



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Proyecto de un sistema de monitorización del consumo eléctrico de una instalación mediante interfaz HTML y alertas vía mensajería instantánea.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

AUTOR/A: Dillana Rubio, Adrián

Tutor/a: Pineda Sánchez, Manuel

Cotutor/a: Pérez Cruz, Juan

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

AGRADECIMIENTOS

“Quiero aprovechar la ocasión para agradecer el apoyo incondicional de mi familia, de Carolina, de mis amigos y de mis compañeros de clase por hacerme más amenos estos largos seis años de estudio. Asimismo, no puedo olvidar en este momento a mi tutor Manuel, por su tiempo, su paciencia y por estar dispuesto a ayudarme en todo momento.”

RESUMEN

El coste de la electricidad supone a las empresas un porcentaje relativamente elevado de sus costes, muchas de ellas están destinando más recursos económicos de los que deberían debido al gran desconocimiento en este campo.

En el presente trabajo, con la ayuda de la industria 4.0, se va a desarrollar un sistema para permitir el control del consumo eléctrico de las empresas. Para ello, primero, se realizará el diseño de la instrumentación eléctrica para medidas de tensión, corriente y potencia basado en ESP32, para que, posteriormente, se lleve a cabo el diseño de la interfaz de usuario HTML para la representación de los valores de consumo obtenidos desde cualquier tipo de dispositivo fijo o móvil compatible.

Finalmente, se desarrollará un sistema de alertas programables en magnitud y nivel por mensajería instantánea.

Palabras clave: Industria 4.0; consumo eléctrico; control; PLC; HTML.

ABSTRACT

The cost of electricity represents a relatively high percentage of their costs for companies, many of which are allocating more financial resources than they should due to the great lack of knowledge in this field.

In the present work, with the help of industry 4.0, a system will be developed to allow the control of the electricity consumption of companies. For this, first, the design of the electrical instrumentation for voltage, current and power measurements based on ESP32 will be carried out, so that, later, the design of the HTML user interface is carried out for the representation of the consumption values. obtained from any type of compatible fixed or mobile device.

Finally, a system of programmable alerts in magnitude and level by instant messaging will be developed.

Keywords: Industry 4.0; electrical consumption; control; PLC; HTML.

RESUM

El cost de l'electricitat suposa a les empreses un percentatge relativament elevat dels seus costos, moltes estan destinant més recursos econòmics dels que haurien degut al gran desconeixement en aquest camp.

En aquest treball, amb l'ajuda de la indústria 4.0, es desenvoluparà un sistema per permetre el control del consum elèctric de les empreses. Per això, primer, es realitzarà el disseny de la instrumentació elèctrica per a mesures de tensió, corrent i potència basat en ESP32, perquè, posteriorment, es dugui a terme el disseny de la interfície d'usuari HTML per a la representació dels valors de consum obtinguts des de qualsevol tipus de dispositiu fix o mòbil compatible.

Finalment es desenvoluparà un sistema d'alertes programables en magnitud i nivell per missatgeria instantània.

Paraules clau: Indústria 4.0; consum elèctric; control; PLC; HTML.

ÍNDICE

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFM

- Memoria
- Presupuesto
- Anejos

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1- ALCANCE Y OBJETIVO DEL TRABAJO.....	13
2-INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA.....	14
2.1-PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
2.2-ANTECEDENTES.....	14
2.2.1-Estudios realizados en el campo de la monitorización de la energía.....	14
2.2.3-Desconocimiento en el campo del consumo eléctrico industrial.....	16
2.2.4-Sistemas de monitorización de la energía presentes en el mercado.....	16
2.2.5-Industria 4.0 y su impacto ambiental.....	18
2.2.6-Uso de autómatas programables en la industria.....	19
2.2.7-Objetivos de desarrollo sostenible.....	19
2.2.8-Consumo energético industrial en España.....	20
2.3-MOTIVACIÓN.....	22
2.4-JUSTIFICACIÓN.....	22
3-NORMATIVA.....	23
3.1-PLAN NACIONAL DE ACCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA 2017-2020.....	23
3.2-ISO 50001.....	23
3.3-ISO 50006.....	24
3.4-UNE-EN 16001:2010.....	24
4-NOCIONES TEÓRICAS.....	25
4.1-SISTEMAS SCADA.....	25
4.2-SISTEMAS DE MEDICIÓN DE LA ENERGÍA.....	26
4.3-FACTURACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.....	26
4.3.1-Facturación en el mercado liberalizado.....	26
4.3.2-Control de los términos de la factura eléctrica.....	28

