



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

**REFRIGERACIÓN 4.0:
HACIA UNA REFRIGERACIÓN DIGITAL**

Alumno: Antonio Javier Santiago Moya

Tutor: Prof. D. Elisabet Estévez Estévez

Dpto: Ingeniería Electrónica y Automática

Septiembre, 2021



Universidad de Jaén

Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Eléctrica y Automática

Doña Elisabet Estévez Estévez, tutor del Proyecto Fin de Carrera titulado: Refrigeración 4.0: hacia una refrigeración digital, que presenta Antonio Javier Santiago Moya, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, Septiembre de 2021

El alumno:

Antonio Javier Santiago Moya

Los tutores:

ESTEVEZ
ESTEVEZ
ELISABET -
72578245C

Firmado digitalmente por
ESTEVEZ ESTEVEZ
ELISABET -
72578245C
Fecha: 2021.09.10
11:44:06 +02'00'

Elisabet Estévez Estévez

Tabla de contenidos

Capítulo I: Introducción.....	1
1.1 Motivación.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Estructura del documento	4
Capítulo II: Industria 4.0	5
2.1 Las cuatro revoluciones industriales	5
Capítulo III: Internet de las Cosas	11
3.1 Génesis del IoT.....	12
3.2 Impacto del IoT.....	14
3.2.1 Fábrica conectada	14
3.2.2 Arquitectura IoT	16
3.3 Aplicación IoT para la refrigeración energética	20
Capítulo IV: Diseño hardware	23
4.1 Escenario general.....	23
4.1 Fuente de alimentación	24
4.2 Autómata Programable.....	25
4.3 Pasarela.....	26
4.3.1 Siemens SIMATIC IOT2050	26
4.3.2 Siemens SIMATIC IOT2040	26
4.3.3 Arduino	28
4.3.4 Raspberry Pi.....	30
4.3.5 Selección de la solución	32
Capítulo V: Diseño software	34
5.1 Node-Red	34
5.2 Configuración de la pasarela.....	35
5.3 Base de datos.....	37
5.4 Programación	38
Capítulo VI: Presupuesto	40
Capítulo VII: Conclusiones	43
Referencias	45
Anexos.....	46
A. Programación	46
B. Conceptos Node-RED [9].....	54
C. Datasheets.....	61

Índice de Figuras

Figura 1: Ejemplo de un rango de temperatura permitido en un espacio específico para refrigerar	2
Figura 2: Escenario general.....	6
Figura 3: Fases evolutivas de Internet.....	12
Figura 4: Base de dispositivos conectados de Internet de las cosas instalados en todo el mundo desde 2015 hasta 2025 (en mil millones). [4]	14
Figura 5: Modelo de referencia de IoT publicado por el Foro Mundial de IoT	17
Figura 6: Ciclo frigorífico simplificado	20
Figura 7: Ciclo frigorífico con sensores de medición [5]	21
Figura 8: Temperatura permitida en un espacio a refrigerar controlada	22
Figura 9: Fuente de alimentación PSU100S [6]	25
Figura 10: CPU 1512SP-1 de Siemens [6].....	26
Figura 11: Arduino Uno [7].....	28
Figura 12: Tinkercat Shield	28
Figura 13: Raspberry Pi [8].....	30
Figura 14: Solución IoT	33
Figura 15: Ventana de configuración de PuTTY	36
Figura 16: Configuración para conexión con TIA Portal	36
Figura 17: Ejemplo de prueba de MariaDB	37
Figura 18: Programación para adquirir datos y visualizarlos.	38
Figura 19: Programación para mostrar 25 últimos datos	38
Figura 20: Tablero de visualización	39
Figura 21: Primera parte programación Node-RED	46
Figura 22: Segunda parte programación Node-RED	46
Figura 23: Nodos inicialización	46
Figura 24: Control message trigger	47
Figura 25: Configuración nodo comunicación TIA Portal.....	47
Figura 26: Nodo lectura Control message.....	47
Figura 27: Nodo nuevo mensaje.....	48
Figura 28: Nodo mensaje procesado.....	48
Figura 29: Nodo para fijar valor Control message.....	48
Figura 30: Nodo variable trigger	49
Figura 31: Nodo lectura variable.....	50
Figura 32: Nodos visualización	50
Figura 33: Nodo configuración grafica.....	50
Figura 34: Nodo configuración indicador	50
Figura 35: Nodo inserción base de datos	51
Figura 36: Nodo base de datos.....	51
Figura 37: Nodo reinicialización.....	52
Figura 38: Nodo lectura últimos 25 valores	52
Figura 39: Nodo selección 25 valores	52
Figura 40: Nodo para dar formato	53
Figura 41: Nodo para mostrar últimos 25 valores	53
Figura 42: Ventana del editor.....	54
Figura 43: Ejemplo de flujo	54

Figura 44: Ejemplos de nodos	55
Figura 45: Diálogo de edición de nodos – propiedades, descripción y pestañas de apariciencia.....	56
Figura 46: Nodo de configuración.....	56
Figura 47: Establecimiento de cableado entre nodos	57
Figura 48: Creación de un subflujo.....	57
Figura 49: Administrador de tareas	58
Figura 50: Barra lateral con la información de info, help y debug	60

Índice de tablas

Tabla 1: Definición fases evolutivas de Internet.....	13
Tabla 2: Capas superiores estructura modelo IoTWF	19
Tabla 3: Valores técnicos de la fuente de alimentación Siemens SITOP PSU100s [6].....	24
Tabla 4: Valores técnicos de la CPU 1512SP-1 de Siemens [6]	25
Tabla 5: Comparativa modelos familia IOT2000 Siemens [6].....	27
Tabla 6: Valores técnicos Arduino Uno [7]	29
Tabla 7: Valores técnicos Raspberry Pi Model 4 B [8]	31
Tabla 8: Tabla de precios simples	40
Tabla 9: Tabla de mano de obra.....	40
Tabla 10: Unidad de obra 1	41
Tabla 11: Unidad de obra 2	41
Tabla 12: Resumen del presupuesto	42

Capítulo I

Introducción

1.1 Motivación

La eficiencia energética en los procesos industriales se considera una de las bases para la competitividad y el crecimiento económico. En este sentido, la mayoría de los procesos alimentarios requieren sistemas de refrigeración de alto consumo para preservar la calidad y las propiedades de los productos. Por lo tanto, maximizar la eficiencia de estos sistemas de refrigeración para ahorrar energía en la industria alimentaria marca una diferencia considerable.

Alineado con las estrategias de ahorro de energía, el paradigma de la industria 4.0 abre nuevos caminos hacia estrategias de gestión energética más eficientes para los procesos industriales. Los datos recopilados en los sistemas de refrigeración industrial pueden convertirse en un activo clave para desarrollar metodologías novedosas para lograr una gestión energética eficiente.

En un sistema de refrigeración común, los espacios a refrigerar deben mantener una cierta temperatura, y normalmente están controlados por una banda muerta, lo que significa que los evaporadores se encienden cuando la temperatura alcanza el límite superior y se apagan cuando alcanzan el límite inferior. Por lo tanto, la capacidad

de refrigeración se utiliza aleatoriamente, así como el consumo de energía para satisfacer las necesidades de la demanda.

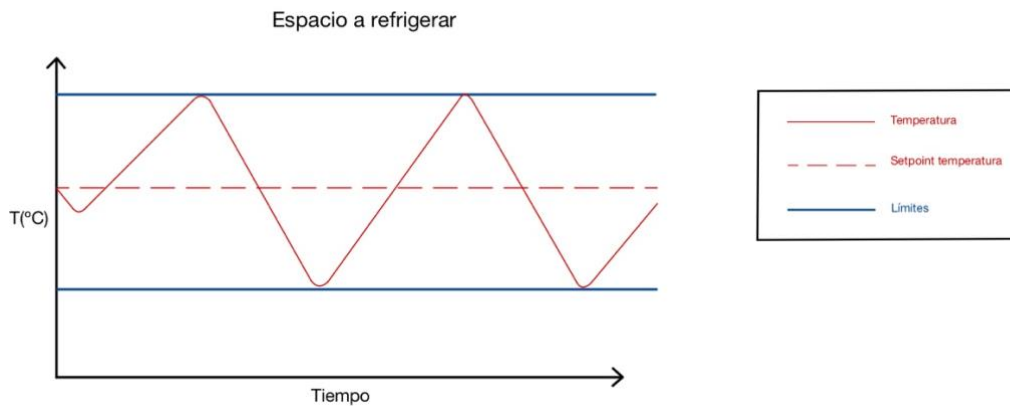


Figura 1: Ejemplo de un rango de temperatura permitido en un espacio específico para refrigerar

Como se puede observar en la primera imagen se consume demasiada energía en calentar y enfriar todo el rato, sin embargo, si se alcanza el objetivo de controlar la temperatura, se ahorraría mucha energía.

Los sistemas de refrigeración se mejoran comúnmente manipulando la parte de generación, compuesta por los compresores y los condensadores, o modificando las temperaturas de funcionamiento, la evaporación y la condensación. Así que para la recopilación de estos datos es necesario emplear diferentes sensores, como sensores de presión o sensores de temperatura, para así poder controlar el sistema.

Estas razones han sido la motivación de este proyecto, realizar la digitalización de un proceso de refrigeración industrial, para su posterior procesamiento de datos, por ejemplo, con el moldeo y monitorización de sistemas de fabricación, o predicción de fallos con una Inteligencia Artificial (AI).

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es el desarrollo de un prototipo de producto IoT que permita digitalizar los datos pertenecientes a un proceso industrial de refrigeración

Para alcanzar este objetivo es necesario cumplir con una serie de objetivos secundarios:

- Exponer las ventajas del internet de las cosas al proceso de medición y adquisición de datos, desarrollando una herramienta de medición con acceso remoto.
- Analizar las diferentes propuestas de hardware existentes en el mercado para el desarrollo de prototipos IoT y seleccionar una apropiada para la elaboración del proyecto.
- Obtención de una plataforma abierta, flexible y de bajo coste que permita explotar los equipos de medición.
- Definir el algoritmo que definirá las funciones necesarias para la adquisición de los datos de los sensores y su posterior procesamiento.
- Creación de un tablero para establecer una comunicación unidireccional con el PLC, que permita recibir y visualizar los datos en tiempo real.

1.3 Estructura del documento

Este apartado describe la estructura del trabajo, de forma que el lector tenga una visión general de los contenidos que se verán en los sucesivos capítulos:

- **Capítulo I: Introducción.** En este capítulo se describen los motivos para la realización del proyecto y los objetivos marcados.
- **Capítulo II: Industria 4.0.** Este capítulo contextualiza la industria 4.0 referenciando las cuatro fases de la revolución industrial y explicando las tecnologías disruptivas que están transformando el mundo de la industria.
- **Capítulo III: Internet de las Cosas.** El siguiente capítulo explica el nacimiento del Internet de las Cosas, su enorme impacto en nuestra sociedad y además también describe como es la arquitectura de una aplicación de Internet de las Cosas.
- **Capítulo IV: Diseño hardware.** En este capítulo se describen las distintas alternativas de pasarela estudiadas, el controlador y la fuente de alimentación utilizados.
- **Capítulo V: Diseño software.** Este apartado describe el software utilizado y programación para el funcionamiento de la solución de software
- **Capítulo VI: Presupuesto.** Descripción de un presupuesto con los precios detallados y precio total de la puesta en marcha.
- **Capítulo VII: Conclusiones.** Para finalizar se expondrán un breve recopilatorio de los aspectos más importantes de la solución, además de las posibles mejoras que se podrían aplicar.
- **Anexo A: Programación.** En este anexo se explica la programación realizada para la digitalización de los datos.
- **Anexo B: Conceptos de Node-RED.** Este anexo describe conceptos de interés, para el uso de la aplicación.
- **Anexo C: Datasheets.** Por último, este anexo contiene las hojas de datos de los dispositivos utilizados.

Capítulo II

Industria 4.0

Industria 4.0 fue introducido por el gobierno alemán con el soporte de industrias alemanas, para describir la digitalización de sistemas y procesos industriales, y su interconexión mediante el Internet de las Cosas para conseguir una mayor flexibilidad de los procesos productivos. La transformación digital de la industria y las empresas con la inclusión de nuevas tecnologías como Big Data, el Cloud Computing y la Ciberseguridad, todo ello enmarcado en las Ciudades inteligentes está produciendo el desarrollo de la Cuarta Revolución Industrial [1].

Los conceptos fundamentales vienen provocados por la digitalización del mundo físico, lo cual está provocando a su vez un gran desarrollo de la economía mundial. Esta revolución se prevé que cambiará la industria más incluso que el internet ha cambiado las comunicaciones, consumo, ocio y publicidad

2.1 Las cuatro revoluciones industriales

La cuarta revolución industrial [1] hace referencia a las cuatro fases de la revolución industrial:

- **Primera revolución industrial**

La primera revolución industrial es el proceso de transformación social, económica y tecnológica que se inició en la segunda mitad del siglo XVIII en Reino Unido y se extendió a casi toda Europa Occidental y Norteamérica, encontrando su final entre 1820 y 1840.

Posiblemente fue en mayor cambio socioeconómico, tecnológico y cultural en la historia de la humanidad desde el neolítico. La economía basada en el trabajo manual transitó a otra dominada por la industria. Sus mayores puntos para destacar fueron:

- 1) la creación del ferrocarril, que revolucionó el transporte, permitiendo el transporte en grandes cantidades de personas y mercancías.
- 2) El incremento de la capacidad de producción debido al uso del carbón como materia prima, usado como combustible en la máquina de vapor, creada por James Watt (1785).
- 3) Crecimiento del uso del petróleo como materia prima, aún siendo el carbón la principal fuente de energía.
- 4) Socialmente tuvo gran impacto la migración de personas del campo a la ciudad, provocando el nacimiento del sector obrero.

▪ **Segunda revolución industrial**

La segunda revolución se convierte en un proceso de innovaciones tecnológicas, económicas, científicas y sociales producidas en paralelo con la consolidación del capitalismo como sistema económico. Con respecto al transporte, aparece el motor de combustión, provocando el desarrollo del aeroplano y el automóvil, y como grandes inventos aparece el teléfono y la radio. En este periodo las principales materias primas utilizadas como fuentes de energía son el gas y el petróleo, surgiendo nuevas materias primas dentro de la industria textil, como el plástico y otros nuevos tipos de tejidos.

▪ **Tercera revolución industrial**

La tercera revolución industrial [2], concepto creado por Jeremy Rifkin, es conocida también como revolución de la inteligencia, uno de los grandes pensadores actuales y consultor tecnológico. Este concepto fue avalado, en junio de 2006, en una declaración formal aprobada por el Parlamento Europeo.

Observando la Segunda Revolución Industrial, caracterizada por el uso excesivo del petróleo, lo cual provocó la subida de precios de la energía y alimentos, el aumento de la deuda pública y privada, y el empeoramiento del cambio climático. Rifkin plantea un plan de desarrollo económico sostenible que nos lleve hacia un mejor futuro.

Según Rifkin la tercera revolución industrial está caracterizada por cinco pilares fundamentales, los cuales son:

- El cambio a una mayor utilización de las energías renovables.
- Una transformación cada vez mayor de cierto tipo de edificaciones en generadores de energía propiamente dichas.
- El desarrollo de las baterías recargables, de las pilas de hidrógeno, y otras nuevas tecnologías de almacenamiento de energía.
- El desarrollo de la red eléctrica inteligente o red de distribución de energía eléctrica “inteligente”.
- El desarrollo del transporte basado en el vehículo eléctrico utilizando electricidad renovable como energía de propulsión.

Los inventos de mayor relevancia que trajo consigo la Tercera Revolución Industrial son la utilización del silicio para el desarrollo de la microelectrónica, la utilización de nuevas fuentes de energía como las renovables y nuevos medios de comunicación (televisión, fax e internet). Estas innovaciones trajeron consigo:

- La descentralización de la producción y horarios más flexibles.
- La aparición de nuevas industrias como la electrónica y la informática.
- El desarrollo de la economía de servicios.
- La globalización de la economía.
- Impactos ambientales apreciables.

▪ **Cuarta revolución industrial**

La cuarta revolución industrial [1], conocida comúnmente como Industria 4.0, liderada por hombres de negocio, políticos y académicos, la definieron como “un medio para aumentar la competitividad de la industria alemana a través de la creciente integración de los sistemas ciberfísicos (CPS) en los procesos de fabricación”. Sistemas ciberfísicos es un término genérico utilizado para representar la integración de las máquinas inteligentes, conectadas a Internet, y la mano de obra humana.

La iniciativa Industria 4.0 no solo encontró un apoyo masivo en Alemania, sino que su alcance llegó muchas otras partes del mundo. Los Estados Unidos siguieron pronto la iniciativa y estableció un consorcio industrial de Internet, liderado por gigantes de la industria tales como General Electric, AT&T, IBM e Intel. En España, la pionera en lanzar su iniciativa de Industria 4.0 fue la comunidad autónoma de País Vasco. Lo que conllevó que, el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo anunciara en julio de 2015, en colaboración con Banco Santander, Telefónica e Indra, la iniciativa Industria Conectada 4.0. Esta iniciativa fue presentada oficialmente, en octubre del mismo año, ya como proyecto oficial del estado, con ayuda presupuestaria dirigida a empresas que se sumasen a la iniciativa.

Industria 4.0 viene dada después del nacimiento de la Cuarta Revolución Industrial y se corresponde con una nueva manera de organizar los medios de producción utilizando las tecnologías digitales y de datos a partir del Big Data —las enormes cantidades de datos que se podrán transmitir a través del Internet de las Cosas—.

Dentro de esta revolución surgen unas nuevas tecnologías que están revolucionando la forma actual que teníamos de verla y el modo en que interactuamos con ella.

- *Tecnologías disruptivas*

La mayoría de estas nueve tecnologías [1] ya se usaban anteriormente en las fábricas, sin embargo, en la Industria 4.0 es donde estas tecnologías están transformando la producción:

- Robots autónomos: La industria lleva mucho tiempo abordando tareas complejas con robots, pero es ahora cuando los robots están evolucionando para alcanzar mayor utilidad. Cada vez son más autónomos, flexibles, colaborativos y cooperativos hasta tal punto que interactúan entre ellos, y trabajan junto a los humanos de forma segura, aprendiendo de ellos. Estos robots cada vez costarán menos y tendrán más capacidades que los que tenemos actualmente
- Simulación. Hoy en día ya se usan las simulaciones 3D de productos, materiales y procesos dentro de las fábricas, pero en un futuro se prevé que

procesarán datos en tiempo real creando una simulación virtual del mundo físico, el cual incluirá máquinas, productos y humanos. Esto permitirá a los operadores poder realizar pruebas y optimizar la configuración de las máquinas dentro de la simulación antes de realizar los cambios en el mundo físico, reduciendo los errores y mejorando la calidad.

