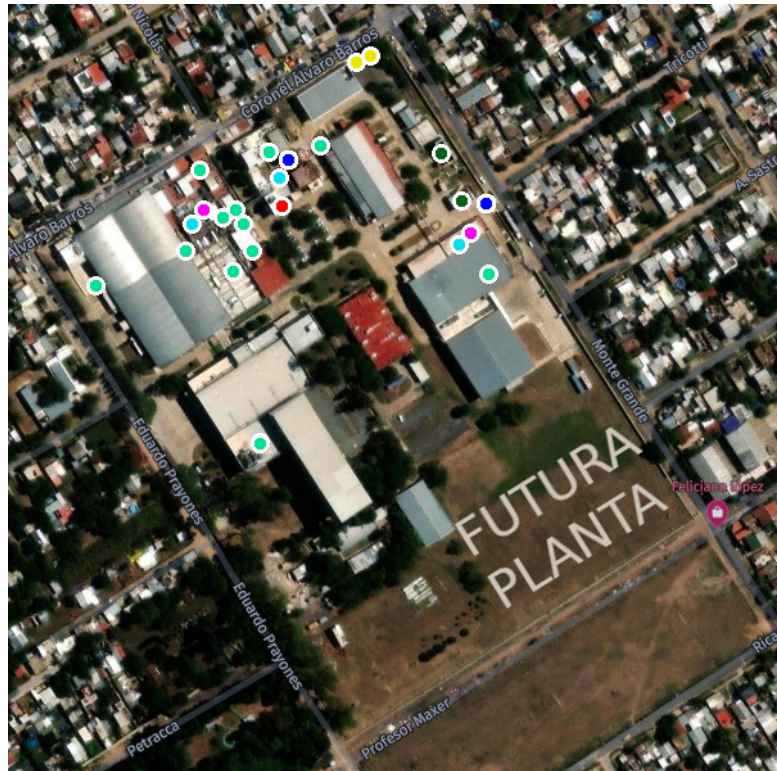


FIGURA 1.3. Distribución de los servicios en planta.

Referencias:

- Amarillo: Gas Natural.
- Azul: Potencia eléctrica.
- Celeste: Agua purificada.
- Rojo: Vapor industrial.
- Violeta: Vapor sanitario
- Verde oscuro: Efluentes.
- Verde claro: Separadores de polvo asociados a HVAC.

La motivación de este proyecto es poder brindarle al departamento de mantenimiento de servicios una herramienta que le permita verificar de manera remota el estado de los servicios de planta, consultar sus valores históricos y facilitar el desarrollo de estrategias para el mantenimiento preventivo y predictivo en base a los datos obtenidos.

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.

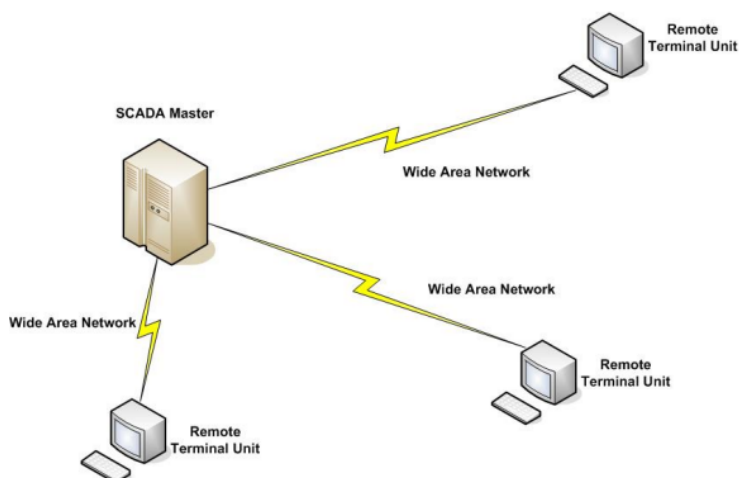


FIGURA 1.4. Primera generación de SCADA, estructura monolítica.[1]

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.

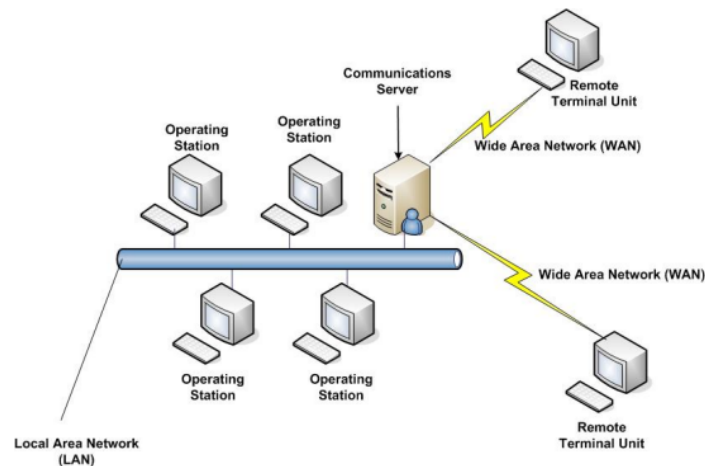


FIGURA 1.5. Segunda generación de SCADA, estructura distribuida.[1]

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.