5-HERRAMIENTAS Y DISPOSITIVOS UTILIZADOS	29
5.1-HARDWARE	30
5.1.1-PAC 4200	30
5.1.2-LOGO! CMR 2020	31
5.1.3-LOGO! BM 8	31
5.1.4-Antena GPS.....	32
5.1.5-Antena GPRS/LTE	32
5.1.6-Switch Ethernet.....	33
5.2-SOFTWARE	33
5.2.1-LOGO! Soft Comfort	33
5.2.2-LOGO! Web Editor.....	34
5.3-PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN	34
5.3.1-Modbus TCP/IP.....	34
5.3.2-GPRS.....	34
5.3.3-Comunicación mediante salidas físicas.....	35
6-MEMORIA DESCRIPTIVA	36
6.1-SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE LA ENERGÍA DESARROLLADO	36
6.2-LECTURA Y PROCESAMIENTO DE LAS ENTRADAS	38
6.2.1-Programación en LOGO! Soft Comfort.....	39
6.2.2-Conexión del PC al LOGO! BM 8.....	49
6.3-MONITORIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN MEDIANTE EL WEB SERVER DE LOGO!.....	51
6.4-ENVÍO DE AVISOS MEDIANTE SMS Y E-MAIL	57
6.4.1-Puesta en marcha del LOGO! CMR2020	57
6.5.2-Configuración del LOGO! CMR2020	58
6.5.3-Configuración del contenido de los mensajes por SMS y correo electrónico	65
6.5-OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CONSUMO	68
6.5.1-Puesta en marcha del PAC4200	68
6.5.2-Configuración del PAC4200.....	69
6.6-INSTALACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS Y PUESTA EN MARCHA	71
6.6.1-Conexión LOGO! BM 8 y LOGO! CMR2020	71
6.6.2-Conexión switch ethernet.....	72
6.6.3-Conexión PAC4200 para la lectura del consumo de la carga monofásica	73
6.7-DESARROLLO DE LA PÁGINA WEB MEDIANTE HTML.....	75
6.7.1-Explicación del código	77

6.7.2-Dirección página web.....	82
6.8-SIMULACIÓN EN EL LABORATORIO	82
6.9-COSTES DE LOS DISPOSITIVOS UTILIZADOS	86
7-POSIBLES MEJORAS	87
7.1-USO DEL SIMATIC IOT2000	87
7.2-REGISTROS DE DATOS MEDIANTE FTP	87
7.3-CONTROL DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA	88
8-CONCLUSIÓN.....	89
9-BIBLIOGRAFÍA	91

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1-JUSTIFICACIÓN DE PRECIOS	94
1.1-ALCANCE E INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA.....	94
1.2-LECTURA Y REDACCIÓN DE LA NORMATIVA	95
1.3-NOCIONES TEÓRICAS	96
1.4-DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN.....	97
1.5-INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA	98
1.6-PROGRAMACIÓN PLC.....	99
1.7-PROGRAMACIÓN PÁGINA WEB	100
1.8-PRUEBAS EN EL LABORATORIO	101
1.9-ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO.....	102
2-PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN, DE CONTRATA Y DE BASE DE LICITACIÓN	103