- Sistemas de integración horizontal y vertical. Una gran parte de los sistemas TI (tecnologías de la información) no están completamente integrados en la actualidad. Las compañías, los distribuidores y los clientes o los departamentos como ingeniería, producción o servicio no suelen estar estrechamente vinculados. Incluso el departamento de ingeniería en sí mismo carece de completa cohesión. Sin embargo, con la Industria 4.0 todo esto está cambiando y las capacidades estarán mucho más integradas. Evolucionarán a unas redes universales de integración de datos y permitirán cadenas de valor verdaderamente automatizadas.
- Internet industrial de las cosas. Generalmente se organizan mediante una pirámide de automatización vertical en la cual los sensores, los dispositivos de campo con inteligencia limitada y los controladores están gestionados por un sistema de control. Pero con el internet industrial de las cosas, una gran proporción de dispositivos se nutrirán de la computación embebida y tendrán conexión entre ellos. También descentralizará el análisis y la toma de decisiones, permitiendo respuestas en tiempo real.
- Ciberseguridad. Gran parte de las compañías dependen de sistemas de gestión y producción cerrados, pero con el crecimiento del uso de protocolos de comunicación estándar y conectividad que conlleva la Industria 4.0, surge la necesidad de proteger los sistemas industriales y líneas de fabricación frente a las amenazas de ciberseguridad. Como conclusión, es primordial tanto tener comunicaciones seguras como sofisticados sistemas de gestión de identidad y acceso de máquinas y usuarios.
- Computación en la nube. Las empresas para algunas aplicaciones y análisis de datos ya usan software basado en la nube, pero con la Industria 4.0 muchas tareas relacionadas con la producción necesitarán mayor intercambio de datos

entre lugares y compañías. A la vez, el rendimiento de este software mejorará, alcanzando unos tiempos de reacción mucho menores. En conclusión, los datos y la funcionalidad de las máquinas irán progresivamente haciendo un mayor uso de sistemas de computación en la nube, permitiendo más servicios basados en datos. Los sistemas de control y monitorización de procesos también podrían estar basados en la nube.

- Fabricación aditiva. Las compañías empiezan a utilizar esta tecnología, la cual se usa en gran parte para la producción de prototipos y componentes individuales. Sin embargo, con la Industria 4.0, estos métodos de fabricación aditiva serán usados ampliamente para producir lotes de productos personalizados, con ventajas como son los diseños ligeros y complejos. Los sistemas de fabricación aditiva descentralizados reducirán las distancias de transporte y el stock de productos.
- Realidad aumentada. En un futuro esta tecnología proporcionará a los trabajadores información en tiempo real con el objetivo de mejorar la toma de decisiones y los procedimientos de trabajo. Por ejemplo, podrían recibir instrucciones de cómo sustituir una pieza mientras están mirando el propio sistema bajo reparación, a través de unas gafas de realidad aumentada.
- Big Data y Analytics. El análisis de grandes cantidades de datos se ha incluido recientemente dentro del mundo industrial, permitiendo optimizar la calidad de la producción, ahorrar energía y mejorar el equipamiento. Pero con la implementación de la industria 4.0, la adquisición y evaluación de datos procedente de numerosas fuentes diferentes se convertirá en norma para el apoyo en la toma de decisiones en tiempo real.

Capítulo III

Internet de las Cosas

La premisa básica y el objetivo del IoT [3] es “conectar a los no conectados”. Esto significa que los objetos que actualmente no están unidos a una red informática, como por ejemplo internet, se conectarán para que puedan comunicarse e interactuar con personas y otros objetos. IoT es una transición tecnológica en la que en un futuro próximo los dispositivos permitirán detectar y controlar el mundo físico haciendo que los objetos sean más inteligentes y conectándolos a través de una red inteligente.

Cuando los objetos y las máquinas se pueden detectar y controlar de forma remota a través de una red, se habilita una integración más estrecha entre el mundo físico y las computadoras. Esto permite mejoras en las áreas de eficiencia, precisión, automatización y habilitación de aplicaciones avanzadas.

El mundo del IoT es amplio y multifacético, e incluso puede que al principio te resulte algo complicado debido a la gran cantidad de componentes y protocolos que abarca. En lugar de ver el IoT como un solo dominio tecnológico, es bueno verlo como un paraguas de varios conceptos, protocolos y tecnologías, todos los cuales a veces dependen en cierta medida de una industria en particular. Si bien la amplia gama de elementos de IoT está diseñada para crear numerosos beneficios en las áreas de productividad y automatización, al mismo tiempo introduce nuevos desafíos, como escalar el gran número de dispositivos y cantidades de datos que necesitan ser procesados.

3.1 Génesis del IoT

A menudo se dice que la era del IoT comenzó entre los años 2008 y 2009. Durante este período de tiempo, el número de dispositivos conectados a Internet eclipsó a la población mundial. Con más "cosas" conectadas a Internet que personas en el mundo, una nueva era estaba sobre nosotros, y nació el Internet de las Cosas.

La persona a la que se le atribuye la creación del término "Internet de las cosas" es Kevin Ashton. Mientras trabajaba para Procter & Gamble en 1999, Kevin usó esta frase para explicar una nueva idea relacionada con la vinculación de la cadena de suministro de la empresa a Internet.

Kevin ha explicado posteriormente que el IoT ahora implica la adición de sentidos a las computadoras. Se le citó diciendo: "En el siglo XX, las computadoras eran cerebros sin sentidos, solo sabían lo que les decíamos". Las computadoras dependían de los seres humanos para ingresar datos y conocimientos a través de la mecanografía, los códigos de barras, etc. IoT está cambiando este paradigma; en el siglo XXI, las computadoras están sintiendo las cosas por sí mismas.

Como se muestra en la siguiente figura, la evolución de Internet se puede clasificar en cuatro fases. Cada una de estas fases ha tenido un profundo impacto en nuestra sociedad y nuestras vidas. Estas cuatro fases se definen con más detalle en la tabla 1.

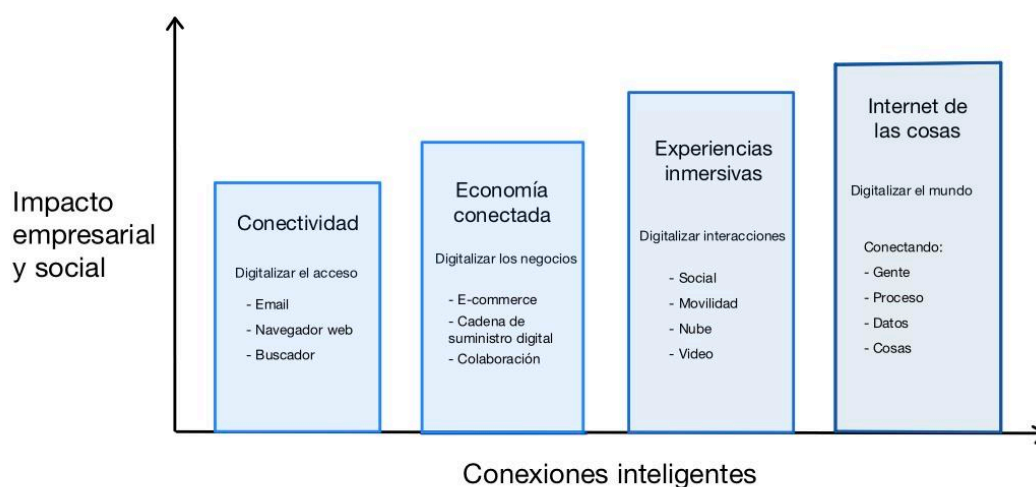


Figura 2: Fases evolutivas de Internet

Tabla 1: Definición fases evolutivas de Internet

Fase	Definición
Conectividad	Esta fase conectó a las personas con el correo electrónico, los servicios web y la búsqueda para permitir el fácil acceso a la información.
Economía conectada	Esta fase permitió mejorar el comercio electrónico y la cadena de suministro junto con el compromiso colaborativo para impulsar una mayor eficiencia en los procesos comerciales.
Experiencias inmersivas	Esta fase extendió la experiencia de Internet para abarcar videos y redes sociales generalizados, mientras que siempre estuvo conectado a través de la movilidad. Cada vez más aplicaciones se trasladan a la nube.
Internet de las cosas	Esta fase consiste en agregar conectividad a objetos y máquinas en el mundo que nos rodea para permitir nuevos servicios y experiencias. Está conectando lo desconectado.

3.2 Impacto del IoT

Las proyecciones sobre el impacto potencial del IoT son impresionantes. Alrededor de 14 mil millones, o solo el 0,06%, de las “cosas” están conectadas a Internet hoy en día. Según Statista (plataforma de datos comerciales) en 2025 alcanzaremos el número de 75,44 mil millones de dispositivos conectados a internet.

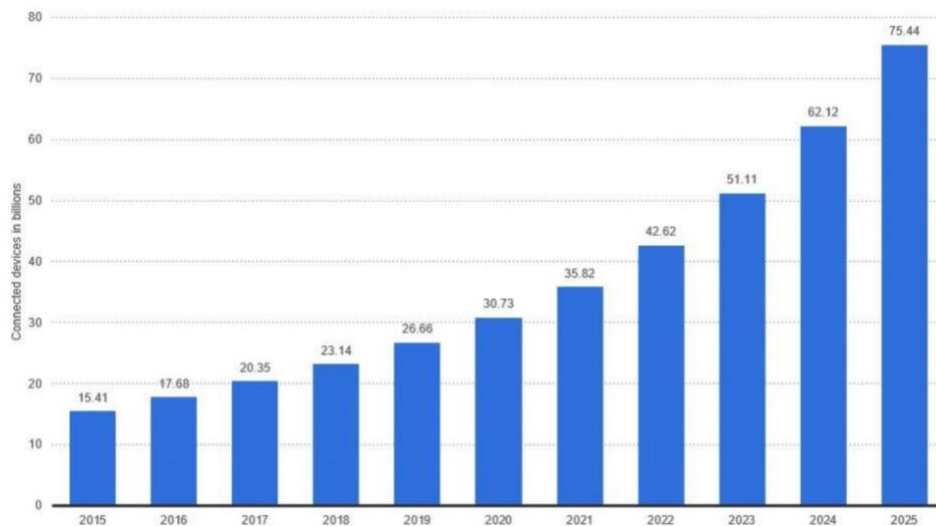


Figura 3: Base de dispositivos conectados de Internet de las cosas instalados en todo el mundo desde 2015 hasta 2025 (en mil millones). [4]

Lo que estos números significan es que el IoT cambiará fundamentalmente la forma en que las personas y las empresas interactúan con su entorno. La gestión y la supervisión de objetos inteligentes utilizando conectividad en tiempo real permite un nuevo nivel de toma de decisiones basada en datos. Esto a su vez resulta en la optimización de sistemas y procesos, y ofrece nuevos servicios que ahorran tiempo tanto para las personas como para las empresas al tiempo que mejoran la calidad de vida general.

3.2.1 Fábrica conectada

Durante años, las fábricas tradicionales han estado operando obstaculizadas por entornos de producción que están "desconectados" o, al menos, "estrictamente cerrados" a los sistemas empresariales corporativos, las cadenas de suministro y los clientes y socios. Los gerentes de estas fábricas tradicionales son esencialmente "ciegos voladores" y carecen de visibilidad de sus operaciones. Estas operaciones se

componen de plantas, oficinas principales y proveedores que operan en silos independientes. En consecuencia, rectificar los problemas de tiempo de inactividad, los problemas de calidad y las causas profundas de diversas ineficiencias manufactureras a menudo es difícil.

Los principales desafíos que enfrenta la fabricación en un entorno de fábrica hoy en día incluyen los siguientes:

- Acelerar las nuevas introducciones de productos y servicios para satisfacer las oportunidades de los clientes y del mercado.
- Aumentar la producción, la calidad y el tiempo de actividad de la planta mientras se disminuye el costo.
- Mitigación del tiempo de inactividad no planificado (que desperdicia, en promedio, al menos el 5% de la producción).
- Proteger a las fábricas de las amenazas cibernéticas.
- Disminución de los altos costos de cableado y recableado (hasta el 60% de los costos de implementación).
- Mejorar la productividad y la seguridad de los trabajadores.

Añadiendo otro nivel de complicación a estos desafíos es el hecho de que a menudo necesitan ser abordados en varios niveles del negocio manufacturero. Por ejemplo, la dirección ejecutiva está buscando nuevas formas de fabricar de una manera más rentable mientras equilibra los crecientes costos de energía y materiales. El desarrollo de productos tiene tiempo para comercializar como la máxima prioridad. Los gerentes de planta están totalmente enfocados en los aumentos en eficiencia de la planta y agilidad operativa. El departamento de controles y automatización se ocupa de las redes, controles y aplicaciones de la planta y, por lo tanto, requiere una visibilidad completa de todos estos sistemas.

Las empresas industriales de todo el mundo están reequipando sus fábricas con tecnologías y arquitecturas avanzadas para resolver estos problemas e impulsar la flexibilidad y velocidad de fabricación. Estas mejoras les ayudan a lograr nuevos niveles de eficacia general del equipo, capacidad de respuesta de la cadena de suministro y satisfacción del cliente. Está empezando a producirse una convergencia

de tecnologías y arquitecturas operativas basadas en fábricas con redes globales de TI, y esto se conoce como la *fábrica conectada*.

Ya hay un gran número de sensores básicos en los pisos de las fábricas. Sin embargo, con IoT, estos sensores no solo se vuelven más avanzados, sino que también alcanzan un nuevo nivel de conectividad. Son más inteligentes y obtienen la capacidad de comunicarse, principalmente utilizando el Protocolo de Internet (IP) a través de una infraestructura Ethernet.

Además de los sensores, los dispositivos en el piso de la planta son cada vez más inteligentes en su capacidad de transmitir y recibir grandes cantidades de datos informativos y de diagnóstico en tiempo real. La conectividad Ethernet se está extendiendo y extendiéndose más allá de los controladores principales de una fábrica a dispositivos como los robots en el piso de la planta. Además, se están agregando más dispositivos habilitados para IP, incluyendo cámaras de video, objetos inteligentes de diagnóstico e incluso dispositivos móviles personales, al entorno de fabricación.

3.2.2 Arquitectura IoT

En 2014, el comité de arquitectura IoTWF (Internet of Things World Forum) publicó un modelo de referencia arquitectónica de IoT de siete capas. Si bien existen varios modelos de referencia de IoT, el presentado por el Foro Mundial de IoT ofrece una perspectiva limpia y simplificada sobre IoT e incluye computación perimetral, almacenamiento de datos y acceso. Proporciona una forma sucinta de visualizar el IoT desde una perspectiva técnica. Cada una de las siete capas se divide en funciones específicas, y la seguridad abarca todo el modelo. La siguiente figura detalla el Modelo de Referencia de IoT publicado por el IoTWF.

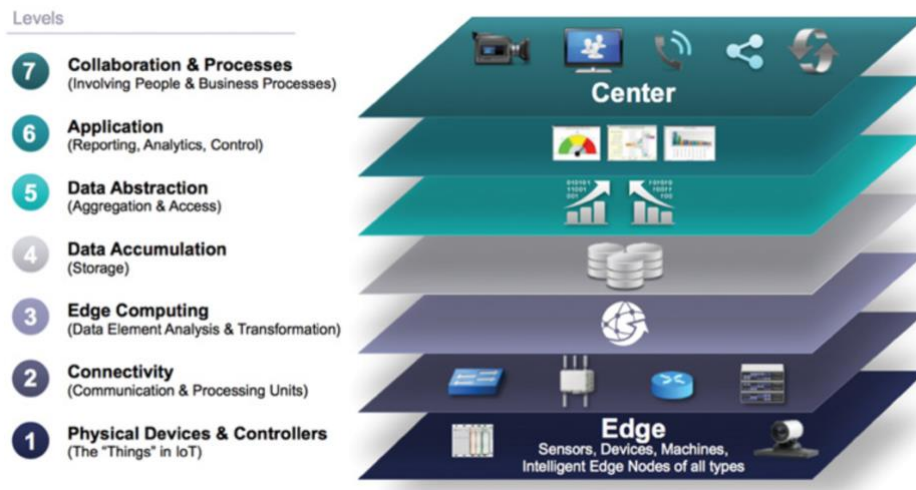


Figura 4: Modelo de referencia de IoT publicado por el Foro Mundial de IoT

El modelo de Referencia de IoT define un conjunto de niveles con control que fluye desde el centro (esto podría ser un servicio en la nube o un centro de datos dedicado), hasta el perímetro, que incluye sensores, dispositivos, máquinas y otros tipos de nodos finales inteligentes. En general, los datos viajan por la pila, originándose desde el borde, y van hacia el norte hasta el centro. Utilizando este modelo, se puede lograr lo siguiente:

- Descomponer el sistema IoT en partes más pequeñas.
- Identificar diferentes tecnologías en cada capa y cómo se relacionan entre sí.
- Definir un sistema en el que diferentes proveedores puedan proporcionar diferentes partes.
- Tener un proceso de definición de interfaces que conduzca a la interoperabilidad.
- Definir un modelo de seguridad por niveles que se aplica en los puntos de transición entre niveles.

Capa 1: Dispositivos físicos y controladores

La primera capa del modelo de referencia de IoT es la capa de dispositivos físicos y controladores. Esta capa es el hogar de las "cosas" en el Internet de las Cosas, incluidos los diversos dispositivos y sensores que envían y reciben información. El tamaño de estas "cosas" puede variar desde sensores casi microscópicos hasta

máquinas gigantes en una fábrica. Su función principal es generar datos y ser capaces de ser consultados y/o controlados a través de una red.

Capa 2: Capas de conectividad

En la segunda capa del Modelo de Referencia de IoT, el enfoque está en la conectividad. La función más importante de esta capa de IoT es la transmisión confiable y oportuna de datos. Más específicamente, esto incluye transmisiones entre dispositivos de capa 1 y la red y entre la red y el procesamiento de información que se produce en la capa 3 (la capa de computación perimetral).

