



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 |
| 1.3.2. Sistema propuesto | 7 |
| 1.4. Objetivos y alcances | 8 |
| 2. Introducción específica | 11 |
| 2.1. Protocolos de comunicación | 11 |
| 2.2. Tecnologías de backend | 11 |
| 2.3. Tecnologías de frontend | 12 |
| 2.4. Dispositivos Bare Metal | 13 |
| 2.5. Herramientas utilizadas | 14 |
| Bibliografía | 17 |

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 |
| 1.8. Estructura de SCADA propuesto. | 7 |
| 2.1. Ilustración del cuadrado azul que se eligió para el diseño del logo. | 12 |
| 2.2. Imagen tomada de la página oficial del procesador ³ | 13 |
| 2.3. ¿Por qué de pronto aparece esta figura? | 13 |
| 2.4. Tres gráficos simples | 13 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| 1.1. Comparación entre los sistemas | 8 |
| 2.1. caption corto | 14 |

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.

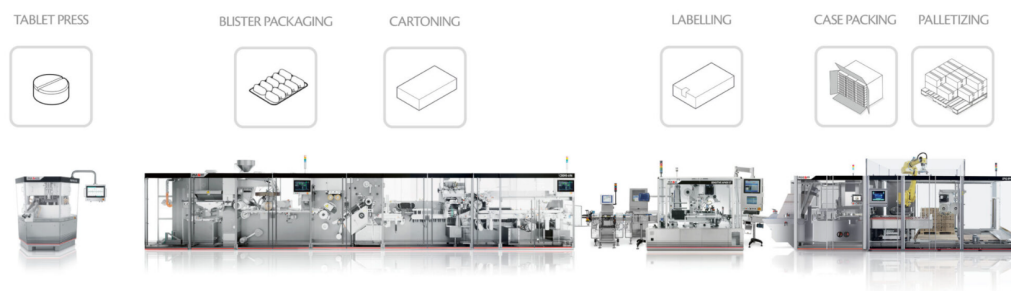


FIGURA 1.1. Línea de blisteado y estuchado.¹

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.

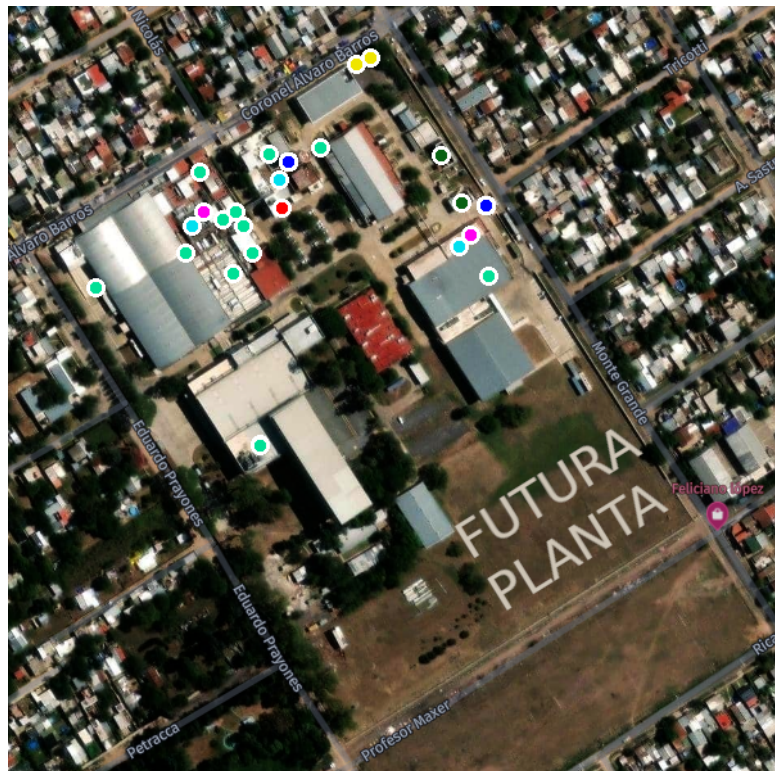


FIGURA 1.3. Distribución de los servicios en planta.

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.