ÍNDICE DE LOS ANEJOS

ANEJO 1	105
----------------------	------------

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1 Interfaz software Smarkia (Maximize efficiency and savings)</i>	17
<i>Ilustración 2 Interfaz software Inavitas (Real-Time Energy Intelligence Platform for Businesses)</i>	17
<i>Ilustración 3 Descomposición del gasto energético por tipo de producto (María de los Llanos Matea y Alejandro Muñoz-Julve, 2022)</i>	20
<i>Ilustración 4 Coste del MWh en el mercado Ibérico de electricidad (María de los Llanos Matea y Alejandro Muñoz-Julve, 2022)</i>	21
<i>Ilustración 5 Gasto energético sobre la cifra de negocio (María de los Llanos Matea y Alejandro Muñoz-Julve, 2022)</i>	21
<i>Ilustración 6 Estructura de un sistema SCADA (Apuntes Automatización de Procesos Industriales Universidad Politécnica de Valencia (UD4), 2020)</i>	25
<i>Ilustración 7 Pac4200</i>	30
<i>Ilustración 8 LOGO! CMR2020</i>	31
<i>Ilustración 9 LOGO! BM 8</i>	32
<i>Ilustración 10 Switch Ethernet</i>	33
<i>Ilustración 11 LCD del PAC4200 mostrando la potencia de cada fase (PAC4200 Power monitoring Device, 2019)</i>	36
<i>Ilustración 12 Esquema de la instalación y la comunicación del LOGO! CMR2020</i>	37
<i>Ilustración 13 Esquema básico de la instalación</i>	38
<i>Ilustración 14 Dirección, formato y unidades de la potencia activa y reactiva</i>	39
<i>Ilustración 15 Conexión Modbus TCP/IP</i>	40
<i>Ilustración 16 Transferencia de datos mediante Modbus TCP/IP</i>	40
<i>Ilustración 17 Instrucciones en LOGO! Soft Comfort</i>	41
<i>Ilustración 18 Control de la potencia activa</i>	41
<i>Ilustración 19 Selección de la entrada del controlador</i>	42
<i>Ilustración 20 Configuración del comparador analógico B001</i>	42
<i>Ilustración 21 Tratamiento de la potencia reactiva consumida</i>	43
<i>Ilustración 22 Configuración B010</i>	44
<i>Ilustración 23 Cálculo del factor de potencia para el caso de consumo de potencia reactiva inductiva</i>	44
<i>Ilustración 24 Configuración instrucción aritmética</i>	45
<i>Ilustración 25 Cálculo del factor de potencia para el caso de consumo de potencia reactiva capacitiva</i>	45
<i>Ilustración 26 Comparación del porcentaje de inductiva obtenido</i>	46
<i>Ilustración 27 Comparación del porcentaje de capacitiva obtenido</i>	46
<i>Ilustración 28 Programa final</i>	47
<i>Ilustración 29 Registro de las potencias leídas</i>	48
<i>Ilustración 30 Configuración del temporizador semanal</i>	48
<i>Ilustración 31 Configuración del generador de impulsos asíncrono</i>	48
<i>Ilustración 32 Configuración del registro de datos</i>	49
<i>Ilustración 33 Obtención de la IP mediante el LCD del dispositivo</i>	49
<i>Ilustración 34 Cambio de la dirección IP del LOGO! BM 8 desde el software</i>	50
<i>Ilustración 35 Dispositivos accesibles para realizar la transferencia del programa</i>	50
<i>Ilustración 36 Transferencia de datos al PLC</i>	51
<i>Ilustración 37 Acceso al servidor web</i>	52
<i>Ilustración 38 Pestaña a extraer para introducir la microSD</i>	52
<i>Ilustración 39 Configuración de la gráfica</i>	53
<i>Ilustración 40 Configuración de las salidas a representar en la gráfica</i>	53
<i>Ilustración 41 Configuración de las barras analógicas</i>	54
<i>Ilustración 42 Configuración de los tres indicadores de aviso</i>	55
<i>Ilustración 43 Aspecto de los indicadores sin penalización en el consumo</i>	55
<i>Ilustración 44 Apariencia final del SCADA</i>	56