La capa de conectividad abarca todos los elementos de red de IoT. Las funciones de la capa de conectividad son:

- Comunicaciones entre los dispositivos de la capa 1.
- Entrega confiable a través de la red.
- Conmutación y enrutamiento.
- Traducción entre protocolos.
- Seguridad a nivel de red.

Capa 3: Capa de computación perimetral

La computación perimetral es el palen de la capa 3. En esta capa, el énfasis está en la reducción de datos y la conversión de los flujos de datos de red en información que está lista para su almacenamiento y procesamiento por capas superiores. Uno de los principios básicos de este modelo de referencia es que el procesamiento de la información se inicie lo antes posible y lo más cerca posible del borde de la red.

Otra función importante que se produce en la capa 3 es la evaluación de los datos para ver si se pueden filtrar o agregar antes de enviarlos a una capa superior. Esto también permite que los datos sean reformateados o decodificados, lo que facilita el procesamiento adicional por otros sistemas. Por lo tanto, una función crítica es evaluar los datos para ver si se cruzan umbrales predefinidos y se debe enviar cualquier acción o alerta.

Capas superiores: Capas 4-7

Las capas superiores se ocupan del manejo y procesamiento de los datos de IoT generados por la capa inferior. En aras de la integridad, las capas 4-7 del Modelo de Referencia de IoT se resumen en la siguiente Tabla.

Tabla 2: Capas superiores estructura modelo IoTWF

Capa del modelo de IoT	Funciones
Capa 4: Capa de acumulación de datos	Captura datos y los almacena par que las aplicaciones puedan utilizarlos cuando sea necesario. Convierte datos basados en eventos en procesamiento basado en consultas.
Capa 5: Capa de abstracción de datos	Concuerda múltiples formatos de datos y asegura una semántica consistente de varias fuentes. Confirma que el conjunto de datos está completo y consolida los datos en un solo lugar o en varios almacenes de datos mediante la virtualización.
Capa 6: Capa de aplicaciones	interpreta datos usando aplicaciones de software. Las aplicaciones pueden monitorear, controlar y proporcionar informes basados en el análisis de los datos.
Capa 7: Capa de colaboración y procesos	Consume y comparte la información de la aplicación. Colaborar y comunicar la información de IoT a menudo requiere varios pasos, y es lo que hace que IoT sea útil. Esta capa puede cambiar los procesos comerciales y ofrece los beneficios de IoT.

3.3 Aplicación IoT para la refrigeración energética

Dentro del Internet de las cosas, uno de los campos de aplicación más prometedores es el área de la eficiencia energética, añadiendo la posibilidad de agregar a casi cada componente de medición y control, la conectividad para recolectar datos, concentrarlo en una plataforma y así poder lograr un mejor entendimiento del proceso para tomar mejores decisiones en materia de medidas de ahorro.

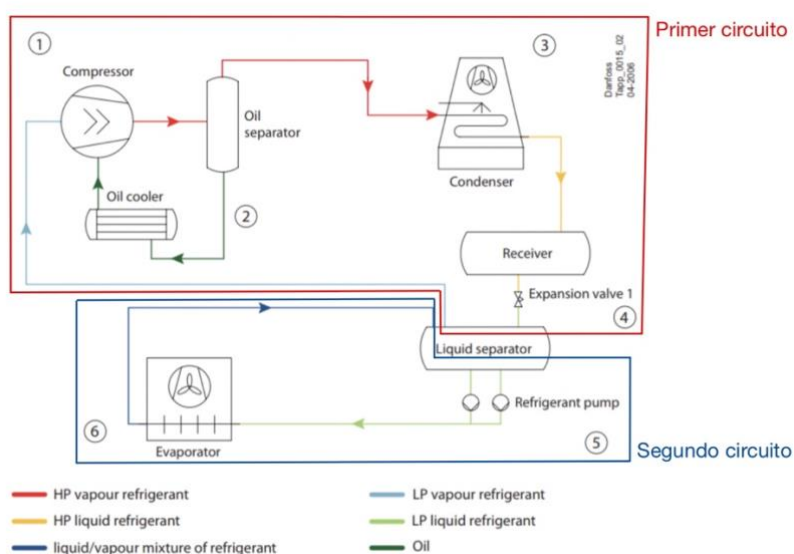


Figura 5: Ciclo frigorífico simplificado

El objetivo de estos sistemas es eliminar el calor de un espacio. Para llevar a cabo esta tarea, el refrigerante circula a través del sistema descrito en la Figura 5. Este sistema consta de dos circuitos principales, el primero está compuesto por un condensador, un compresor, un dispositivo de expansión, un separador de líquidos y un receptor. El segundo está compuesto por el separador de líquidos, un elemento común en ambos circuitos, dos bombas para forzar la recirculación de líquidos y un evaporador para refrigerar de la instalación.

En el primer circuito, el refrigerante en estado de vapor es succionado por el compresor del separador de líquidos para aumentar la presión del refrigerante. Para realizar ese trabajo y proporcionar suficiente capacidad de refrigeración para satisfacer la demanda de la planta, un compresor de tornillo se encuentra en paralelo. Estos compresores son la parte del sistema que consume la mayor parte de la energía y también su rendimiento se reduce en gran medida cuando su válvula deslizante, el

mecanismo utilizado para cambiar la capacidad, está por debajo de las condiciones nominales. Los compresores de tornillo son los más utilizados en sistemas de refrigeración industrial con enormes capacidades de refrigeración para suministrar.

Posteriormente, en el condensador, el refrigerante se enfría para cambiar la fase de vapor a líquido y rechazar el calor. Finalmente, el separador de líquidos, que es la parte común de ambos circuitos, contiene el refrigerante en una mezcla de un estado vapor-líquido. La presión dentro del receptor es mantenida por el compresor y su punto de ajuste se establece teniendo en cuenta la temperatura de evaporación deseada.

En el segundo circuito, el refrigerante es aspirado por las bombas y llevado al evaporador. Las bombas se utilizan para garantizar el flujo másico de sobrealimentación del refrigerante a través del evaporador junto con los espacios de refrigeración de la instalación. Posteriormente, en el evaporador, el refrigerante se evapora parcialmente y luego se devuelve al separador de líquidos. Dicho evaporador se enciende o apaga de acuerdo con los rangos de temperatura. Cuando un espacio para refrigerar está por encima del rango deseado, se encienden más evaporadores, mientras que cuando la temperatura está por debajo del rango, los evaporadores se apagan.

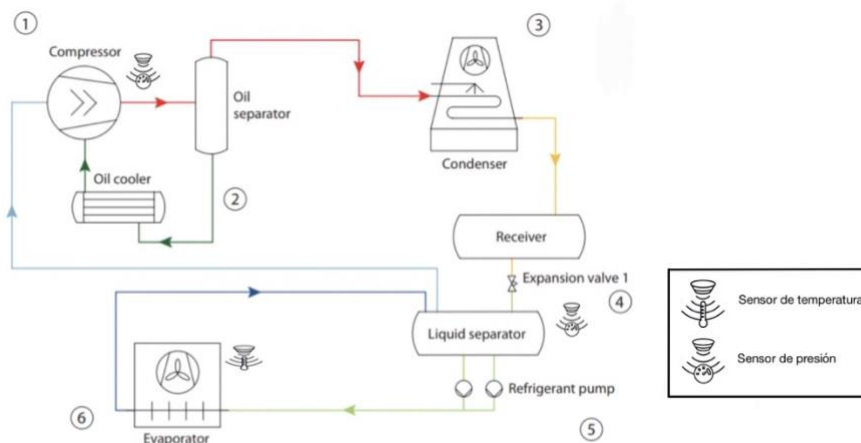


Figura 6: Ciclo frigorífico con sensores de medición [5]

El funcionamiento descrito del sistema de refrigeración está siendo monitoreado y controlado constantemente por medio de las diferentes señales adquiridas, como se puede ver en la Figura 7. Toda la información recopilada en el sistema se adquiere empleando sensores de presión y sensores de temperatura, leídos por el controlador.

La mejora en términos de eficiencia de los sistemas de refrigeración suele realizarse manipulando la parte de generación, compuesta por los compresores y los condensadores, o modificando las temperaturas de funcionamiento, la evaporación y la condensación. Esta parte es gestionada por el controlador, configurando el sistema de cargas, para que así los espacios a refrigerar mantengan una temperatura más constante, permitiendo mejorar la eficiencia.

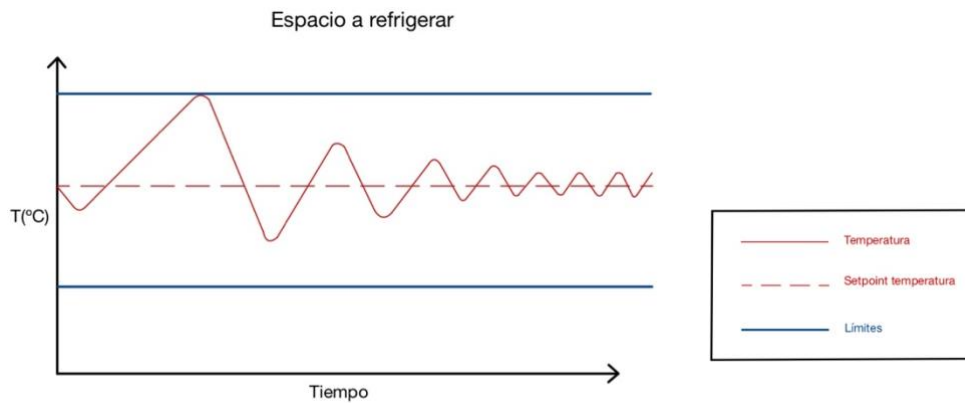


Figura 7: Temperatura permitida en un espacio a refrigerar controlada

Capítulo IV

Diseño hardware

En este apartado se encontrará la descripción de los dispositivos usados en la solución y una comparativa de las pasarelas más interesantes a usar. Todo lo que está descrito hace referencia a la primera capa de la estructura IoT.

4.1 Escenario general

La solución IoT se ve separada en tres partes con el fin de digitalizar los datos: el Controlador Lógico programable (PLC) y los sensores, la pasarela y la base de datos y por último el tablero o dashboard. Cada una tiene ciertas funciones dentro del proceso para que todo funcione.

En primer lugar, el controlador convierte las señales de los sensores analógicos a un valor Real para poder trabajar con ellos.

Posteriormente, la pasarela adquiere y filtra esos datos del controlador, almacenándolos dentro de una base de datos interna.

Por último, se muestran los datos en el tablero en tiempo real y un histórico de los datos durante el último día.

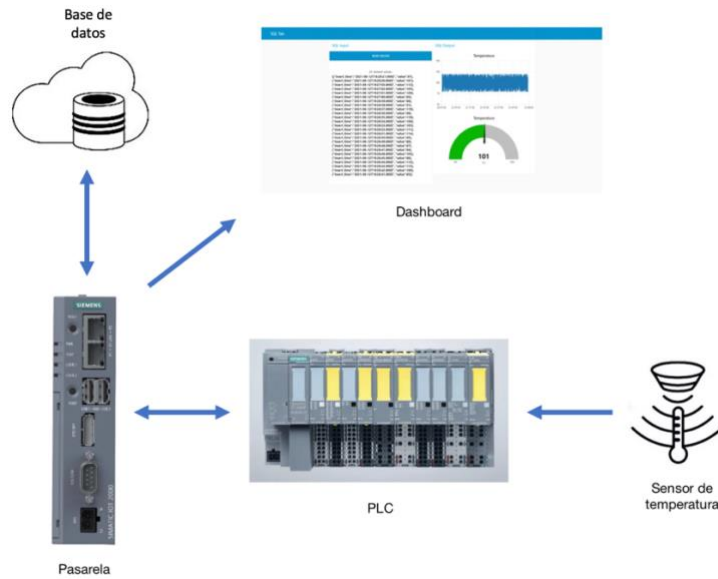


Figura 8: Escenario general.

4.1 Fuente de alimentación

Se trata de una fuente de alimentación Siemens SITOP PSU100S [6]. La cual tiene las siguientes características:

Tabla 3: Valores técnicos de la fuente de alimentación Siemens SITOP PSU100s [6]

	Valores
Tensión nominal de entrada	120...230 V AC
Intensidad nominal de entrada	0,74...1,25 A
Rango de frecuencia	47...63 Hz
Tensión nominal de salida	24 V
Corriente nominal de salida	2,5 A
Conexión paralela	SI
Rango de temperatura	0...60 °C
Protección	IP20
Dimensiones	32,5 x 125 x 120 mm
Peso	320 g
Precio	144,62 € (175 € inc. IVA)



Figura 9: Fuente de alimentación PSU100S [6]

4.2 Autómata Programable

La CPU utilizada es la 1512SP-1 para ET200SP [6] de Siemens. Sus principales características son:

Tabla 4: Valores técnicos de la CPU 1512SP-1 de Siemens [6]

	Valores
Tensión alimentación	24 V DC
Intensidad alimentación	0,6 A
Memoria	200 kbyte (ampliables hasta 32 Gbyte)
Puertos	3
Interfaz	PROFINET
Tiempo de ejecución para bits	48 ns
Rango de temperatura	0...60 °C
Protección	IP20
Dimensiones	100 x 117 x 75 mm
Peso	310 g
Precio	773,3 € (935,7 € inc. IVA)



Figura 10: CPU 1512SP-1 de Siemens [6]

4.3 Pasarela

4.3.1 Siemens SIMATIC IOT2050

La pasarela industrial SIMATIC IOT2050, con un procesador ARM (Advance Risc Machine) de Texas Instruments, es una plataforma abierta industrial con la que los clientes pueden implementar una amplia gama de aplicaciones en el entorno IoT, puerta de enlace y borde. Presenta numerosas interfaces y destaca principalmente debido a su capacidad de expansión, programación gratuita en lenguajes de alto nivel y la disponibilidad de una amplia gama de paquetes en el entorno Linux.

Forma parte del sistema de automatización SIMATIC a nivel mundial, es una oportunidad fácil y rentable para que cualquier planta de producción garantice una conexión con el mundo digital.

4.3.2 Siemens SIMATIC IOT2040

Como alternativa también debe de estar presente, el modelo anterior de la misma familia, el IOT2040. Tanto el IOT2040 como el IOT2050 están diseñados y fabricados por el mismo fabricante, por lo que el soporte y servicio técnico de ambos debería de ser el mismo, contando con un foro online dedicado a estos dispositivos (<https://support.industry.siemens.com/cs/start?lc=es-ES>). Sucede lo mismo con el apartado de software y, de hecho, ambos dispositivos cuentan con la misma imagen de arranque, mismos binarios y mismas librerías. Es por esto por lo que este detalle no estará incluido en la comparativa y, por lo tanto, para hacer el análisis comparativo

en este caso, se debe mirar únicamente hacia las características del hardware y, evidentemente, el precio.

Tabla 5: Comparativa modelos familia IOT2000 Siemens [6]

	SIMATIC IOT2040	SIMATIC IOT2040
Procesador	Intel Quark X1020	ARM TI AM6548 HS
Memoria RAM	1 Gb DDR3	2 Gb DDR4
Interfaces Ethernet	2	2
Interfaces PROFINET	0	2
Puerto serie	2	1
E/S digitales	No	20
Entradas analógicas	No	6
Controlador grafico	No	Integrado (con DisplayPort)
Precio	200,99 € (243,1 € inc. IVA)	347,45 € (420,41 € inc. IVA)

Como se puede ver en la tabla las características del IOT2040 son inferiores, aunque el precio también es menor. Sin embargo, teniendo en cuenta donde se aplica este proyecto, sería más recomendable elegir el IOT2050, ya que la diferencia de precio no es muy relevante comparándola con el resto de los equipos que pueden ir equipados en la planta industrial y el hecho de tener un controlador grafico integrado, pines digitales y analógicos ya integrados, y un número mayor de puertos hace que sea más versátil y tenga una vida útil mayor.

En cuanto a capacidad de almacenamiento, ésta viene dada por la tarjeta Micro SD que se utilice para grabar la imagen de arranque, y todos los programas que instalemos. Además de la tarjeta Micro SD también se le puede añadir hasta 2 discos duros externos en sus puertos USB 2.0, en este caso nos tendríamos que conectar mediante otro puerto como puede ser Ethernet.

4.3.3 Arduino

Arduino [7] es una plataforma de hardware libre, lo cual significa que cualquiera puede acceder a sus planos de fabricación y su diseño. Esta plataforma se compone principalmente de microcontroladores, los cuales son programables por el usuario de manera sencilla con un lenguaje de programación específico para *Arduino* basado en lenguaje C, con un entorno de programación abierto y gratuito.

Las principales ventajas que puede presentar la plataforma Arduino, sobre la familia IOT2000, es su precio y su tamaño. Esta plataforma, incluye la compatibilidad con distintos módulos llamados “Arduino Shields” que otorgan nuevas funcionalidades a estas placas, como por ejemplo interfaces Wifi, Ethernet o una mayor facilidad para conectar distintos sensores y actuadores como el caso del TinkerKit Shield, que permite conectar los sensores y actuadores directamente a la placa, sin el uso de la Breadboard.



Figura 11: Arduino Uno [7]



Figura 12: Tinkerkit Shield

Uno de los objetivos de este proyecto es la comunicación con otros dispositivos, por lo que será necesario el uso de un Shield que proporcione conectividad Wifi o Ethernet a la placa. Teniendo en cuenta que la extensión de funcionalidades que nos ofrecen estos Shields está limitada, a los pines de entrada y salida de la placa, mostrando aquí una desventaja frente al IOT2050, ya que el dispositivo de Siemens ya contiene puertos dedicados para tal conectividad además de ser compatible con la mayor parte de los Arduino Shield, haciendo posible prescindir de estas extensiones de conectividad, permitiendo extender otro tipo de funcionalidades.