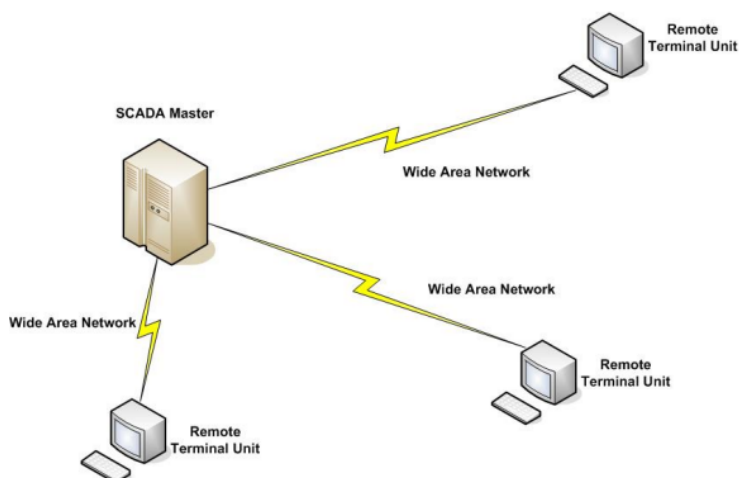


FIGURA 1.4. Primera generación de SCADA, estructura monolítica.[1]

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.

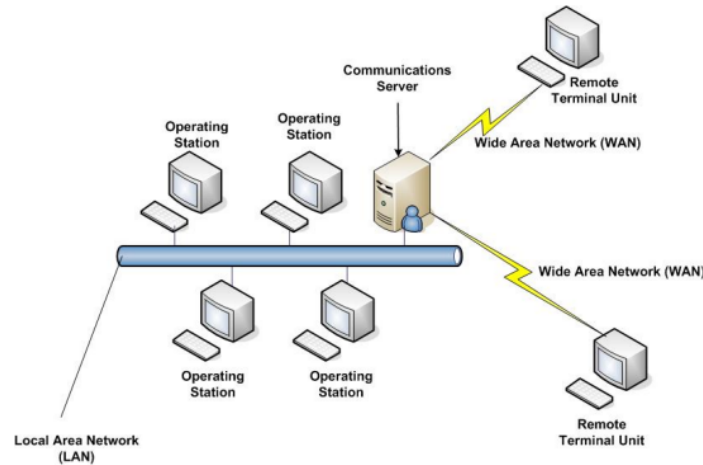


FIGURA 1.5. Segunda generación de SCADA, estructura distribuida.[1]

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.

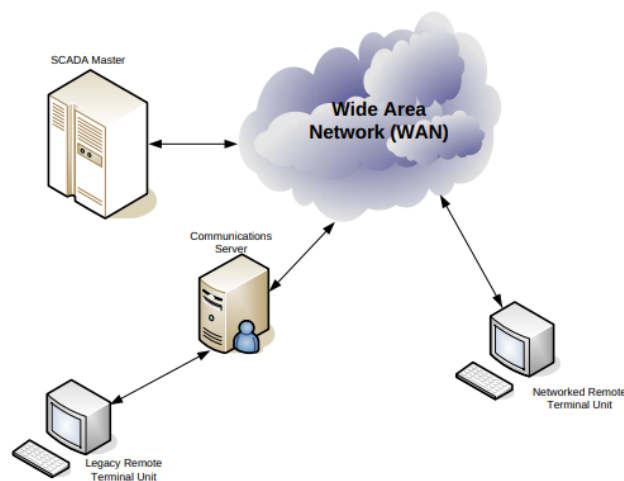


FIGURA 1.6. Tercera generación de SCADA, estructura en red.[1]

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.