<i>Ilustración 45 Carga del programa al PLC.....</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 46 Acceso a la web de Siemens del controlador.....</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 47 Alojamiento de la tarjeta SIM en el LOGO! CMR2020.....</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 48 Conexión de las antenas en el LOGO! CMR 2020 (Siemens, 2021).....</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 49 Botón SET en LOGO! CMR2020.....</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 50 Inicio de sesión en LOGO! CMR2020.....</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 51 Página de inicio del LOGO! CMR2020.....</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 52 Nombre, descripción y activación del GPS.....</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 53 Configuración de la zona horaria local.....</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 54 Cambio de la dirección IP.....</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 55 Configuración de la comunicación móvil inalámbrica.....</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 56 Comprobación de conexión móvil inalámbrica establecida.....</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 57 Fuerza y calidad de la señal.....</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 58 Opciones a habilitar para recibir de mensajes.....</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 59 Configuración para el envío de e-mail.....</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 60 Usuarios a los que se les va a enviar los avisos.....</i>	<i>65</i>
<i>Ilustración 61 Creación de grupos.....</i>	<i>66</i>
<i>Ilustración 62 Configuración de los mensajes a enviar.....</i>	<i>66</i>
<i>Ilustración 63 Configuración de eventos.....</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 64 Configuración de las acciones a realizar.....</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 65 Configuración de las asignaciones.....</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 66 Conexión PAC4200.....</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 67 Introducción de la batería en el dispositivo (PAC4200 Power monitoring Devise, 2019).....</i>	<i>69</i>
<i>Ilustración 68 Pantalla inicial del PAC4200.....</i>	<i>69</i>
<i>Ilustración 69 Asignación de la IP del dispositivo.....</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 70 Configuración para la medición de una carga monofásica.....</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 71 Configuración de las entradas de corriente.....</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 72 Interconexión LOGO! CMR2020 y LOGO! BM 8.....</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 73 Esquema de interconexión LOGO! CMR2020 y LOGO! BM 8.....</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 74 Detalle de la interconexión LOGO! CMR2020 y LOGO! BM 8.....</i>	<i>72</i>
<i>Ilustración 75 Cables RJ45 conectados al switch de ethernet.....</i>	<i>72</i>
<i>Ilustración 76 Conexión del PAC4200 para medición de la carga monofásica (PAC4200 Power monitoring Devise, 2019).....</i>	<i>73</i>
<i>Ilustración 77 Transformador de corriente utilizado.....</i>	<i>73</i>
<i>Ilustración 78 Conexión entre el PAC4200, el transformador de corriente y la carga.....</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 79 Esquema de la conexión entre el PAC4200, el transformador de corriente y la carga.....</i>	<i>75</i>
<i>Ilustración 80 Registro de datos.....</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 81 Selección del archivo a representar en la página web.....</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 82 SCADA - Conexión de la resistencia.....</i>	<i>83</i>
<i>Ilustración 83 SCADA - Conexión resistencia + bobina.....</i>	<i>83</i>
<i>Ilustración 84 Aviso SMS por superar el consumo de potencia reactiva inductiva.....</i>	<i>84</i>
<i>Ilustración 85 SCADA - Conexión resistencia + bobina + condensador (C2).....</i>	<i>84</i>
<i>Ilustración 86 SCADA - Conexión resistencia + bobina + condensador (C2) + condensador (C3).....</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 87 Gráficas creadas en la página web.....</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 88 SCADA - Conexión C2.....</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 89 Simatic IOT2000.....</i>	<i>87</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Costes del hardware y del software usado.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 2 Presupuesto - Alcance e introducción al problema</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 3 Presupuesto - Lectura y redacción de la normativa</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 4 Presupuesto - Nociones teóricas.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 5 Presupuesto - Diseño del sistema de monitorización</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 6 Presupuesto - Instalación y puesta en marcha.....</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 7 Presupuesto - Programación PLC</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 8 Presupuesto - Programación página web</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 9 Presupuesto - Pruebas en el laboratorio</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 10 Presupuesto - Elaboración del presupuesto</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 11 Presupuesto de ejecución, de contrata y de base de licitación</i>	<i>103</i>

MEMORIA

1- ALCANCE Y OBJETIVO DEL TRABAJO

El presente trabajo abarca distintas ramas de la ingeniería vistas a lo largo de todo el Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales y el Máster en Ingeniería Industrial, tratando conceptos de ingeniería eléctrica, ingeniería electrónica, automática e informática. Las tareas a que se llevarán a cabo son las siguientes.

- Obtención de los parámetros eléctricos de interés, de una instalación industrial, para controlar posibles penalizaciones en el precio de la electricidad y adaptar la tarifa eléctrica a las necesidades reales del usuario.
- Elección de los dispositivos encargados de obtener y procesar los datos deseados, así como el protocolo de comunicación mediante el cual se va a intercambiar la información.
- Instalación y puesta en marcha de todos los dispositivos necesarios.
- Programación del PLC para que procese los distintos datos recibidos.
- Programar el envío de avisos mediante SMS y correo electrónico.
- Programación de un SCADA mediante el Web Server de Siemens para el control de la instalación.
- Programación de una página web mediante HTML para monitorizar la instalación.

El objetivo principal del trabajo es el desarrollo de una guía completa que recogerá cada una de las tareas de investigación realizadas por el alumno durante el periodo de tiempo que se exige en la Escuela para la elaboración del Trabajo Final de Máster. Dicha guía ha sido solicitada por una empresa que ha decidido contratar los servicios del estudiante y del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la UPV. Servirá para la realización del seguimiento y monitoreo del consumo de una determinada instalación industrial a través de internet y mediante alertas vía mensajería instantánea.

Adicionalmente, servirá de base para la elaboración de futuros trabajos dentro del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la UPV y para la realización de prácticas por parte del alumnado que se encuentra cursando el Máster Universitario en Ingeniería Industrial.

2-INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA

En este apartado se va a exponer el planteamiento del problema, los antecedentes, la motivación y la justificación que han llevado a la realización del proyecto.

2.1-PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una empresa que posee una gran cantidad de instalaciones industriales no dispone de los conocimientos necesarios para entender y analizar las mediciones de los consumos energéticos de sus instalaciones. Los gastos en la electricidad en el último año han sido muy elevados y han significado un porcentaje muy alto en los costes. Quieren saber qué sectores de la empresa están consumiendo más de la cuenta y siendo menos eficientes, y de esta forma arreglar o reemplazar los dispositivos que están suponiendo un coste adicional a la misma.