Además, en cuanto a hardware, la plataforma Arduino es considerablemente inferior, con especificaciones muy simples, lo que las hace perfectas para tareas sencillas debido a su tamaño y pequeño consumo. En la siguiente tabla se muestran las características del Arduino más popular:

Tabla 6: Valores técnicos Arduino Uno [7]

Arduino UNO	
Microcontrolador	ATmega 328P(16MHz)
Memoria RAM	2 kb
Memoria flash	32 kb
Tensión de operación	5 V
Tensión de entrada	7-12 V
Pines de E/S digitales	14 (6 de ellos compatibles con PWM)
Pines de entradas analógicas	6
Corriente máxima por pin	20 mA
Dimensiones	68.6 x 53.4 mm
Peso	25 g
Precio	20 €

Como se puede ver en la tabla, las especificaciones quedan limitadas al almacenamiento de un simple programa y muy poca información, por lo que para este proyecto so serían adecuadas, ya que nosotros haríamos una copia de seguridad de los datos dentro del dispositivo. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las placas *Arduino* son una interesante propuesta de cara a ampliar el proyecto porque, gracias a su pequeño tamaño y bajo peso, pueden ampliar el sistema de forma modular, ayudando a implementarlo en lugares difíciles donde previamente no se podría.

4.3.4 Raspberry Pi

Esta plataforma es también una opción muy interesante a tener en cuenta, debido a su relación, capacidad y su versatilidad. De hecho, se puede decir que se acerca mucho a la plataforma SIMATIC en cuanto a posibilidades.

Raspberry Pi es una plataforma de hardware similar a Arduino, sin embargo, tanto en hardware como en software es superior, puesto que tiene unas características muy superiores a incluso compatibilidad con distintos sistemas operativos. Cuenta con una gran comunidad Open Source, lo cual hace que tenga una compatibilidad y funcionalidad muy extendida gracias a las distintas librerías, programas existentes y también cuenta con una gran cantidad de accesorios existente de los cuales hay mucha variedad debido a su extendida popularidad. Hay de destacar también su bajo coste, ya que la última versión comercializada se vende a partir de los aproximadamente 40 euros.

Sin embargo, este tipo de placas, aunque tienen distintos accesorios y carcasas que les proporcionan una mayor robustez, no están diseñadas para el entorno industrial y, por lo tanto, sus condiciones de operación pueden no ser adecuadas en algunas industrias, lo que lleva a restringir el uso de esta plataforma como complementos o módulos para este proyecto ya que, como las placas *Arduino*, tienen unas dimensiones muy pequeñas, son ligeras y se pueden obtener por precios muy bajos. Además, posee conectividad Bluetooth, lo cual permite comunicarse con el sistema de automatización de forma inalámbrica.

Otra desventaja de considerable importancia es que esta no está dotada de pines de entrada analógicos, lo cual se requiere para cualquier tipo de sensor. Por lo tanto, se necesitaría un circuito ADC externo, para poder implementarla.



Figura 13: Raspberry Pi [8]

En la siguiente tabla se pueden observar las características del último modelo comercial de la Raspberry Pi:

Tabla 7: Valores técnicos Raspberry Pi Model 4 B [8]

Raspberry Pi 4 Model B	
Microcontrolador	Quad core 64-bit ARM-Cortex A72 1.5GHz
Memoria RAM	1/2/4 Gb DDR4
Memoria flash	Ranura para MicroSD
Tensión de operación	5 V
Tensión de entrada	5 V
Pines de E/S digitales	40 (1 de ellos compatibles con PWM)
Pines de entradas analógicas	0 (requiere chips SDC externos)
Corriente máxima por pin	50 mA
Dimensiones	85 x 56 mm
Peso	25 g
Precio	Desde 43,9 €

0

4.3.5 Selección de la solución

Para hacer una selección entre las distintas alternativas propuestas es necesario realizar una comparación entre estas, realizando un análisis detallado de las ventajas y desventajas propuestas previamente para cada alternativa. Para ello, se ha elaborado una tabla con los posibles requerimientos que se pueden presentar en lugares donde se va a implementar el sistema propuesto en el proyecto, introduciendo SÍ en caso favorable o que suponga una ventaja y NO en caso desfavorable o en caso de que suponga una desventaja:

	Simatic IOT20XX	Arduino	Raspberry Pi
Diseñado para ámbito industrial	SÍ	NO	NO
Compatibilidad con sistemas operativos	SÍ	NO	SÍ
Compatibilidad con multitud de protocolos	SÍ	NO	SÍ
Conectividad	SÍ	SÍ (con Arduino Shield)	SÍ
Capacidad de información	SÍ	NO	SÍ
Capacidad de procesamiento	SÍ	NO	SÍ
Memoria RAM	SÍ	NO	SÍ
Pines de entrada analógicos	SÍ	SÍ	NO
Pines de salida analógicos	SÍ	SÍ	NO
Tamaño y peso	NO	SÍ	SÍ
Precio	NO	SÍ	SÍ
TOTAL	9	5	8

Como se puede ver, la propuesta más adecuada es la serie SIMATIC IOT2000 de Siemens, de la cual se escogerá el IOT2050 por razones ya comentadas en el correspondiente apartado. Se puede decir que la plataforma Raspberry Pi también podría ser adecuada, aunque pese a tener pocas desventajas, están son de gran importancia lo cual lleva a descartarla como elección.



Figura 14: Solución IoT

En esta imagen se pueden ver los dispositivos elegidos en este apartado, a la izquierda se encuentra el SIMATIC IOT2050, en el centro la fuente de alimentación SITOP PSU100S y a la derecha la CPU 1512SP-1 de Siemens.

Capítulo V

Diseño software

Primero se ubica una breve introducción a lo que sería el entorno de programación de Node-RED, posteriormente una explicación del acondicionamiento de la pasarela, después otra breve explicación de la base de datos y por último unos diagramas con la programación explicada.

5.1 Node-Red

Node-Red [9] es una herramienta de programación visual. Muestra visualmente las relaciones y funciones, y permite al usuario programar sin tener que escribir una línea. Node-Red es un editor de flujo basado en el navegador donde se puede añadir o eliminar nodos y conectarlos entre sí con el fin de hacer que se comuniquen entre ellos.

Se ha convertido en el estándar open-source para la gestión y procesamiento de datos en tiempo real, logrando simplificar los procesos entre productores y consumidores de información. Se ha consolidado como framework open-source para la gestión y transformación de datos en tiempo real en entornos de Industria 4.0, IOT, Marketing digital o sistemas de Inteligencia Artificial entre otros. La sencillez de aprendizaje y uso, que no requiere de conocimientos de programación, su robustez y la necesidad de bajos recursos de cómputo ha permitido que hoy en día se encuentre integrado en prácticamente la mayoría de dispositivos IOT e IIOT del mercado, así como equipos Raspberry, sistemas basados en la nube o equipos locales.

Fue creada por Nick O’Leary y Dave Conway-Jones del grupo de Servicios de Tecnologías Emergentes de IBM en el año 2013. Su objetivo es dar solución a la complejidad que surge cuando queremos integrar nuestro hardware con otros servicios. Está creado a partir de Node.js y la librería de JavaScript D3.js.

La estructura mínima son los nodos. Estos se arrastran a través de la interfaz gráfica y nos permiten hacer una tarea concreta. Recibir una llamada HTTP, un mensaje MQTT o la activación de un pulsador.

Todos estos nodos se organizan en flujos o flows que agrupan nodos que se conectan entre ellos. Todo de una forma visual, sin apenas tener que programar.

5.2 Configuración de la pasarela

Como se explica en el apartado 5.1, se trata de un dispositivo abierto en el cual hay que instalar una imagen, para el funcionamiento del dispositivo. En este caso, se ha utilizado una imagen de Debian ya que se trata de un sistema operativo libre, desarrollado por miles de voluntarios de todo el mundo, que colaboran a través de internet.

Fue elegido ya que se caracteriza por tener el sistema operativo más estable posible. Esto se logra por medio de paquetes y librerías antiguas, pero con muchos meses de pruebas, asegurando la máxima estabilidad por cada versión que es lanzada por la comunidad de Debian.

Ya instalado el SO, lo siguiente es la instalación de Node-RED mediante PuTTY un cliente SSH (Secure Shell) con licencia libre. Esto permite un acceso remoto al dispositivo por medio de un canal seguro en el que toda la información está cifrada.

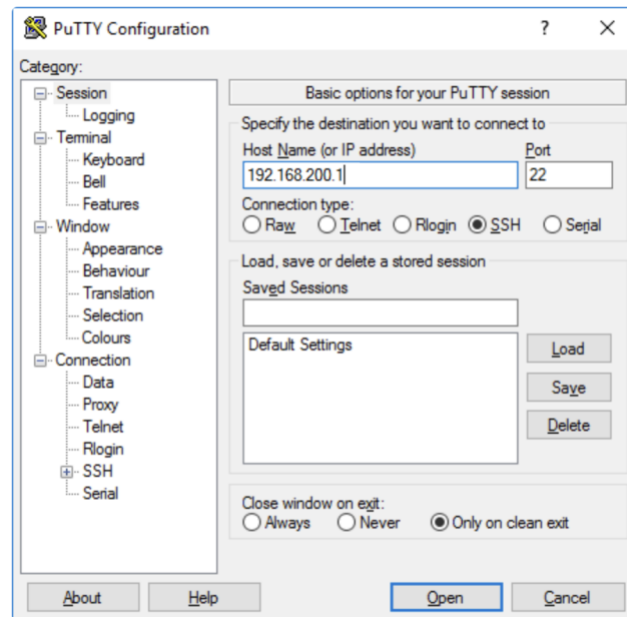


Figura 15: Ventana de configuración de PuTTY

Además de instalar Node-RED también hay que cambiar la configuración a una IP fija para que no cree conflictos con otros dispositivos que estén en la misma subred, como en este caso puede ser el controlador.

Ya habiendo instalado Node-RED y habiendo hecho toda la configuración de red, el siguiente paso es comunicarse con el controlador. Para poder adquirir datos de TIA Portal, se instaló unos nodos de una paleta, creada por Siemens, con la cual se puede comunicar con un protocolo de comunicación Ethernet.

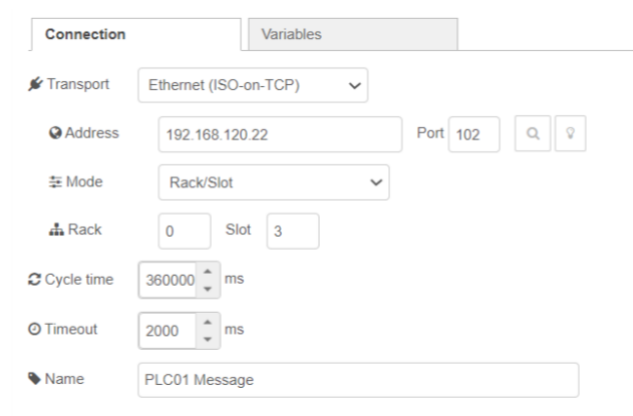


Figura 16: Configuración para conexión con TIA Portal

En el cual como se puede apreciar en la imagen, introduciendo los datos del PLC e indicando las posición y tipos de dato de las variables, ya se podrían adquirir los datos.

5.3 Base de datos

MariaDB [10] se define como un sistema de gestión de bases de datos derivado de MySQL con licencia GPL (General Public License). Es desarrollado por Michael Widenius, fundador de MySQL, la fundación MariaDB y la comunidad de desarrolladores de software libre. Introduce dos motores de almacenamiento nuevos, uno llamado Aria y otro llamado XtraDB. Tiene una alta compatibilidad con MySQL ya que posee las mismas órdenes, interfaces, API y bibliotecas, siendo su objetivo poder cambiar un servidor por otro directamente.

Para este proyecto se utiliza un USB externo para almacenar los datos de la base de datos, pero perfectamente también se podría crear la base de datos en otro servidor y acceder remotamente desde el IOT2050.

Lo primero, para crear un entorno seguro para el servidor MariaDB, es necesario crear un nuevo usuario. Ese usuario se utilizará para ejecutar MariaDB, debido a la administración de derechos del sistema de archivos, MariaDB solo tiene acceso a los archivos que son propiedad del mismo usuario.

Posteriormente se realizaría la instalación del servidor de MariaDB en el USB para no llenar el almacenamiento propio del dispositivo, y realización de una prueba que se muestra en la imagen.

```
MariaDB [(none)]> create database iot2050db;
Query OK, 1 row affected (0.001 sec)

MariaDB [(none)]> use iot2050db
Database changed
MariaDB [iot2050db]> create table iot2050table(insert_time TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP, value FLOAT);
ERROR 1064 (42000): You have an error in your SQL syntax; check the manual that corresponds to your MariaDB server version for the right syntax to use near 'DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP, value FLOAT)' at line 1
MariaDB [iot2050db]> CREATE TABLE iot2050table (insert_time TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP, value FLOAT);
Query OK, 0 rows affected (0.108 sec)

MariaDB [iot2050db]> INSERT INTO iot2050table (value) VALUES (42);
Query OK, 1 row affected (0.008 sec)

MariaDB [iot2050db]> SELECT*FROM iot2050table;
+-----+-----+
| insert_time | value |
+-----+-----+
| 2021-08-08 11:31:08 | 42 |
+-----+-----+
1 row in set (0.001 sec)

MariaDB [iot2050db]> CREATE USER 'iot2050user' IDENTIFIED BY 'Girdam_1';
Query OK, 0 rows affected (0.016 sec)

MariaDB [iot2050db]> GRANT ALL ON iot2050db.* TO 'iot2050user';
Query OK, 0 rows affected (0.001 sec)
```

Figura 17: Ejemplo de prueba de MariaDB

Por último, para la comunicación de la base de datos con el dispositivo se han implementado ciertos nodos de función en los que se programó los comandos para introducir y leer los datos de la base de datos. Además de uno propio para la comunicación con la base de datos.

5.4 Programación

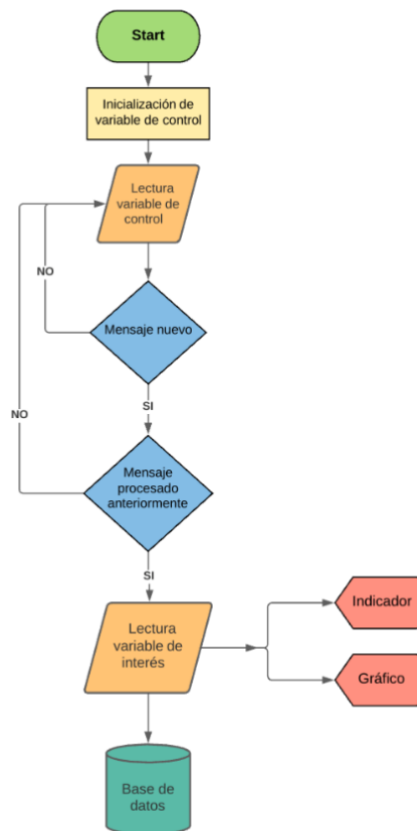


Figura 18: Programación para adquirir datos y visualizarlos.

Al iniciar la programación, se inicializan las variables de control para evitar datos no deseados. Después se realiza la lectura de la variable de control, una variable utilizada para poder filtrar los datos redundantes dentro de la programación.

Si esa variable tiene un nuevo mensaje y no ha sido procesado, pasaría a leerse las variables a representar. Estas variables además de representarse con un indicador y un gráfico, también pasaría a almacenarse en la base de datos.



Figura 19: Programación para mostrar 25 últimos datos

Esta otra programación sería una función del tablero en la cual, al pulsar un botón por el operario, se mostrarían el momento en que se ha registrado esa variable y su respectivo valor.

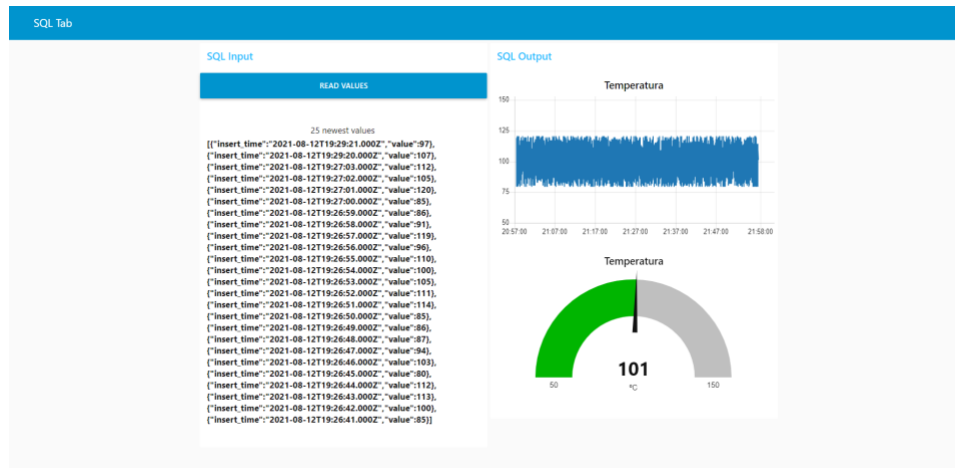


Figura 20: Tablero de visualización

En la figura 20 se muestra el tablero, donde se observa a la izquierda el listado de datos, y a la derecha el indicador y el gráfico.

Capítulo VI

Presupuesto

En este capítulo se presenta el presupuesto realizado con el coste de la puesta en marcha, se toma como que no hay ningún controlador, ni fuente de alimentación ya instalada. El presupuesto mostrado es ya con IVA incluido.

- Precios simples

Tabla 8: Tabla de precios simples

Código	Descripción	Precio unitario	Enlaces
PS01.001	Ud. Fuente de alimentación SITOP PSU100S	144,62 €	enlace
PS01.002	Ud. Siemens SIMATIC CPU 1512SP-1 PN	773,3 €	enlace
PS01.003	Ud. Siemens SIMATIC IOT2050	347,45 €	enlace
PS01.004	Ud. Cable Ethernet	5,11 €	enlace
PS01.005	Ud. MicroSD	5,088 €	enlace
PS01.006	Ud. Carril DIN	3,2 €	enlace
PS01.007	Ud. Pequeño material	5 €	

- Mano de obra

Tabla 9: Tabla de mano de obra

Código	Descripción	Precio
MO001	h. Técnico electrónico	15 €

▪ Justificación de precios

Código: UO 1.01

Título: Ud. Montaje equipos.

Descripción: Montaje de todos los dispositivos, conexión a alimentación, y conexionado entre ellos.

Tabla 10: Unidad de obra 1

Código	Descripción	Cantidad	Precio	Total
PS01.001	Ud. Fuente de alimentación SITOP PSU100S	1	144,62	144,62
PS01.002	Ud. Siemens SIMATIC CPU 1512SP-1 PN	1	773,3	773,3
PS01.003	Ud. Siemens SIMATIC IOT2050	1	347,45	347,45
PS01.004	Ud. Cable Ethernet	2	5,11	10,22
PS01.005	Ud. MicroSD	1	5,088	5,08
PS01.006	Ud. Carril DIN	1	3,2	3,2
PS01.007	Ud. Pequeño material	1	5	5
MO001	h. Técnico electrónico	1	15	15
			Suma	1306,57
			3% Gastos indirectos	39,19
			Total	1345,76 €

Código: UO 1.02

Título: Ud. Instalación software.