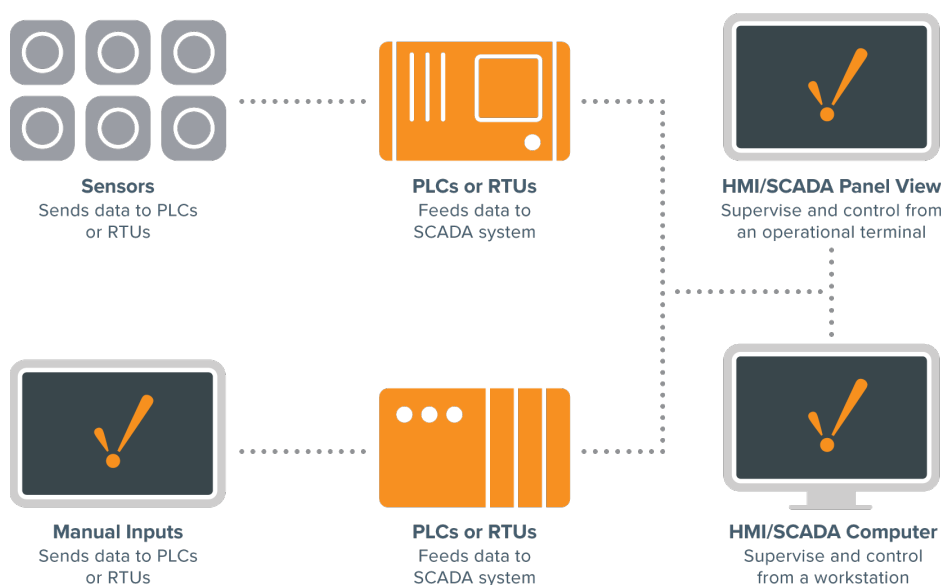


FIGURA 1.7. Estructura básica de un SCADA.²

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>

1.3.2. Sistema propuesto

El sistema propuesto presenta una estructura similar a la visualizada en la Figura 1.7.

Si bien los puntos de acceso al sistema son en su mayoría inalámbricos, el sistema se conectará a la red industrial de planta mediante ruteadores.

La red industrial de planta permite la conexión de los SCADA y dispositivos de sistemas secundarios, los sistemas y dispositivos que conviven en la red pueden encontrarse expuestos a vulnerabilidades de seguridad. Por este motivo no se implementará el acceso a internet.

En la figura 1.8 se detalla la composición del sistema propuesto.

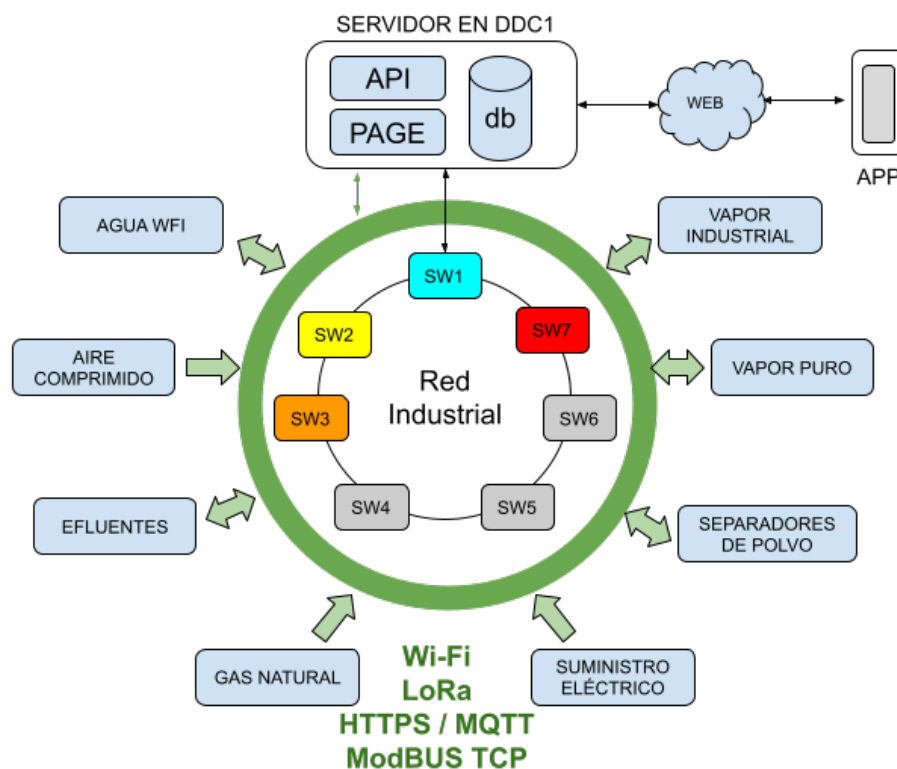


FIGURA 1.8. Estructura de sistema propuesto.

En la tabla 1.1 puede observarse la comparación entre un sistema SCADA base y el planteado en este trabajo.