Por ello, han solicitado a la Universidad Politécnica de Valencia que desarrolle un sistema de monitorización de la energía para poder reducir los gastos, lograr comprender las distintas penalizaciones en el consumo y reducir las. Adicionalmente, les gustaría adaptar la potencia contratada a las necesidades reales del consumo y mejorar la eficiencia de sus instalaciones industriales.

2.2-ANTECEDENTES

En el presente apartado se van a tratar los distintos antecedentes que han originado el desarrollo del proyecto. Se va a hablar tanto de los problemas tecnológicos, teóricos, medioambientales y sociales que se pretenden resolver con el proyecto, así como de técnicas o enfoques alternativos que existan en el momento de plantear el proyecto.

2.2.1-Estudios realizados en el campo de la monitorización de la energía

A continuación, se van a recoger una serie de estudios realizados sobre la monitorización de la energía en la industria que han supuesto uno de los principales motivos para el desarrollo de un proyecto dentro de este campo de la ingeniería.

1. "Energy Management Systems: State of the Art and Emerging Trends"

Este estudio, publicado en la revista "IEEE Transactions on Industrial Informatics", proporciona una visión global del estado y las tendencias actuales en el campo de los sistemas de gestión energética en la industria. Estos sistemas son importantes herramientas utilizadas por las empresas para medir, analizar, optimizar y hacer más eficiente su consumo de energía, con el objetivo de reducir costes, mejorar la eficiencia energética y cumplir con algunos de los objetivos de desarrollo sostenible.

El estudio resalta varios tipos de sistemas de monitorización de energía utilizados en la industria, que incluyen analizadores de red, sistemas de automatización y control, sensores y dispositivos inteligentes, y mecanismos de monitorización energética. Estos sistemas facilitan a las

empresas la recopilación y el análisis de datos del consumo de energía en tiempo real, lo que les ayuda a tener una visión general, precisa y clara de su consumo energético y tomar decisiones sobre cómo gestionar la energía.

Adicionalmente, resalta que las el presente y futuro en los sistemas de gestión energética incluyen el uso de tecnologías avanzadas como el Internet de las cosas (IoT), el análisis de datos, la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (machine learning). El uso de sensores y dispositivos inteligentes conectados a través de IoT permite la recopilación y análisis de datos de consumo de energía en tiempo real de manera más eficiente y procesando un mayor volumen de información. El análisis de datos y la IA permiten procesar y analizar grandes volúmenes de datos de energía, lo que ofrece una visión más general y permite la identificación de patrones, tendencias y oportunidades de ahorro de energía. (Ultimate technologies and advances for future smart grid, 2013)

2. "Internet of Things (IoT) for Energy Management in Smart Manufacturing: A Review of Current Status and Future Prospects"

El estudio realiza un análisis de la situación actual y sus posibles evoluciones futuras en el uso de Internet de las cosas (IoT) en la gestión energética en la fabricación inteligente. Destaca cómo el IoT ha sido utilizado con éxito en este campo, y expone cada una de las ventajas y desafíos asociados con su implementación.

Expone que el IoT se ha utilizado de forma muy frecuente en la fabricación inteligente para mejorar la eficiencia energética a través de la monitorización y el control de dispositivos y sistemas en tiempo real. Esto incluye la recopilación de datos del consumo de energía en tiempo real, la optimización y eficiencia en la carga de trabajo de los equipos, y la detección de oportunidades para conseguir un ahorro energético. Destaca cómo el IoT ha sido utilizado en la predicción y diagnóstico de fallos en los equipos, lo que ayuda a evitar paradas no planificadas y a optimizar el mantenimiento.

Identifica varios desafíos a los que hay que enfrentarse con la implementación del IoT en la gestión energética. De los cuales destaca la seguridad y privacidad de los distintos datos, la compatibilidad de los dispositivos y sistemas IoT, y la necesidad de una alta capacidad en el análisis de datos para obtener información significativa a partir de grandes cantidades de datos generados mediante estos dispositivos. (Internet of Things (IoT) for Energy Management in Smart Manufacturing: A Review of Current Status and Future Prospects, 2019)

3. "Energy Management and Monitoring Systems for Manufacturing: A Literature Review"

El estudio destaca que la gestión y monitoreo de la energía en la fabricación son conceptos muy importantes debido a la creciente exigencia por parte de las empresas y las normativas en obtener una mejora en la eficiencia energética y en la sostenibilidad en la producción industrial. Realiza una revisión de la literatura existente sobre los sistemas de monitorización y gestión de la energía, exponiendo tanto estudios y artículos científicos como, conferencias realizadas en este campo.