Descripción: Instalación del sistema operativo, instalación de programas y pruebas.

Tabla 11: Unidad de obra 2

Código	Descripción	Cantidad	Precio	Total
MO001	h. Técnico electrónico	16	15	240
			Suma	240
			3% Gastos indirectos	7,2
			Total	247,2 €

- Resumen del presupuesto

Tabla 12: Resumen del presupuesto

Descripción	Precio
UO 1.01 Montaje equipos	1345,76
UO 1.02 Instalación software	247,2
Presupuesto de ejecución material	1592,96 €
Gastos generales 16%	254,87
Beneficio industrial 6%	95,57
Presupuesto de contratación	1943,4 €
IVA 21%	408,11
Presupuesto total	2351,51 €

Asciende el presupuesto total del presente proyecto, incluido IVA, a la cantidad de DOS MIL TRESCIENTOS CINCUENTA Y UNO CON CINCUENTA Y UNO euros (2351,51 €).

Capítulo VII

Conclusiones

Se ha conseguido una primera aproximación de la solución para la digitalización y monitorización de un proceso industrial. En la cual, destaca que se ha realizado a un bajo coste, ya que todo el software utilizado es libre, así que no hay que abonar licencias y suscripciones, para que así la digitalización sea factible para prácticamente cualquier tamaño de negocio. Incluso se han expuesto alguna alternativa con menor capacidad de procesamiento y menor conectividad, pero para aplicaciones de domótica o de menor nivel sería suficiente.

Una característica clave de la solución es su posible estandarización como opción para digitalización y procesamiento de datos, con la cual se podría aplicar a una gran variedad de sectores, no solo a la refrigeración. Pudiendo a su vez descentralizar los procesos permitiendo tener acceso a los datos y al estado de la fábrica desde cualquier parte del mundo, mediante una conexión a internet.

Dentro del sector de refrigeración podemos ver el potencial que se podría desarrollar aplicando el control de la temperatura para mejorar la eficiencia de las máquinas, y poder abaratar costes de producción y de mantenimiento, ya que los compresores y condensadores no tendrían tanto desgaste.

También cabe destacar de esta solución que la pasarela tiene libre elección de la imagen de sistema, lo que otorga mucha más flexibilidad, ya que se pueden aplicar propias personalizaciones, abriendo puertas a implementar nuevos protocolos, lo que haría que dotase una compatibilidad con prácticamente cualquier dispositivo.

Como punto a tener en cuenta, es que el proyecto no está aún acabado así que se le podrían aplicar algunas mejoras, como la utilización de un servidor de base de datos con mayor respaldo como Microsoft Azure, el cual está mucho más integrado dentro de la industria y tiene aplicación móvil que al final para el operario también es más cómodo para la monitorización y descentralización del proceso, o como la adición de una Inteligencia Artificial con machine learning, que ayude a monitorizar el proceso o incluso prever errores o mal funcionamiento.

Como conclusión, destacar los beneficios de este trabajo en el ámbito profesional y personal, ya que ha sido posible adquirir conocimiento no aplicados durante el grado, además de haber tenido un contacto con tecnologías que están teniendo un crecimiento disruptivo dentro del mundo de la industria y un mundo cada vez más conectado

Referencias

- [1] Aguilar, L. J. (2018) Industria 4.0: La cuarta revolución industrial. Marcombo S.A.
- [2] Rifkin, Jeremy. (2006). La Tercera Revolución Industrial. México, Paidós.
- [3] Hanes David, S. G., B. R. (2017) IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols and Use Cases for the Internet of Things. Cisco Press.
- [4] Statista (2021) Online - <https://es.statista.com/temas/6976/el-internet-de-las-cosas-iot/>
- [5] Danfoss, (2007) «Automatic control for industrial refrigeration system». Danfoss.
- [6] Siemens Industry Online Support (2021) - <https://support.industry.siemens.com/cs/start?lc=es-ES>
- [7] Arduino (2021) Online - <https://www.arduino.cc>
- [8] Raspberry Pi (2021) Online - <https://www.raspberrypi.org>
- [9] Node RED (2021) Online - <https://nodered.org>
- [10] MariaDB (2021) Online - <https://mariadb.com>.

Anexos

A. Programación

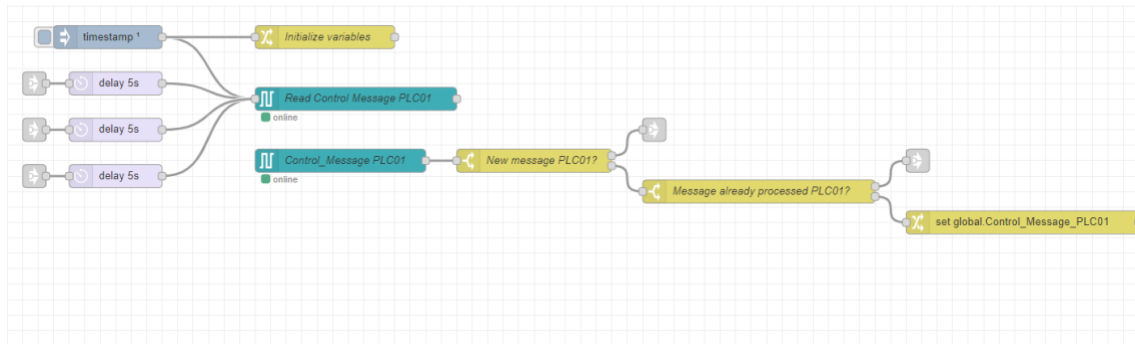


Figura 21: Primera parte programación Node-RED

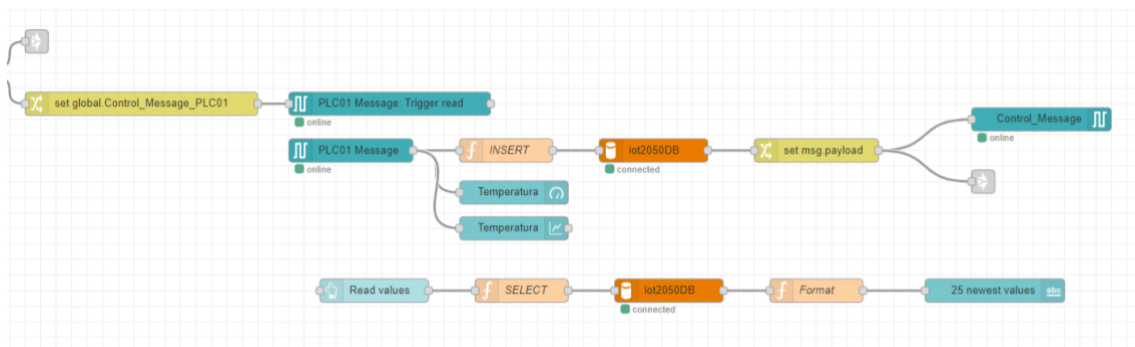


Figura 22: Segunda parte programación Node-RED

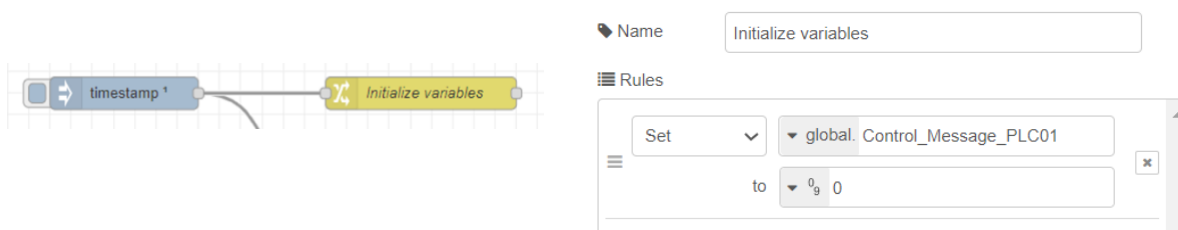


Figura 23: Nodos inicialización

La función de estos primeros nodos es inicializar (poner a 0) las variables que le hemos indicado, en este caso la variable de control “Control message”.



Figura 24: Control message trigger

Este segundo nodo es un nodo descargado de una paleta creada por otra persona, en este caso es Siemens, y su función es la comunicación directa, mediante el protocolo de comunicación Ethernet, con el controlador. De los nodos descargados en la paleta este es de salida, y su función es lanzar un pulso al nodo de entrada que lee el dato del controlador.

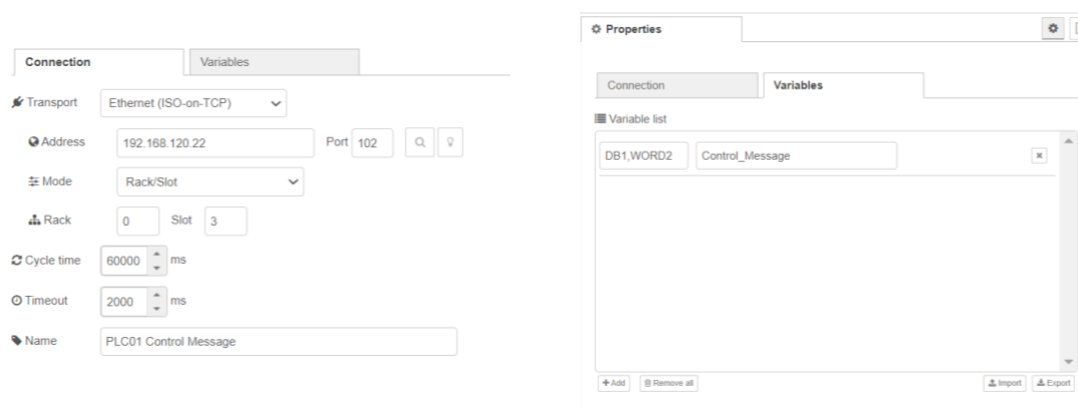


Figura 25: Configuración nodo comunicación TIA Portal

Como se aprecia en estas imágenes de configuración indicamos la IP y todo lo necesario para obtener comunicación con el controlador. También se puede configurar este nodo para que mande señal cada cierto tiempo después de recibir una señal.

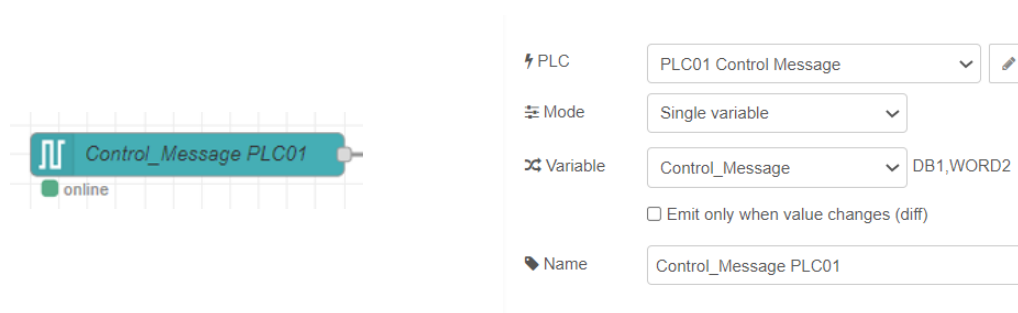


Figura 26: Nodo lectura Control message

Este es el nodo de entrada que lee el valor de la variable, en este caso un WORD en la posición de memoria 2 del DB1. La función de esta variable es el control de lectura, el cual dependiendo del valor que tenga se leerán las variables de interés o no (capa 3 de la estructura IoT).

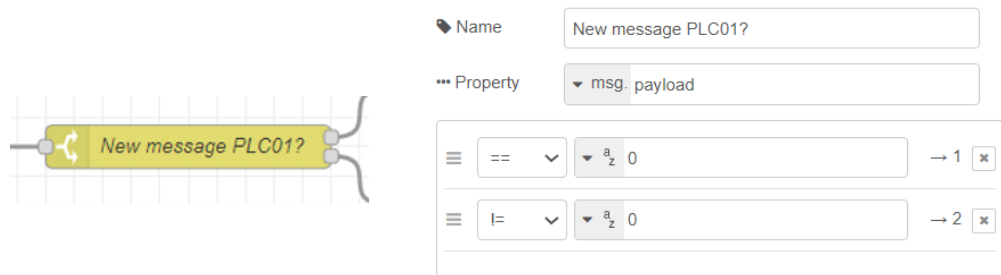


Figura 27: Nodo nuevo mensaje

Este nodo funciona como un filtro, en el cual dependiendo de si el valor es 0, seguiría en el flujo o volvería a leer variable. El valor 0 se daría cuando no ha entrado ningún valor nuevo.

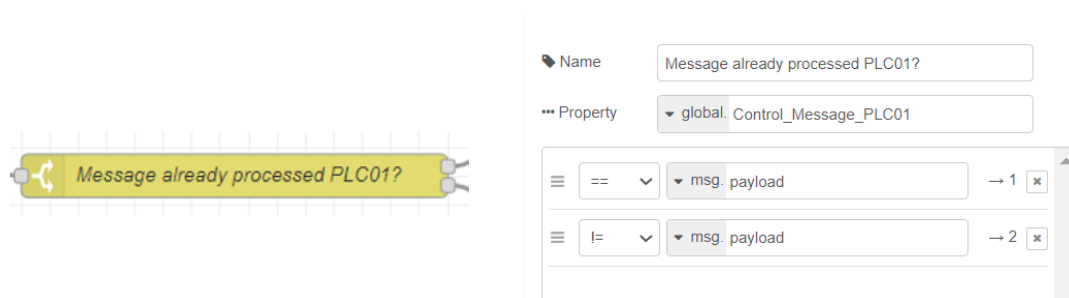


Figura 28: Nodo mensaje procesado

La función de este nodo es también la de un filtro, el cual compara el valor de entrada con el valor anterior, y si es diferente seguirá, si no se volvería al principio para leer el siguiente dato.

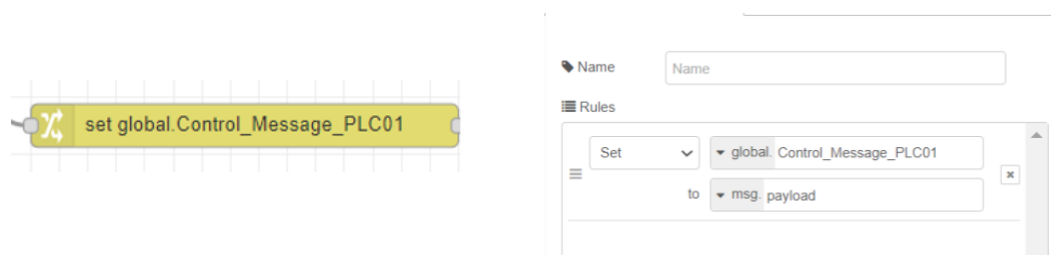


Figura 29: Nodo para fijar valor Control message

Cuando ya se ha comprobado que el valor es distinto de cero y diferente al medido anteriormente se pasa a asignarle dicho valor a la variable de control para compararlo con las siguientes lecturas.

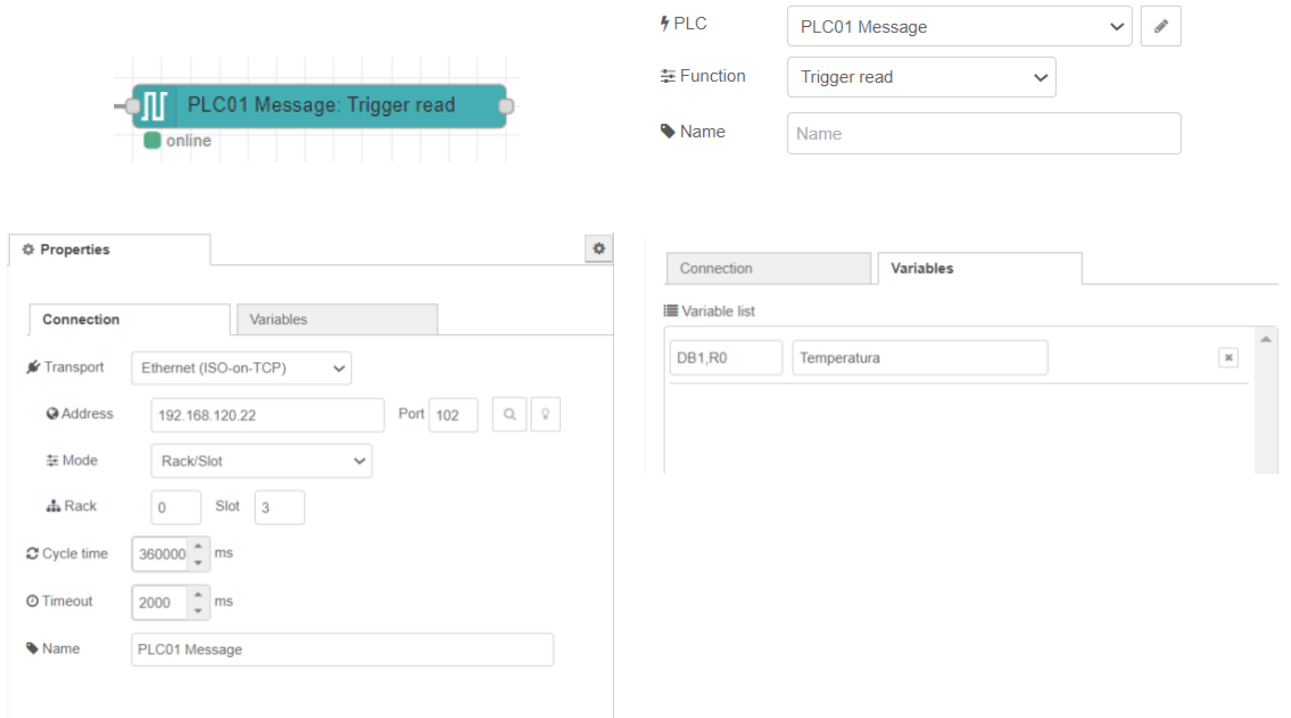
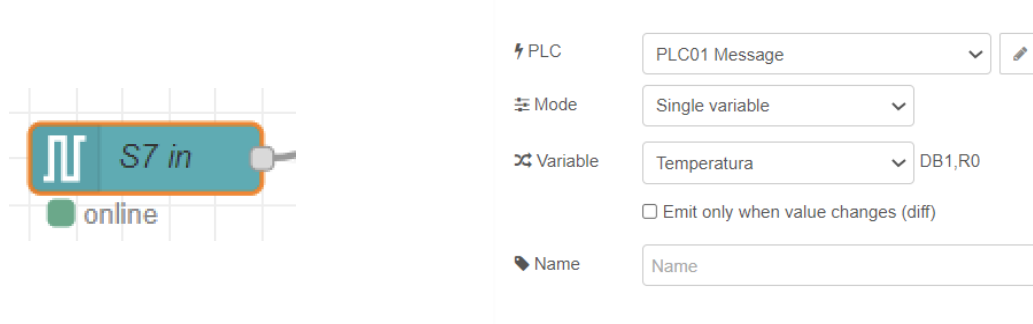


Figura 30: Nodo variable trigger

Ahora que ya se ha visto que el valor es nuevo e interesante para ser procesado el siguiente paso es mandar la señal al nodo de entrada para que lea la variable de interés, que en este caso sería una temperatura.