TABLA 1.1. Comparación entre los sistemas

| Características | SCADA base | Sistema propuesto |
|---|---|-----------------------------|
| Servidor | PC con sistema operativo Windows, 8GB RAM | Raspberry Pi 4B, 4GB RAM |
| Licencia | SI | NO |
| Base de datos | SQL | MySQL |
| Nodos | Limitados por licencia | Limitados por Base de datos |
| Hardware | Multimarca | Propio de bajo costo |
| Gestión de usuarios | SI | SI |
| Registros históricos | SI | SI |
| Protocolo industriales CAN, ProfiNET, Profi-BUS | Licencia | Solo ModBUS |
| Protocolo web HTTPS, MQTT | NO | SI |
| Herramientas personalizables | NO | SI |
| Código abierto | NO | SI |
| Costo total de la solución | Elevado | Bajo |

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

Todos los capítulos deben comenzar con un breve párrafo introductorio que indique cuál es el contenido que se encontrará al leerlo. La redacción sobre el contenido de la memoria debe hacerse en presente y todo lo referido al proyecto en pasado, siempre de modo impersonal.

2.1. Protocolos de comunicación

Si en el texto se hace alusión a diferentes partes del trabajo referirse a ellas como capítulo, sección o subsección según corresponda. Por ejemplo: “En el capítulo 1 se explica tal cosa”, o “En la sección 2.1 se presenta lo que sea”, o “En la subsección 2.2 se discute otra cosa”.

Cuando se quiere poner una lista tabulada, se hace así:

- Este es el primer elemento de la lista.
- Este es el segundo elemento de la lista.

Notar el uso de las mayúsculas y el punto al final de cada elemento.

Si se desea poner una lista numerada el formato es este:

1. Este es el primer elemento de la lista.
2. Este es el segundo elemento de la lista.

Notar el uso de las mayúsculas y el punto al final de cada elemento.

2.2. Tecnologías de backend

Se recomienda no utilizar **texto en negritas** en ningún párrafo, ni tampoco texto subrayado. En cambio sí se debe utilizar *texto en itálicas* para palabras en un idioma extranjero, al menos la primera vez que aparecen en el texto. En el caso de palabras que estamos inventando se deben utilizar “comillas”, así como también para citas textuales. Por ejemplo, un *digital filter* es una especie de “selector” que permite separar ciertos componentes armónicos en particular.

La escritura debe ser impersonal. Por ejemplo, no utilizar “el diseño del firmware lo hice de acuerdo con tal principio”, sino “el firmware fue diseñado utilizando tal principio”.

El trabajo es algo que al momento de escribir la memoria se supone que ya está concluido, entonces todo lo que se refiera a hacer el trabajo se narra en tiempo

pasado, porque es algo que ya ocurrió. Por ejemplo, "se diseñó el firmware empleando la técnica de test driven development".

En cambio, la memoria es algo que está vivo cada vez que el lector la lee. Por eso transcurre siempre en tiempo presente, como por ejemplo:

"En el presente capítulo se da una visión global sobre las distintas pruebas realizadas y los resultados obtenidos. Se explica el modo en que fueron llevados a cabo los test unitarios y las pruebas del sistema".

Se recomienda no utilizar una sección de glosario sino colocar la descripción de las abreviaturas como parte del mismo cuerpo del texto. Por ejemplo, RTOS (*Real Time Operating System*, Sistema Operativo de Tiempo Real) o en caso de considerarlo apropiado mediante notas a pie de página.

Si se desea indicar alguna página web utilizar el siguiente formato de referencias bibliográficas, dónde las referencias se detallan en la sección de bibliografía de la memoria, utilizando el formato establecido por IEEE en [IEEE:citation]. Por ejemplo, "el presente trabajo se basa en la plataforma EDU-CIAA-NXP [CIAA], la cual...".

2.3. Tecnologías de frontend

Al insertar figuras en la memoria se deben considerar determinadas pautas. Para empezar, usar siempre tipografía claramente legible. Luego, tener claro que **es incorrecto** escribir por ejemplo esto: "El diseño elegido es un cuadrado, como se ve en la siguiente figura:"



La forma correcta de utilizar una figura es con referencias cruzadas, por ejemplo: "Se eligió utilizar un cuadrado azul para el logo, como puede observarse en la figura 2.1".



FIGURA 2.1. Ilustración del cuadrado azul que se eligió para el diseño del logo.