Recoge los diferentes componentes y características de los sistemas de gestión y monitoreo de energía en la industria, como la adquisición y análisis de datos de energía, y su posterior visualización, toma de decisiones, predicción de la demanda, y la integración de fuentes de energía renovable.

Examina cada uno de los beneficios de la implementación de sistemas de gestión y monitoreo de energía en la manufactura, como la reducción en los costes, la mejora de la eficiencia, la optimización en el consumo y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Sin embargo, el estudio identifica algunos desafíos que dificultan la implementación de estos sistemas, como son la falta de estándares y regulaciones, la complejidad en la instalación e implementación de los sistemas, la seguridad y privacidad de los datos, y la necesidad de conocimientos y capacidades técnicas por parte de los usuarios. (Energy management in manufacturing: From literature review to a conceptual framework, 2017)

2.2.3-Desconocimiento en el campo del consumo eléctrico industrial

A menudo, los consumidores no llegan a entender del todo bien cómo funciona su contador eléctrico ni que es lo que realmente están pagando en su factura eléctrica. Esto puede dar lugar a un uso ineficiente de la energía y a facturas más elevadas de lo necesario. En muchas empresas, la energía es un coste importante y cualquier ineficiencia puede conllevar a un impacto significativo en la rentabilidad del negocio.

Uno de los principales motivos del alto consumo de energía es la falta de información clara y accesible. Muchos hogares y empresas no tienen acceso a información detallada sobre su consumo de energía en tiempo real, lo que dificulta la identificación de áreas de ineficiencia donde se podría conseguir un ahorro significativo de energía. Además, muchas de las facturas eléctricas no proporcionan información detallada sobre cómo se calculan las tarifas, lo que dificulta la comprensión del coste real de la energía.

Es importante que las empresas establezcan políticas y procedimientos claros para reducir el consumo de energía. Esto puede incluir la instalación de equipos de medición y control que permitan un seguimiento en tiempo real del consumo de energía, la aplicación de prácticas de eficiencia energética en las operaciones diarias, la instalación de fuentes de energía renovables y la formación de los empleados en prácticas sostenibles y responsables.

2.2.4-Sistemas de monitorización de la energía presentes en el mercado

En el mercado, existen distintas empresas que ofrecen la implementación de sistemas de monitorización de la energía en el entorno industrial. Aunque en muchas ocasiones puede resultar altamente ventajoso, otras veces puede ser contraproducente debido a su elevado coste. Que puede incluir no solo el precio de los equipos y el software, sino también el de la instalación, la capacitación, la integración con otros sistemas existentes y el mantenimiento.

Si se realiza una búsqueda de estos tipos de sistemas en el mercado, se encuentran empresas extranjeras que ofrecen productos idénticos, con herramientas de monitorización muy similares, cambiando simplemente la interfaz del software de monitorización desarrollado (Ilustración 1 Interfaz software Smarkia . A continuación, se va a exponer alguna de las herramientas y los recursos de monitorización de la energía que ofrecen las empresas líderes en este sector, como son Smarkia (Maximize efficiency and savings), ETAP (Energy management systems) e Inavitas (Real-Time Energy Intelligence Platform for Businesses):

- Plataforma de monitorización: permite visualizar y analizar los datos de consumo energético de diferentes instalaciones de forma remota y en tiempo real.
- Monitoreo de calidad de la energía: permiten identificar problemas de calidad de energía, tales como armónicos, desequilibrios de voltaje y fluctuaciones de frecuencia.
- Análisis de datos y reportes: herramientas de análisis de datos avanzados que permiten identificar patrones de consumo, identificar áreas de alto consumo y analizar tendencias a lo largo del tiempo.
- Alertas y notificaciones: generación de alertas y notificaciones en tiempo real cuando se detectan desviaciones en los patrones de consumo energético.
- Integración con sistemas SCADA y automatización: permiten obtener datos en tiempo real de la operación de los sistemas eléctricos.