La configuración de este nodo se puede ver que es la misma porque es en el mismo PLC, pero lo que cambia es la variable a leer, que es la Temperatura que hace referencia a la de la instalación a refrigerar y se trata de un valor Real en la posición 0 del DB1.



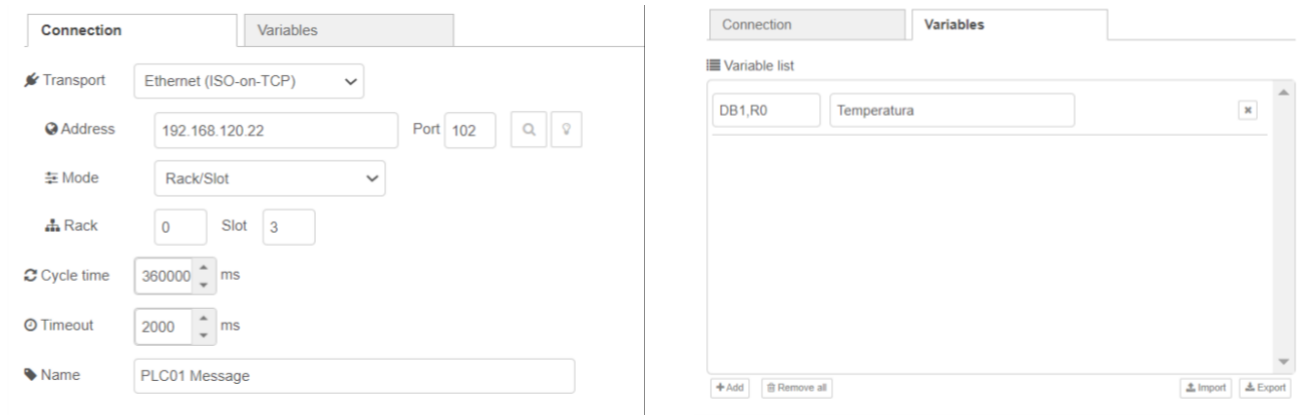


Figura 31: Nodo lectura variable

En este caso solo se lee el valor de esa variable, pero en el caso de haber varias variables, leería ambas y almacenaría el valor como “Var: valor” por ejemplo en este caso con la temperatura sería “Temperatura: 95” y el resto de las variables con el mismo formato.

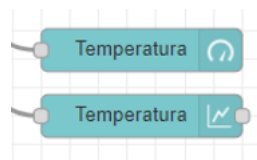


Figura 32: Nodos visualización

Estos dos nodos con para poder visualizar los datos dentro de Node-RED en un Dashboard propio al que se accede también desde una URL.

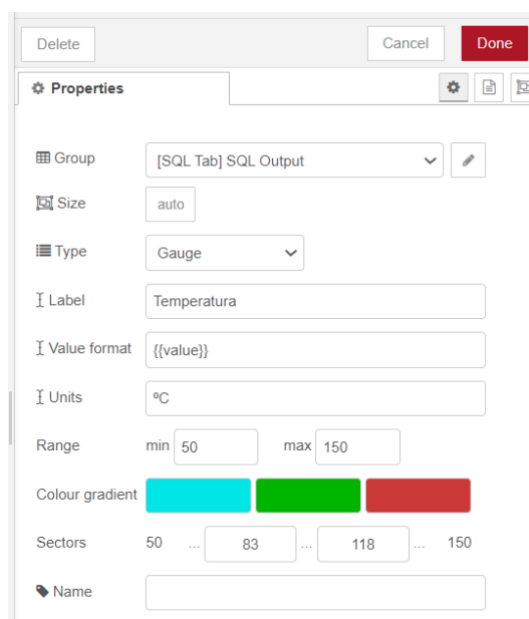


Figura 34: Nodo configuración indicador

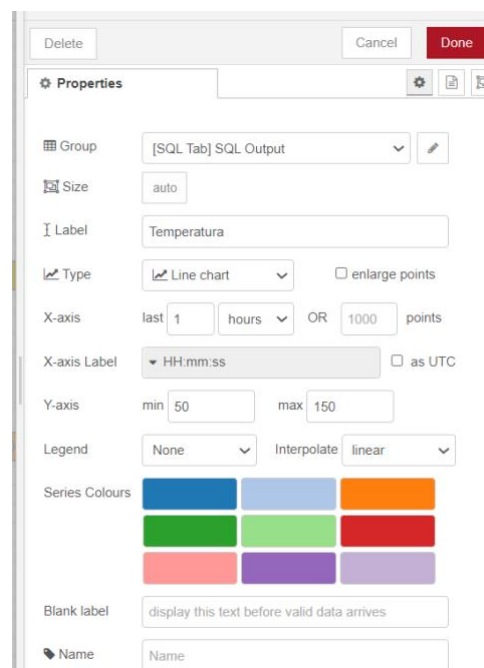
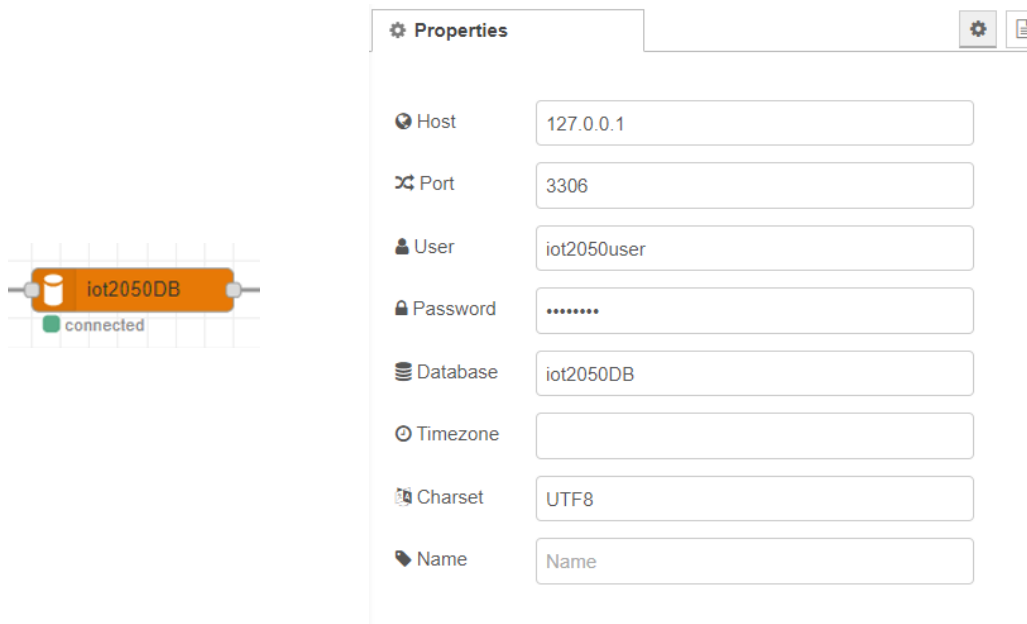


Figura 33: Nodo configuración grafica

**Figura 35: Nodo inserción base de datos**

Este nodo insertaría el valor dentro de una tabla en la base de datos creada previamente.

**Figura 36: Nodo base de datos**

Aquí se encontraría el nodo referente a la base de datos donde introduciríamos todo lo relacionado.

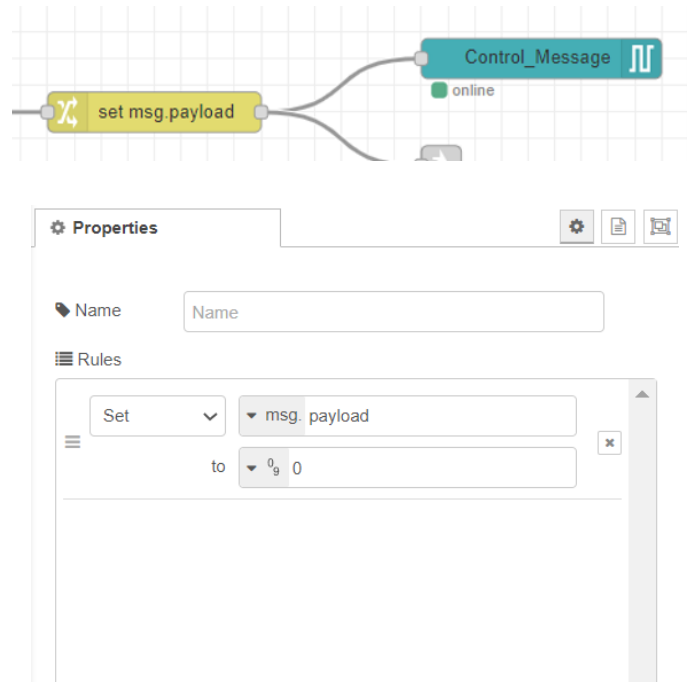


Figura 37: Nodo reinicialización

Como ya se ha leído ese dato, se vuelve a inicializar la variable de control para que evitar la redundancia en la lectura.

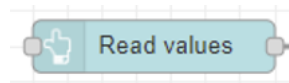


Figura 38: Nodo lectura últimos 25 valores

Este sería el botón que vemos en el dashboard que haría de función de trigger para la lectura de los últimos 25 datos introducidos en la base de datos.

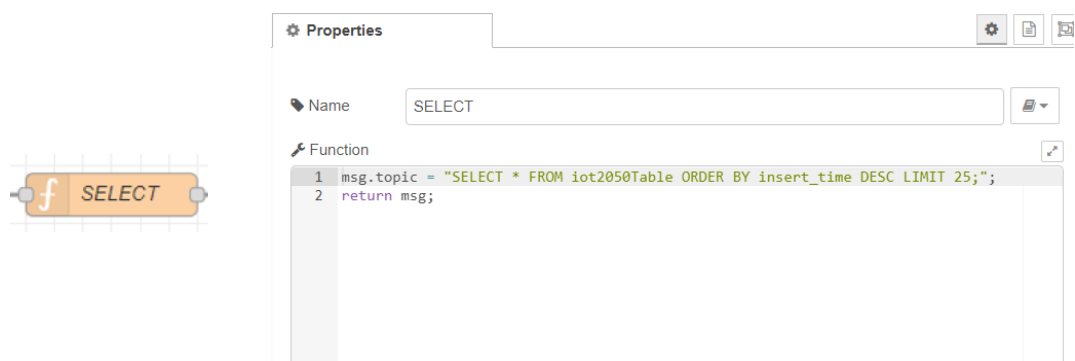


Figura 39: Nodo selección 25 valores

Con el nodo de la Figura seleccionamos los últimos 25 datos de la base de datos

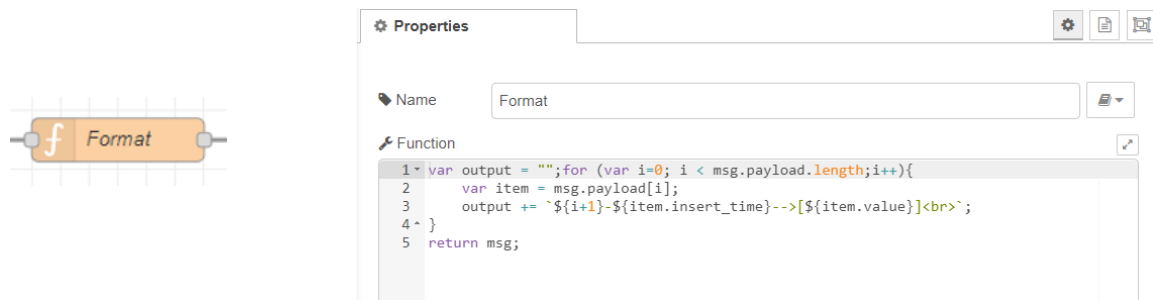


Figura 40: Nodo para dar formato

Con este nodo se da formato para representar los últimos datos coleccionados, en el que se muestra el valor y el momento en el que se ha leído.

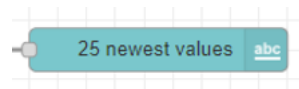


Figura 41: Nodo para mostrar últimos 25 valores

Y este último sería la tabla del dashboard donde se representarían los dat

B. Conceptos Node-RED [9]

La ventana del editor consta de cuatro componentes:

- El encabezado en la parte superior, que contiene el botón de implementación, el menú principal y, si la autenticación de usuario está habilitada, el menú de usuario.
- La paleta de la izquierda, que contiene los nodos disponibles para usar
- El espacio de trabajo principal en el medio, donde se crean los flujos.
- La barra lateral de la derecha.

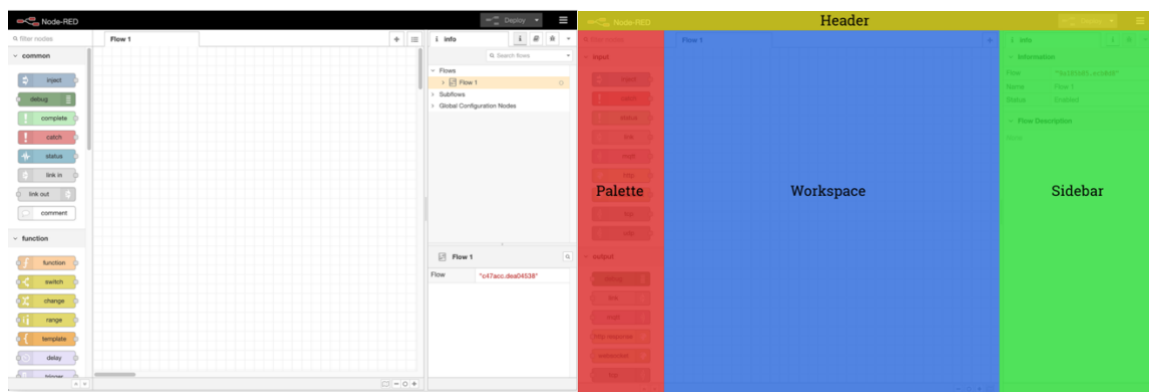


Figura 42: Ventana del editor

■ Espacio de trabajo

El espacio del trabajo principal es donde se desarrollan los flujos arrastrando nodos de la paleta y cableándolos juntos.

El espacio de trabajo tiene una fila de pestañas a lo largo de la parte superior; una para cada flujo y cualquier subflujo que se haya abierto.

Dentro del espacio de trabajo podemos encontrar:

- Flujo



Figura 43: Ejemplo de flujo

Un flujo se representa como una pestaña dentro del espacio de trabajo del editor y es la principal forma de organizar los nodos.

El termino “flujo” también se utiliza para describir informalmente un solo conjunto de nodos conectados. Así que un flujo (pestaña) puede contener múltiples flujos (conjunto de nodos conectados).

- Nodo

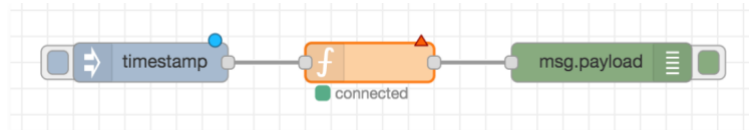


Figura 44: Ejemplos de nodos

Un nodo es el bloque de construcción básico de un flujo.

Los nodos se activan recibiendo un mensaje del nodo anterior en un flujo, o esperando algún evento externo, como una solicitud HTTP entrante, un temporizador o un cambio de hardware GPIO. Procesan ese mensaje o evento, y luego pueden enviar un mensaje a los siguientes nodos del flujo.

Un nodo puede tener como máximo un puerto de entrada y muchos puertos de salida.

Algunos nodos muestran un mensaje de estado y un icono debajo del nodo. Esto se utiliza para indicar el estado en tiempo de ejecución del nodo, por ejemplo, los nodos MQTT indican si están conectados actualmente o no. Si un nodo tiene algún cambio no implementado, muestra un círculo azul encima de él. Si hay errores con su configuración, muestra un triángulo rojo.

Los nodos se pueden editar e incluso programar algunos con lenguaje JavaScript. Al editarlos aparece un cuadro de diálogo que contiene tres pestañas:

- **Propiedades:** En esta pestaña es en la que se puede programar la función del nodo.
- **Descripción:** Esta se usa para dar indicaciones del funcionamiento de la programación.

- Apariencia: Opciones para personalizar la apariencia del nodo

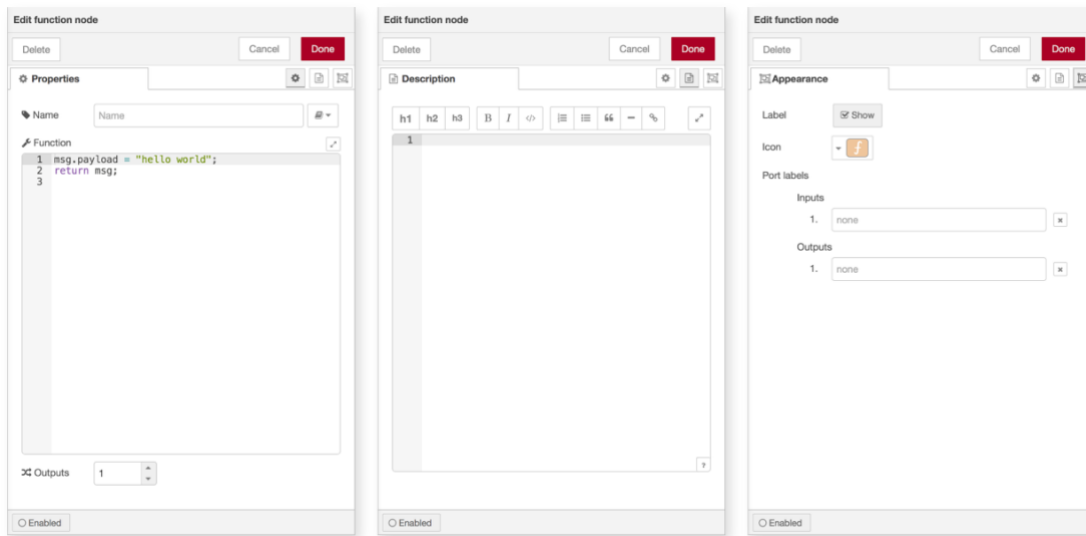


Figura 45: Diálogo de edición de nodos – propiedades, descripción y pestañas de apariencia.