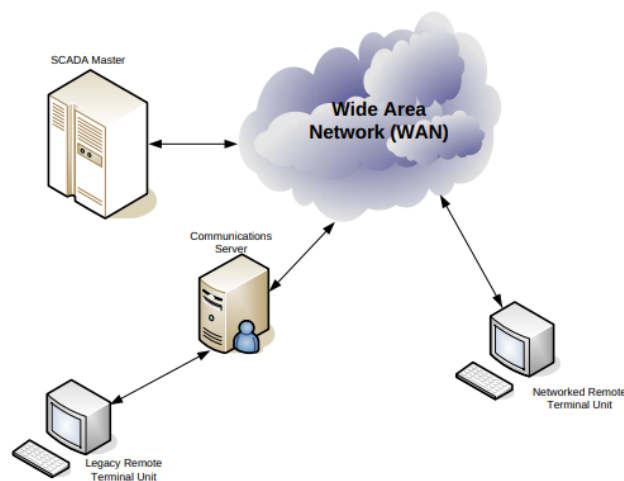


FIGURA 1.6. Tercera generación de SCADA, estructura en red.[1]

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 mas 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.

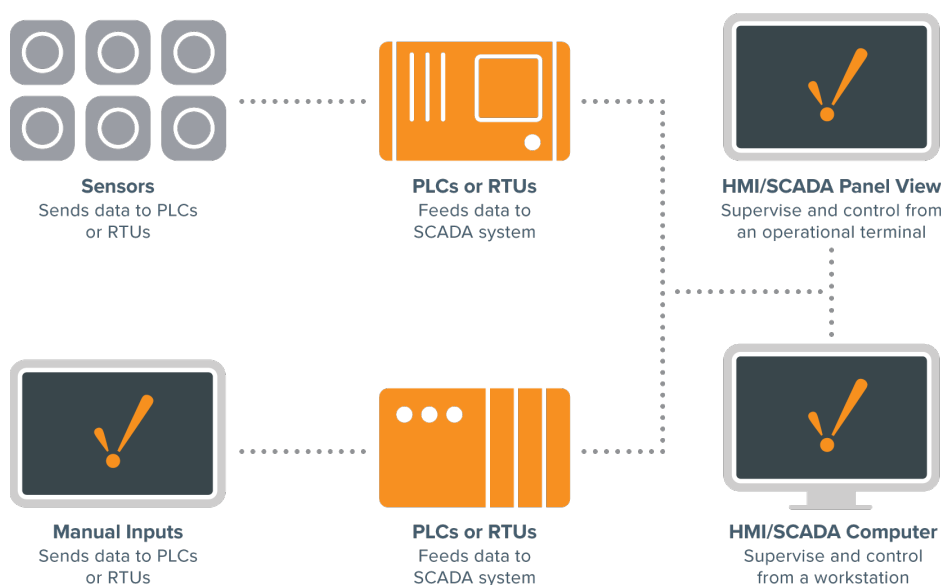


FIGURA 1.7. Estructura básica de un SCADA.²

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>

1.4. Objetivos y alcances

Los principales objetivos de este trabajo son:

- Facilitar la implementación de la lectura y registro de variables de planta mediante el uso de herramientas de hardware y software de bajo costo.
- Reducir la frecuencia de chequeo *in situ* de las instalaciones.
- Aportar nuevos datos al departamento de mantenimiento de servicios para poder desarrollar estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo en base a su análisis.
- Permitir la adaptación del sistema de monitoreo de acuerdo a las necesidades requeridas del sector.
- Implementar un sistema que sea la base para la creación de nuevas funcionalidades que facilite la gestión y obtención de los datos de planta.

De acuerdo a los objetivos planteados, se definen los alcances que permitirán lograr los objetivos propuestos, que se detallan a continuación:

- Instalación de un servidor en sala de control DDC1.
- Diseño e instalación de las bases de datos.
- Desarrollo de backend y frontend de la solución.
- Desarrollo del hardware y firmware de una interfaz de conexión y una interfaz de adquisición capaces de comunicarse con el backend utilizando los protocolos Modbus TCP, MQTT TLS y HTTPS.

No se encuentran contemplados dentro del alcance de este trabajo los siguientes objetivos:

- Vinculación del sistema a servicios en la nube.
- Desarrollo de aplicación para dispositivos móviles.

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.

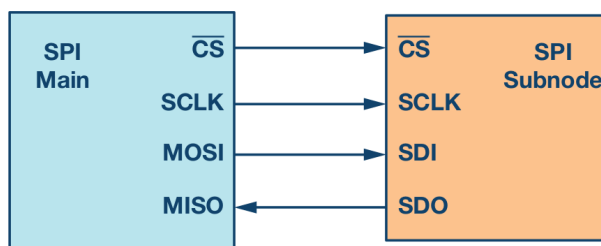


FIGURA 2.1. Conexión entre dispositivos SPI maestro - esclavo.

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.

2.1.2. I2C Inter Integrated Circuit

I2C es un protocolo de comunicación serie, síncrono 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.

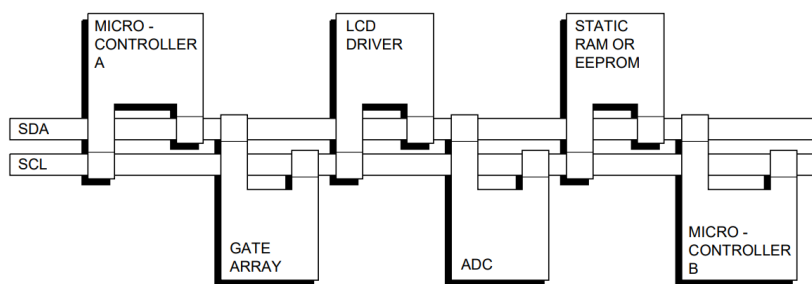


FIGURA 2.2. Bus de conexión de dispositivos I2C.

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.

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.