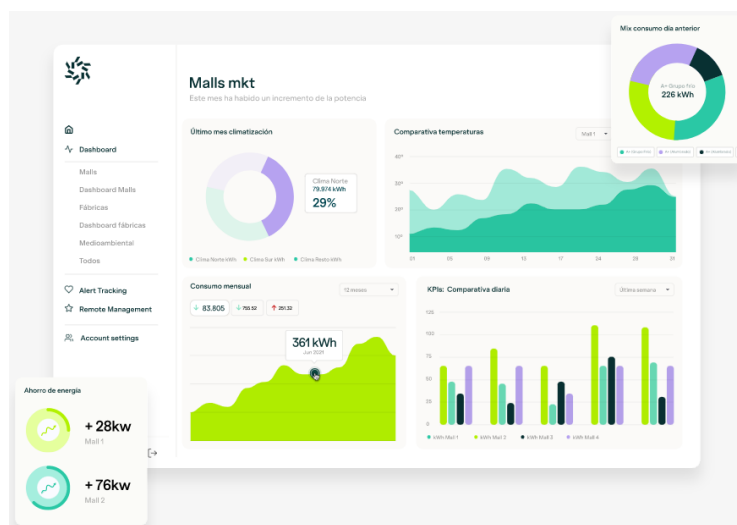


Ilustración 1 Interfaz software Smarkia (Maximize efficiency and savings)



Ilustración 2 Interfaz software Inavitas (Real-Time Energy Intelligence Platform for Businesses)

Las empresas que implementan este tipo de sistemas en la industria son muy escasas y la mayoría extranjeras, lo cual dificulta altamente la comunicación y el mantenimiento presencial. Los productos que ofrecen se comercializan en “*packs*” que incluyen una gran cantidad de funciones, algunas de las cuales no son de interés para el usuario final. A todo ello hay que sumar que no muestran información detallada de su producto ni de su precio en páginas web.

Estos sistemas que se comercializan son complejos y altamente genéricos, lo que conlleva a que carezcan de opciones de personalización por parte del usuario y de una adaptación real a sus necesidades. Es por ello, que en el presente trabajo se ofrece una guía para la implementación de un sistema de este tipo dentro del entorno industrial, el cual puede ser altamente atractivo para las pequeñas y medianas empresas que no pueden hacer frente a los elevados costes. A continuación, se exponen ventajas frente a la contratación de otra empresa que ofrezca este servicio:

- Reducción significativa en el coste de la instalación.
- Alta personalización por parte del usuario.
- Adaptación a las necesidades del negocio.
- Fácil mantenimiento: el sistema ha sido realizado e implantado por la propia empresa, esta poseerá los conocimientos necesarios para posibilitar su correcto funcionamiento y para hacer frente a los problemas que puedan aparecer en un futuro.

Se busca cubrir un nicho en el mercado, desarrollando una guía que permita implementar un sistema de monitorización de la energía en la industria que sea simple, sencillo y que ofrezca la información justa y necesaria para mejorar la eficiencia de las instalaciones.

2.2.5-Industria 4.0 y su impacto ambiental

La Industria 4.0 puede ayudar de forma significativa en la reducción del impacto ambiental de la producción industrial.

En primer lugar, la automatización y digitalización de los procesos de producción, y la integración de sistemas de monitoreo y control permiten una mejor gestión y optimización del consumo de recursos como la energía. Los sistemas de control más avanzados pueden ajustar y limitar la cantidad de energía necesaria para la producción de un determinado producto, lo que se traduce a una reducción en el consumo de esta y, por lo tanto, las emisiones de gases nocivos para el medio ambiente.

En segundo lugar, la Industria 4.0 puede ayudar a reducir el desperdicio y las emisiones en la producción al ajustar los productos a las exigencias y necesidades reales, elaborando solo lo que se necesita y reduciendo la cantidad de inventario no utilizado.

Además, la integración de sensores y tecnología IoT (internet de las cosas) en la producción industrial puede ayudar a identificar áreas de ineficiencia y detectar oportunidades de mejora en tiempo real. Esto permite a las empresas implementar y desarrollar soluciones de una forma más rápida, reduciendo los costes y el impacto ambiental asociados a una producción ineficiente.

Se han desarrollado soluciones específicas orientadas a la gestión de la energía en la Industria 4.0, como los sistemas de gestión energética y los sistemas de control de la demanda de energía. Estos sistemas utilizan tecnología avanzada de monitoreo y control para optimizar el consumo de energía en la producción industrial y reducir los costes asociados a un consumo excesivo de energía.