- Nodo de configuración

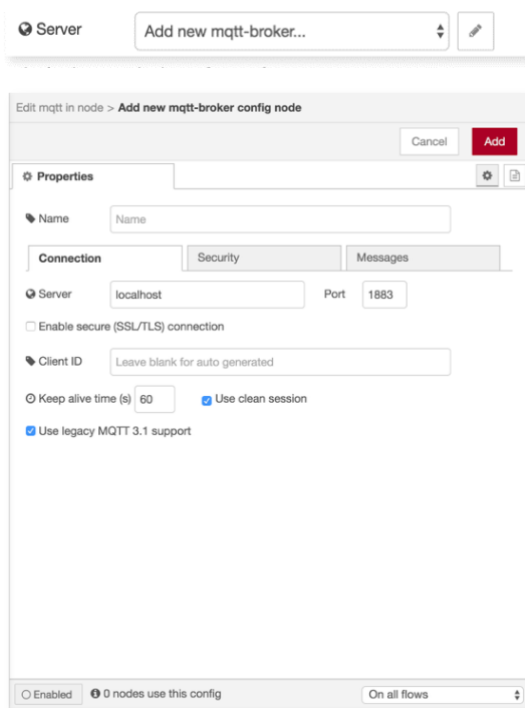


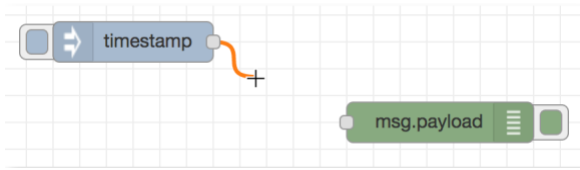
Figura 46: Nodo de configuración

Un nodo de configuración es un tipo especial de nodo que contiene una configuración reutilizable que puede ser compartida por nodos regulares en un flujo.

Los nodos de configuración no aparecen en el espacio de trabajo principal, pero se pueden ver abriendo la barra lateral de nodos de configuración.

El cuadro de diálogo de edición del nodo de configuración solo tiene las pestañas de propiedades y descripción del nodo, ya que un nodo de configuración no tiene ningún icono ni puertos en los que estableces etiquetas

- Cable



Los cables conectan los nodos y representan cómo los mensajes pasan a través del flujo.

Figura 47: Establecimiento de cableado entre nodos

- Mensaje

Mensajes son lo que pasa entre los nodos en un flujo. Son objetos simples de JavaScript que pueden tener cualquier conjunto de propiedades. A menudo se les llama msg dentro del editor.

- Subflujo

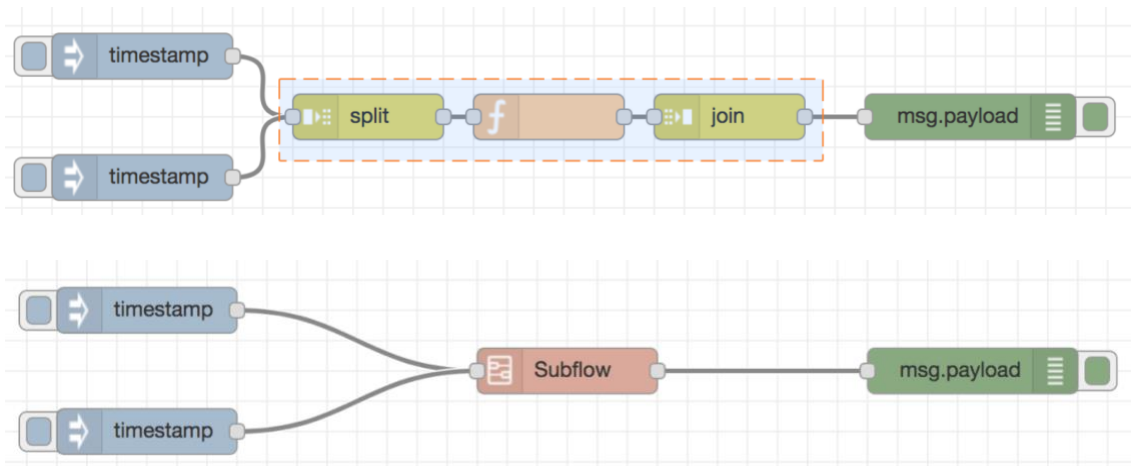


Figura 48: Creación de un subflujo.

Un subflujo es una colección de nodos que se contraen en un solo nodo en el espacio de trabajo.

Se pueden utilizar para reducir cierta complejidad visual de un flujo, o para empaquetar un grupo de nodos como un componente reutilizable utilizando en múltiples lugares.

- Paleta

La paleta contiene todos los nodos que están instalados y disponibles para usar.

Están organizados en una serie de categorías, con entradas, salidas y funciones en la parte superior. Si hay algún subflujo, aparecen en una categoría en la parte superior de la paleta.

- Administrador de paletas

El administrador de paletas se puede utilizar para instalar nuevos nodos en la paleta.

El Administrador de paletas tiene dos pestañas:

- Nodos muestra los módulos que están instalados actualmente en tiempo de ejecución
- Install enumera los módulos disponibles que se pueden instalar

Esta herramienta es muy útil ya que puedes descargar nodos predefinidos (programados por el creador) para usarlos en tu flujo, por ejemplo, siemens ha creado varios para poder comunicarnos con el PLC directamente, mediante el protocolo MQTT.

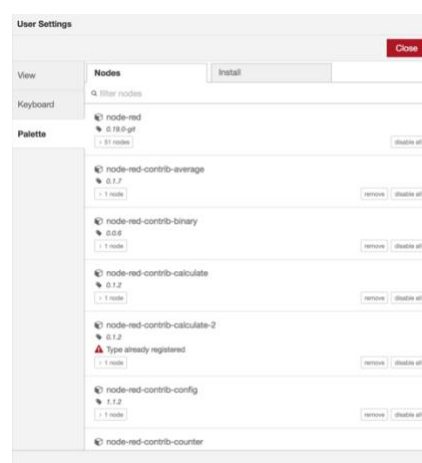


Figura 49: Administrador de tareas

- Barra lateral

La barra lateral contiene paneles que proporcionan una serie de herramientas útiles dentro del editor:

- Información

La barra lateral información muestra información sobre los flujos. Esto incluye una vista de esquema de todos los flujos y nodos, así como detalles de la selección actual.

- Ayuda

La barra lateral ayuda proporciona acceso al contenido de ayuda para todos los nodos del editor.

- Depuración

La barra lateral Debug muestra los mensajes pasados a los nodos de depuración dentro del flujo, así como ciertos mensajes de registro del tiempo de ejecución.

- Contexto

Contexto es una forma de almacenar información que se puede compartir entre nodos sin usar los mensajes que pasan a través de un flujo.

Hay tres tipos de contexto:

- Nodo → solo visible para el nodo que establece el valor.
- Flujo → visible para todos los nodos en el mismo flujo (o pestaña del editor).
- Global → visible para todos los nodos.

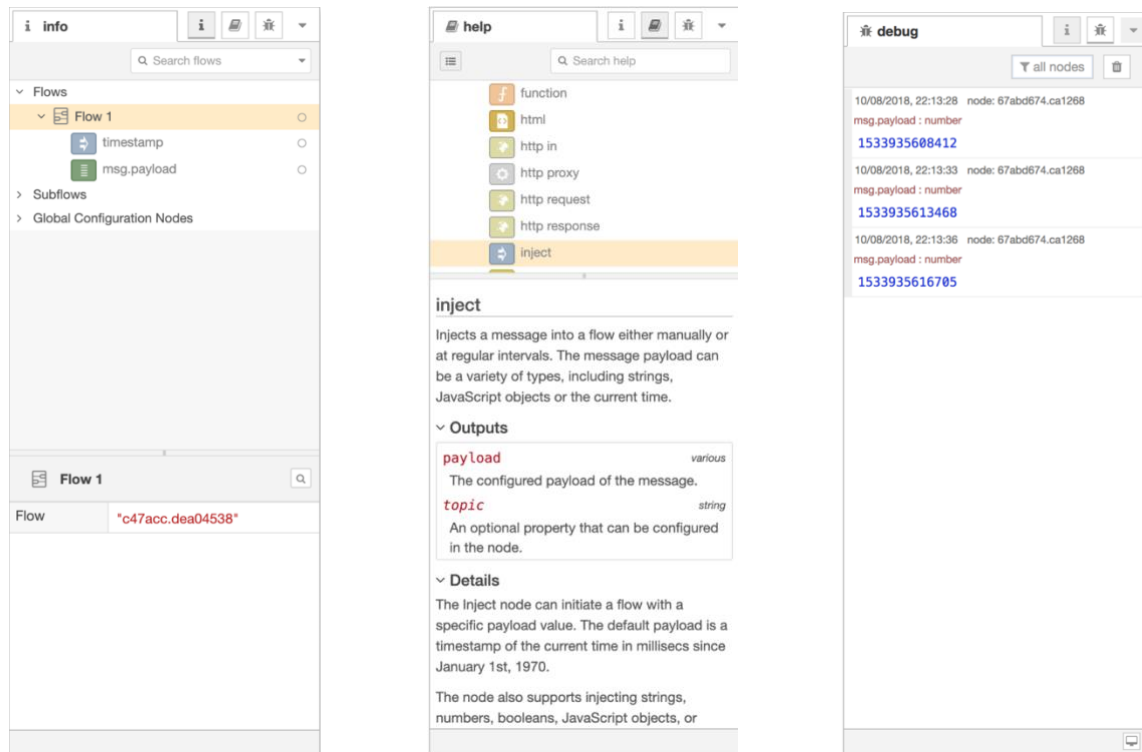


Figura 50: Barra lateral con la información de info, help y debug

C. Datasheets

SIEMENS

Hoja de datos

6ES7647-0BA00-1YA2

SIMATIC IOT2050; 2 GBit Ethernet RJ45; Display Port; 2 USB 2.0; eMMC 16 GB; slot para tarjeta SD; fuente de alimentación industrial de 24 V DC

Información general	
Designación del tipo de producto	IOT2050
Diseño/montaje	
Diseño	Gateway IoT, modelo compacto
Tensión de alimentación	
Tipo de tensión de la alimentación	12/24 V DC
Puenteo de caídas de red y tensión	
• Puenteo de caídas de red/de tensión	5 ms
Procesador	
Tipo de procesador	ARM TI AM6548 HS
Gráfico	
Controlador gráfico	integrado
Unidades	
Compartimento para unidades	1 slot para tarjeta microSD
Memoria	
Tipo de memoria	DDR4
Memoria central	2 Gbytes de RAM
Capacidad de la memoria central, máx.	2 Gbyte
Configuración del hardware	
Slots	
• Slots libres	1 Arduino, 1 mPCIe
Entradas digitales	
Nº de entradas digitales	20
Tensión de entrada	
• Tipo de tensión de entrada	DC
Salidas digitales	
Número de salidas	20
Tensión de salida	
• Tipo de tensión de salida	DC
• Tensión admisible en la salida, mín.	3,3 V
• Tensión admisible en la salida, máx.	5 V
Entradas analógicas	
Nº de entradas analógicas	6
Rangos de entrada	
• Tensión	Sí; 0 ... 5 V
Interfaces	

PROFIBUS/MPI	Posible a través de tarjeta enchufable
Nº de interfaces Industrial Ethernet	2
Nº de interfaces PROFINET	2
Interfaz USB	2x USB 2.0
Conexión para teclado/ratón	USB
Interfaz serie	1x COM (1x RS 232 / 422 / 485)
Interfaces de vídeo	
• Interfaz gráfica	1 DisplayPort
Industrial Ethernet	
• Interfaz Industrial Ethernet	2x Ethernet (RJ45)
— 100 Mbits/s	Sí
— 1000 Mbits/s	Sí
Funciones integradas	
Funciones de monitorización	
• Vigilancia de temperatura	Sí
• Watchdog	Sí
• LED de estado	Sí
CEM	
Inmunidad a perturbaciones por descargas de electricidad estática	
• Inmunidad a perturbaciones por descargas de electricidad estática	±4 kV, descarga por contacto según IEC 61000-4-2; ±8 kV, descarga por el aire según IEC 61000-4-2
Inmunidad a perturbaciones por campos electromagnéticos de alta frecuencia	
• Inmunidad a perturbaciones radiadas (alta frecuencia)	10 V/m para 80 ... 1 000 MHz, 80 % AM según IEC 61000-4-3; 3 V/m para 1,4 ... 6 GHz, 80 % AM según IEC 61000-4-3
Inmunidad a perturbaciones conducidas	
• Inmunidad a perturbaciones en cables de alimentación	±2 kV (según IEC 61000-4-4; ráfaga); ±1 kV (según IEC 61000-4-5; onda de choque/línea a línea); ±2 kV (según IEC 61000-4-5; onda de choque/línea a tierra)
• Inmunidad a perturbaciones en cables de señal > 30 m	±2 kV según IEC 61000-4-5, onda de choque, long. > 30 m
• Inmunidad a perturbaciones en cables de señal < 30 m	±1 kV según IEC 61000-4-4, onda de choque
Inmunidad a perturbaciones por tensiones de choque (sobretensión transitoria)	
• Acoplamiento asimétrico	±2 kV según IEC 61000-4-5, onda de choque asimétrica
• Acoplamiento simétrico	±1 kV según IEC 61000-4-5, onda de choque simétrica
Grado de protección y clase de protección	
Grado de protección IP	IP20
IP (por todos lados)	IP20
Normas, homologaciones, certificados	
Marcado CE	Sí
Homologación UL	Sí
cULus	Sí
RCM (anteriormente C-TICK)	Sí
Homologación KC	Sí
EAC (anteriormente Gost-R)	Sí
FCC	Sí
CEM	CE, EN 61000-6-4:2007 +A1:2011, EN 61000-6-2:2005, CE, EN IEC 61000-6-4:2019, EN IEC 61000-6-2:2019
Condiciones ambientales	
Temperatura ambiente en almacenaje/transporte	
• mín.	-20 °C
• máx.	70 °C
Altitud en servicio referida al nivel del mar	
• Altitud de instalación sobre el nivel del mar, máx.	2 000 m
Humedad relativa del aire	
• Humedad relativa del aire	5 ... 85 % con 30 °C, sin condensación
• En servicio máx.	85 %
Vibraciones	
• Resistencia a vibraciones durante el funcionamiento según IEC 60068-2-6	ensayado según IEC 60068-2-6: 10 ciclos; 5 a 8,4 Hz: deflexión de 3,5 mm; 8,4 a 200 Hz: aceleración 9,8 m/s²



[illegible]

Number of PROFINET interfaces	2
USB port	2x USB 2.0
Connection for keyboard/mouse	USB
serial interface	1x COM (1x RS 232 / 422 / 485)
Video interfaces	
• Graphics interface	1x DisplayPort
Industrial Ethernet	
• Industrial Ethernet interface	2x Ethernet (RJ45)
— 100 Mbps	Yes
— 1000 Mbps	Yes
Integrated Functions	
Monitoring functions	
• Temperature monitoring	Yes
• Watchdog	Yes
• Status LEDs	Yes
EMC	
Interference immunity against discharge of static electricity	
• Interference immunity against discharge of static electricity	±4 kV contact discharge acc. to IEC 61000-4-2; ±8 kV air discharge acc. to IEC 61000-4-2
Interference immunity to cable-borne interference	
• Interference immunity on supply cables	±2 kV (according to IEC 61000-4-4, burst); ±1 kV (according to IEC 61000-4-5, surge pulse/line to line); ±2 kV (according to IEC 61000-4-5, surge pulse/line to ground)
• Interference immunity on signal cables >30m	±2 kV acc. to IEC 61000-4-5, surge, length > 30 m
• Interference immunity on signal cables < 30m	±1 kV acc. to IEC 61000-4-4, Burst
Interference immunity against voltage surge	
• asymmetric interference	±2 kV acc. to IEC 61000-4-5, surge asymmetric
• symmetric interference	±1 kV acc. to IEC 61000-4-5, surge symmetric
Degree and class of protection	
IP degree of protection	IP20
IP (all-round)	IP20
Standards, approvals, certificates	
CE mark	Yes
UL approval	Yes
cULus	Yes
RCM (formerly C-TICK)	Yes
KC approval	Yes
EAC (formerly Gost-R)	Yes
FCC	Yes
EMC	CE, EN 61000-6-4:2007 +A1:2011, EN 61000-6-2:2005, CE, EN IEC 61000-6-4:2019, EN IEC 61000-6-2:2019

Ambient conditions	
Ambient temperature during storage/transportation	
• min.	-20 °C
• max.	70 °C
Altitude during operation relating to sea level	
• Installation altitude above sea level, max.	2 000 m
Relative humidity	
• Relative humidity	5 ... 85 % at 30 °C, no condensation
• Operation, max.	85 %
Operating systems	
pre-installed operating system	No
without operating system	Yes
Mechanics/material	
Enclosure material (front)	plastic
• Plastic	Yes
• Aluminum	Yes
• Stainless steel	Yes
• Glass	No
Dimensions	
Width	37 mm
Height	142 mm
Depth	100 mm
last modified:	05/08/2020 



SIMATIC DP, CPU 1512SP-1 PN para ET 200SP, Módulo central con Memoria de trabajo de 200 KB para programa y 1 Mbyte para datos, 1.ª interfaz: PROFINET IRT con switch de 3 puertos, 48 NS rendimiento bits, SIMATIC Memory Card necesaria, adaptador de bus necesario para puertos 1 y 2