El texto de las figuras debe estar siempre en español, excepto que se decida reproducir una figura original tomada de alguna referencia. En ese caso la referencia de la cual se tomó la figura debe ser indicada en el epígrafe de la figura e incluida como una nota al pie, como se ilustra en la figura 2.2.

FIGURA 2.2. Imagen tomada de la página oficial del procesador¹.

La figura y el epígrafe deben conformar una unidad cuyo significado principal pueda ser comprendido por el lector sin necesidad de leer el cuerpo central de la memoria. Para eso es necesario que el epígrafe sea todo lo detallado que corresponda y si en la figura se utilizan abreviaturas entonces aclarar su significado en el epígrafe o en la misma figura.



FIGURA 2.3. ¿Por qué de pronto aparece esta figura?

Nunca colocar una figura en el documento antes de hacer la primera referencia a ella, como se ilustra con la figura 2.3, porque sino el lector no comprenderá por qué de pronto aparece la figura en el documento, lo que distraerá su atención.

Otra posibilidad es utilizar el entorno *subfigure* para incluir más de una figura, como se puede ver en la figura 2.4. Notar que se pueden referenciar también las figuras internas individualmente de esta manera: 2.4a, 2.4b y 2.4c.



(A) Un caption.



(B) Otro.



(C) Y otro más.

FIGURA 2.4. Tres gráficos simples

El código para generar las imágenes se encuentra disponible para su reutilización en el archivo **Chapter2.tex**.

2.4. Dispositivos Bare Metal

Para las tablas utilizar el mismo formato que para las figuras, sólo que el epígrafe se debe colocar arriba de la tabla, como se ilustra en la tabla 2.1. Observar que sólo algunas filas van con líneas visibles y notar el uso de las negritas para los encabezados. La referencia se logra utilizando el comando `\ref{<label>}` donde label debe estar definida dentro del entorno de la tabla.

¹Imagen tomada de <https://goo.gl/images/i7C70w>

```

\begin{table}[h]
\centering
\caption[caption corto]{caption largo más descriptivo}
\begin{tabular}{l c c}
\toprule
\textbf{Especie} & \textbf{Tamaño} & \textbf{Valor}\\
\midrule
Amphiprion Ocellaris & 10 cm & \$ 6.000 \\
Hepatus Blue Tang & 15 cm & \$ 7.000 \\
Zebrasoma Xanthurus & 12 cm & \$ 6.800 \\
\bottomrule
\hline
\end{tabular}
\label{tab:peces}
\end{table}

```

TABLA 2.1. caption largo más descriptivo

| Especie | Tamaño | Valor |
|----------------------|--------|----------|
| Amphiprion Ocellaris | 10 cm | \$ 6.000 |
| Hepatus Blue Tang | 15 cm | \$ 7.000 |
| Zebrasoma Xanthurus | 12 cm | \$ 6.800 |

En cada capítulo se debe reiniciar el número de conteo de las figuras y las tablas, por ejemplo, figura 2.1 o tabla 2.1, pero no se debe reiniciar el conteo en cada sección. Por suerte la plantilla se encarga de esto por nosotros.

2.5. Herramientas utilizadas

Al insertar ecuaciones en la memoria dentro de un entorno *equation*, éstas se numeran en forma automática y se pueden referir al igual que como se hace con las figuras y tablas, por ejemplo ver la ecuación 2.1.

$$ds^2 = c^2 dt^2 \left(\frac{d\sigma^2}{1 - k\sigma^2} + \sigma^2 [d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2] \right) \quad (2.1)$$

Es importante tener presente que si bien las ecuaciones pueden ser referidas por su número, también es correcto utilizar los dos puntos, como por ejemplo “la expresión matemática que describe este comportamiento es la siguiente:”

$$\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + V(\mathbf{r}) \Psi = -i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} \quad (2.2)$$

Para generar la ecuación 2.1 se utilizó el siguiente código:

```

\begin{equation}
\label{eq:metric}
ds^2 = c^2 dt^2 \left( \frac{d\sigma^2}{1-k\sigma^2} + \right.
\sigma^2 \left[ d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2 \right] \left. \right)

```

```
\end{equation}
```

Y para la ecuación 2.2:

```
\begin{equation}
\label{eq:schrodinger}
\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\Psi + V(\mathbf{r})\Psi =
-i\hbar \frac{\partial\Psi}{\partial t}
\end{equation}
```


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.