Información general	
Designación del tipo de producto	CPU 1512SP-1 PN
Versión funcional del HW	FS05
Versión de firmware	V2.9
Función del producto	
Datos de I&M	Sí; I&M0 a I&M3
Cambio de módulo durante el funcionamiento (Hot-Swapping)	Sí; Multi Hot-Swapping
Modo isócrono	Sí; Solo en PROFINET; con ciclo OB 6x mínimo de 625 µs
Ingeniería con	
STEP 7 TIA Portal configurable/integrado desde versión	V17 (FW V2.9) / V13 SP1 Update 4 (FW V1.8) o superior
Control de la configuración	
vía registro	Sí
Elementos de mando	
Selector de modo	1
Tensión de alimentación	
Tipo de tensión de la alimentación	24 V DC
Rango admisible, límite inferior (DC)	19,2 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Protección contra inversión de polaridad	Sí
Puenteo de caídas de red y tensión	
Puenteo de caídas de red/de tensión	5 ms
Intensidad de entrada	
Consumo (valor nominal)	0,6 A
Consumo, máx.	0,9 A
Intensidad de cierre, máx.	4,7 A; Valor nominal
I²t	0,14 A²·s
Potencia	
Potencia de alimentación al bus de fondo	8,75 W
Pérdidas	
Pérdidas, típ.	5,6 W
Memoria	
Nº de slots para tarjeta SIMATIC Multi Media Card	1
se requiere una SIMATIC Memory Card	Sí
Memoria de trabajo	
Integrada (para programa)	200 kbyte

• Integrada (para datos)	1 Mbyte
Memoria de carga	
• enchufable (SIMATIC Memory Card), máx.	32 Gbyte
Respaldo	
• libre de mantenimiento	Sí
Tiempos de ejecución de la CPU	
para operaciones de bits, típ.	48 ns
para operaciones a palabras, típ.	58 ns
para aritmética de coma fija, típ.	77 ns
para aritmética de coma flotante, típ.	307 ns
CPU-bloques	
N.º de elementos (total):	4 000; Bloques (OB, FB, FC, DB) y UDT
DB	
• Banda numérica	1 ... 60 999; dividida en: de la banda numérica usable por el usuario: 1 ... 59 999 y la banda numérica vía DBs generados por SFC 86: 60 000 ... 60 999
• Tamaño, máx.	1 Mbyte; con DBs direccionados absolutamente, máx. 64 kbytes
FB	
• Banda numérica	0 ... 65 535
• Tamaño, máx.	200 kbyte
FC	
• Banda numérica	0 ... 65 535
• Tamaño, máx.	200 kbyte
OB	
• Tamaño, máx.	200 kbyte
• N.º de OBs de ciclo libre	100
• N.º de OBs de alarma horaria	20
• N.º de OBs de alarma de retardo	20
• N.º de OBs de alarma cíclica	20; con ciclo OB 3x mínimo de 500 µs
• N.º de OBs de alarma de proceso	50
• N.º de OBs de alarmas DPV1	3
• N.º de OBs de modo isócrono	1
• N.º de OBs de alarmas de sincronismo tecnológicas	2
• N.º de OBs de arranque	100
• N.º de OBs de errores asíncronos	4
• N.º de OBs de errores síncronos	2
• N.º de alarmas de diagnóstico	1
Profundidad de anidamiento	
• por cada prioridad	24
Contadores, temporizadores y su remanencia	
Contadores S7	
• Cantidad	2 048
Remanencia	
— Configurable	Sí
Contadores IEC	
• Cantidad	cualquiera (limitado solo por la memoria de trabajo)
Remanencia	
— Configurable	Sí
Temporizadores S7	
• Cantidad	2 048
Remanencia	
— Configurable	Sí
Temporizadores IEC	
• Cantidad	cualquiera (limitado solo por la memoria de trabajo)
Remanencia	
— Configurable	Sí
Áreas de datos y su remanencia	
Área de datos remanentes (incl. temporizadores,	128 kbyte; memoria remanente utilizable para marcas, temporizadores,

contadores, marcas), máx.	contadores, DB y datos tecnológicos (ejes): 88 kbytes
Marcas	
• Tamaño, máx.	16 kbyte
• N° de marcas de ciclo	8; 8 bits para marcas de ciclo, reunidos en un byte para marcas de ciclo
Bloques de datos	
• Remanencia configurable	Sí
• Remanencia predeterminada	No
Datos locales	
• por cada prioridad, máx.	64 kbyte; máx. 16 kbytes por bloque
Área de direcciones	
Número de módulos de E/S	2 048; n.º máx. de módulos/submódulos
Área de direcciones de periferia	
• Entradas	32 kbyte; Todas las entradas están en la imagen de proceso
• Salidas	32 kbyte; Todas las salidas están en la imagen de proceso
de ellos, de cada subsistema de E/S	
— Entradas (volumen)	8 kbyte
— Salidas (volumen)	8 kbyte
de ellas, por cada CM/CP	
— Entradas (volumen)	8 kbyte
— Salidas (volumen)	8 kbyte
Imágenes de subproceso	
• N° de imágenes de subproceso, máx.	32
Espacio de direcciones por módulo	
• Espacio de direcciones por módulo, máx.	288 byte; Tanto para datos de entrada como de salida
Espacio de direcciones por estación	
• Espacio de direcciones por estación, máx.	2 560 byte; Para entradas y salidas centrales; depende de la configuración; 2 048 bytes para módulos ET 200SP + 512 bytes para módulos ET 200AL
Configuración del hardware	
Número de sistemas IO descentralizados	32; Se entiende por sistema IO descentralizado la integración de periferia descentralizada a través de módulos de comunicación PROFINET o PROFIBUS y la conexión de la periferia a través de módulos maestros AS-i o Links (p. ej., IE/PB-Link)
N° de maestros DP	
• vía CM	1
Número de IO-Controller	
• integrada	1
• vía CM	0
Bastidores	
• Módulos por bastidor, máx.	80; CPU + 64 módulos + módulo servidor (ancho máx. de montaje 1 m) + 16 módulos ET 200AL
• Número de módulos ET 200SP utilizables, máx.	64
• Número de módulos ET 200AL utilizables, máx.	16
• Número de líneas, máx.	1
CM PaP	
• Número de CMs PaP	El número de CM PaP conectables solo está limitado por la disponibilidad de los slots
Hora	
Reloj	
• Tipo	Reloj por hardware
• Duración del respaldo	6 wk; a 40 °C de temperatura ambiente, típ.
• Desviación diaria, máx.	10 s; típ.: 2 s
Contador de horas de funcionamiento	
• Cantidad	16
Sincronización de la hora	
• Soporta	Sí
• en DP, maestro	Sí; vía módulo CM DP
• en DP, esclavo	Sí; vía módulo CM DP
• en el autómata, maestro	Sí
• en el autómata, esclavo	Sí

• por Ethernet vía NTP	Sí
Interfaces	
Nº de interfaces PROFINET	1
Nº de interfaces PROFIBUS	1; vía módulo CM DP
Interfaz óptica	Sí; A través de BusAdapter
1. Interfaz	
Física de la interfaz	
• RJ 45 (Ethernet)	Sí; X1 P3; opc. X1 P1 y X1 P2 a través de BusAdapter BA 2x RJ45
• Número de puertos	3; 1.ª integr. + 2.ª a través de BusAdapter
• Switch integrado	Sí
• BusAdapter (PROFINET)	Sí; BusAdapter utilizables: BA 2x RJ45, BA 2x M12, BA 2x FC, BA 2x LC, BA LC/RJ45, BA LC/FC, BA 2x SCRJ, BA SCRJ/RJ45, BA SCRJ/FC,
Protocolos	
• Protocolo IP	Sí; IPv4
• PROFINET IO-Controller	Sí
• PROFINET IO-Device	Sí
• Comunicación SIMATIC	Sí
• Comunicación IE abierta	Sí; También disponible cifrada
• Servidores web	Sí
• Redundancia del medio	Sí; MRP Automanager según IEC 62439-2 Edition 2.0
PROFINET IO-Controller	
Servicios	
— Comunicación PG/OP	Sí
— Modo isócrono	Sí
— Intercambio de datos directo	Sí; Requisitos: IRT y modo isócrono (MRPD opcional)
— IRT	Sí
— PROFIenergy	Sí; mediante programa de usuario
— Arranque priorizado	Sí; máx. 32 PROFINET Devices
— Nº de IO Devices que se pueden conectar en total, máx.	128; En total se puede conectar un máximo de 512 unidades periféricas descentralizadas vía AS-i, PROFIBUS o PROFINET
— de los cuales, IO devices con IRT, máx.	64
— Nº de IO-Devices conectables para RT, máx.	128
— de ellos, en línea, máx.	128
— Nº de IO-Devices activables/desactivables simultáneamente, máx.	8; En total a través de todas las interfaces
— Nº de IO-Devices por herramienta, máx.	8
— Tiempos de actualización	El valor mínimo del tiempo de actualización también depende de la parte de comunicación ajustada para PROFINET IO, de la cantidad de IO-Devices y de la cantidad de datos útiles configurados
Tiempo de actualización con IRT	
— con un ciclo de emisión de 250 µs	250 µs a 4 ms. Nota: con IRT en modo isócrono es determinante el tiempo de refresco mínimo de 500 µs del OB isócrono
— con un ciclo de emisión de 500 µs	500 µs a 8 ms
— con un ciclo de emisión de 1 ms	1 ms a 16 ms
— con un ciclo de emisión de 2 ms	2 ms a 32 ms
— con un ciclo de emisión de 4 ms	4 ms a 64 ms
— Con IRT y parametrización de tiempos de ciclo de envío "impares"	Tiempo de actualización = ciclo de emisión "impar" ajustado (cualquier múltiplo de 125 µs: 375 µs, 625 µs ... 3 875 µs)
Tiempos de actualización con RT	
— con un ciclo de emisión de 250 µs	250 µs a 128 ms
— con un ciclo de emisión de 500 µs	500 µs a 256 ms
— con un ciclo de emisión de 1 ms	1 ms a 512 ms
— con un ciclo de emisión de 2 ms	2 ms a 512 ms
— con un ciclo de emisión de 4 ms	4 ms a 512 ms
PROFINET IO-Device	
Servicios	
— Comunicación PG/OP	Sí
— Modo isócrono	No
— IRT	Sí

— PROFlenergy	Sí; mediante programa de usuario
— Shared Device	Sí
— N° de IO Controller con Shared Device, máx.	4
— activar/desactivar I-Devices	Sí; mediante programa de usuario
— Asset Management Record	Sí; mediante programa de usuario
2. Interfaz	
Física de la interfaz	
• RS 485	Sí; vía módulo CM DP
• Número de puertos	1
Protocolos	
• Maestro PROFIBUS DP	Sí
• Esclavo PROFIBUS DP	Sí
• Comunicación SIMATIC	Sí
Maestro PROFIBUS DP	
• Número de conexiones máx.	48; De los cuales sendos 4 están reservados para ES y HMI
• N° de esclavos DP, máx.	125; En total se puede conectar un máximo de 512 unidades periféricas descentralizadas vía AS-i, PROFIBUS o PROFINET
Servicios	
— Comunicación PG/OP	Sí
— Equidistancia	No
— Modo isócrono	No
— Activar/desactivar esclavos DP	Sí
Física de la interfaz	
RJ 45 (Ethernet)	
• 100 Mbits/s	Sí
• Autonegociación	Sí
• Autocrossing	Sí
• LED de estado Industrial Ethernet	Sí
RS 485	
• Velocidad de transferencia, máx.	12 Mbit/s
Protocolos	
N° de conexiones	
• Número de conexiones máx.	128; vía interfaces integradas de la CPU y CP/CM conectados
• Número de conexiones reservadas para ES/HMI/Web	10
• Número de conexiones vía interfaces integradas	88
• Número de conexiones por CP/CM	32
• Número de conexiones de S7 Routing	16
Funcionamiento redundante	
• H-Sync Forwarding	Sí
Redundancia del medio	
— Redundancia del medio	Sí; solo a través de BusAdapter
— MRP	Sí; MRP Automanager según IEC 62439-2 Edition 2.0; MRP Manager; MRP Client
— MRP Interconnection, soportada	Sí; como dispositivo del anillo MRP según IEC 62439-2 Edition 3.0
— MRPD	Sí; Requisitos: IRT
— Tiempo de conmutación en caso de rotura de cable, típ.	200 ms; con MRP; sin latencia con MRPD
— N° de estaciones en el anillo, máx.	50
Comunicación SIMATIC	
• Comunicación PG/OP	Sí; cifrado preajustado mediante TLS V1.3
• S7-Routing	Sí
• Enrutado de registros	Sí
• Comunicación S7, como servidor	Sí
• Comunicación S7, como cliente	Sí
• Datos útiles por petición, máx.	ver la Ayuda online (S7 communication, User data size)
Comunicación IE abierta	
• TCP/IP	Sí
— Tamaño de datos, máx.	64 kbyte

— varias conexiones pasivas por puerto, función soportada	Sí
• ISO-on-TCP (RFC1006)	Sí
— Tamaño de datos, máx.	64 kbyte
• UDP	Sí
— Tamaño de datos, máx.	2 kbyte; 1 472 bytes con UDP Broadcast
— UDP-Multicast	Sí; Máx. 5 circuitos Multicast
• DHCP	Sí
• DNS	Sí
• SNMP	Sí
• DCP	Sí
• LLDP	Sí
• Codificación	Sí; opcional
Servidores web	
• HTTP	Sí; Páginas estándar y de usuario
• HTTPS	Sí; Páginas estándar y de usuario
OPC UA	
• Requiere licencia runtime	Sí; Licencia "Small" necesaria
• OPC UA Client	Sí
— Autenticación de aplicaciones	Sí
— Políticas de seguridad	Políticas de seguridad disponibles: ninguna, Basic128Rsa15, Basic256Rsa15, Basic256Sha256
— Autenticación de usuarios	"Anónimo o mediante nombre de usuario y contraseña
— Número de conexiones máx.	4
— Número de nodos de las interfaces del cliente, máx.	1 000
— Número de elementos para las respectivas llamadas de OPC-UA_NodeGetHandleList/OPC-UA_ReadList/C máx.	300
— Número de elementos para las respectivas llamadas de OPC-UA_NameSpaceGetIndexList, máx.	20
— Número de elementos para las respectivas llamadas de OPC-UA_MethodGetHandleList, máx.	100
— Número de llamadas simultáneas de las instrucciones del cliente por conexión (excepto OPC-UA_ReadList, OPC-UA_WriteList y OPC-UA_MethodCall), máx.	1
— Número de llamadas simultáneas de las instrucciones del cliente OPC-UA_ReadList, OPC-UA_WriteList y OPC-UA_MethodCall, máx.	5
— Número de nodos registrables, máx.	5 000
— Número de llamadas a métodos de OPC-UA_MethodCall registrables, máx.	100
— Número de entradas/salidas en caso de llamada de OPC-UA_MethodCall, máx.	20
• OPC UA Server	Sí; Acceso a datos (Read, Write, Subscribe), llamada de método, espacio para dirección personalizada
— Autenticación de aplicaciones	Sí
— Políticas de seguridad	Políticas de seguridad disponibles: ninguna, Basic128Rsa15, Basic256Rsa15, Basic256Sha256
— Autenticación de usuarios	"Anónimo o mediante nombre de usuario y contraseña
— soporte de GDS (gestión de certificados)	Sí
— Número de sesiones, máx.	32
— Número de variables accesibles, máx.	50 000
— Número de nodos registrables, máx.	10 000
— Número de suscripciones por sesión, máx.	20
— Intervalo de muestreo, mín.	100 ms
— Intervalo de emisión, mín.	500 ms
— Número de métodos de servidor, máx.	20
— Número de entradas/salidas por método de	20

servidor, máx.	
— Número de elementos vigilados (monitored items), máx.	1 000; con intervalo de muestreo 1 s e intervalo de emisión 1 s
— Número de interfaces del servidor, máx.	10 c/u del tipo "Interfaz de servidor"/"Companion Specification" y 20 del tipo "Espacio de nombres de referencia"
— Número de nodos en interfaces del servidor definidas por el usuario, máx.	1 000
• Alarms and Conditions	Sí
— Número de avisos de programa	100
— Número de avisos para diagnóstico de sistema	50
Otros protocolos	
• MODBUS	Sí; MODBUS TCP
Funciones de aviso S7	
Número de estaciones conectables para funciones de aviso, máx.	32
Avisos de programa	Sí
Número de avisos de programa configurables, máx.	5 000; Los avisos de programa se generan con el bloque "Program_Alarm", ProDiag o GRAPH
Número de avisos de programa cargables en RUN, máx.	2 500
Funciones de test y puesta en marcha	
Puesta en marcha en equipo (Team Engineering)	Sí; acceso online en paralelo posible para hasta 5 sistemas de ingeniería
Estado de bloques	Sí; hasta 8 simultáneamente (en total de todo los ES Clients)
Paso individual	No
Nº de puntos de parada	8
Estado/forzado	
• Estado/forzado de variables	Sí
• Variables	Entradas/salidas, marcas, DB, E/S de periferia, tiempos, contadores
• Nº de variables, máx.	
— de ellas, estado de variables, máx.	200; por petición
— de ellas, forzado de variables, máx.	200; por petición
Forzado permanente	
• Forzado permanente	Sí
• Forzado permanente, variables	Entradas/salidas de periferia
• Nº de variables, máx.	200
Búfer de diagnóstico	
• existente	Sí
• Nº de entradas, máx.	1 000
— de ellos seguros contra caída de red	500
Traces	
• Número de Traces configurables	4; por cada Trace son posible 512 kbytes datos
Alarmas/diagnósticos/información de estado	
LED señalizador de diagnóstico	
• LED RUN/STOP	Sí
• LED ERROR	Sí
• LED MAINT	Sí
• Vigilancia de la tensión de alimentación (LED PWR)	Sí
• Indicador de conexión LINK TX/RX	Sí
Objetos tecnológicos soportados	
Motion Control	Sí; Nota: El número de objetos tecnológicos influye en el tiempo de ciclo del programa del PLC; ayuda para selección disponible en la TIA Selection Tool
• Número de recursos de Motion Control disponibles para objetos tecnológicos	800
• recursos de control de movimiento necesarios	
— por eje de velocidad	40
— por eje de posicionamiento	80
— por eje síncrono	160
— por encóder externo	80
— por leva	20