2.2.6-Uso de autómatas programables en la industria

En el presente trabajo se va a hacer uso de un PLC para controlar y procesar los consumos eléctricos de una instalación industrial. Los PLCs (Programmable Logic Controllers o Controladores Lógicos Programables) son dispositivos electrónicos que se utilizan en la automatización industrial para controlar procesos y maquinarias en entornos exigentes y con grandes interferencias en transmisión de los datos. A continuación, se presentan algunas de las ventajas e inconvenientes a tener en cuenta en el uso de PLCs en la industria:

Ventajas:

- **Flexibilidad:** son dispositivos programables que pueden ser adaptados y reprogramados multitud de veces de una forma muy sencilla y rápida para así controlar los distintos procesos y maquinarias presentes en la industria.
- **Robustez:** están diseñados para funcionar en entornos industriales exigentes, lo que los hace altamente fiables y resistentes a factores presentes en dicho entorno como son la humedad, el polvo, las vibraciones y las interferencias.
- **Rapidez:** son dispositivos destinados principalmente al control en tiempo real, permitiendo así a responder muy rápidamente a señales de entrada y enviar señales de salida a los dispositivos conectados a ellos en escasos milisegundos.
- **Ahorro de costes:** pueden ayudar a reducir los costes de producción al mejorar la eficiencia, la productividad y la rapidez de los procesos industriales.

Inconvenientes:

- **Coste inicial:** pueden ser relativamente caros en comparación con otros dispositivos de control como podrían ser los microcontroladores. Sin embargo, tienen precios muy competitivos para las funciones que desempeñan.
- **Conocimientos técnicos:** aunque presentan interfaces de programación sencillas, es verdad que se requieren conocimientos técnicos especializados para programar y operar los PLCs, lo que puede aumentar los costes laborales en la industria. La gran mayoría de veces estos deben de ser programados y puestos en marcha por ingenieros especializados en el campo de la automatización.
- **Fallos de programación:** pueden ser vulnerables a fallos de programación que pueden afectar el rendimiento y la seguridad de los procesos, poniendo en riesgo el funcionamiento de las maquinarias controladas por ellos.
- **Mantenimiento:** a pesar de su robustez, como cualquier dispositivo electrónico requieren de un mantenimiento regular para garantizar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil.

Es importante que las empresas evalúen cuidadosamente las ventajas e inconvenientes antes de decidir si los PLCs son la mejor opción para sus necesidades de automatización. No obstante, son la opción principal y favorita de las empresas para controlar sus procesos industriales.

2.2.7-Objetivos de desarrollo sostenible

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son una iniciativa impulsada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) que busca erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todas las personas. Los ODS están formados por 17 objetivos y 169 metas que deben

ser alcanzados en el año 2030. Los objetivos relacionados con el presente proyecto son los siguientes (La Agenda para el Desarrollo Sostenible, 2019):

- ODS 7: Energía asequible y no contaminante. Su objetivo principal es asegurar el acceso a una energía asequible, confiable, sostenible y moderna para todos. Para poder lograrlo, se busca aumentar el uso de energías renovables y conseguir una mejoría en la eficiencia energética.
- ODS 9: Industria, innovación e infraestructura. Se centra en fomentar el desarrollo de infraestructuras eficientes y promover la industrialización e innovación sostenible. La reducción del consumo energético por parte de las industrias es un factor clave para lograr este objetivo.
- ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles. Se centra en conseguir que las ciudades y los hogares de las personas sean más sostenibles y accesibles para todos. La reducción del consumo energético de las industrias es una de las medidas que se deben de tomar para lograrlo, ya que contribuirá a una reducción de la emisión de los gases de efecto invernadero y a mejorar la calidad del aire en las ciudades.
- ODS 12: Producción y consumo responsables. Se enfoca en crear sistemas de producción y consumo sostenibles, y fomentar el uso eficiente y razonable de los recursos naturales. La reducción del consumo eléctrico de las industrias es una de las formas de lograr este objetivo, ya que se trata de un recurso altamente utilizado en la mayoría de las actividades industriales.

En general, la reducción del consumo energético de las industrias es un factor muy importante para lograr distintos objetivos de desarrollo sostenible relacionados, principalmente, con la sostenibilidad ambiental y la eficiencia energética.

2.2.8-Consumo energético industrial en España

Según el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE): *“El sector de la Industria ha sido, tradicionalmente, el mayor consumidor de energía en España. Sin embargo, las medidas de ahorro y eficiencia que comenzaron a ponerse en práctica en los años 70 y la mejora en los procesos industriales a través de las nuevas tecnologías, unido, por otra parte, al gran aumento de la movilidad de personas y mercancías, ha hecho que el transporte desbanque en consumo a la Industria. El sector es, en definitiva, responsable del 31% del consumo de energía de nuestro país.”* (Sector industria y el consumo de energía, s.f.)

De este 31% del consumo de la energía total España, en 2019, el 57% correspondió al consumo eléctrico (Ilustración 3 Descomposición del gasto energético por tipo de producto .

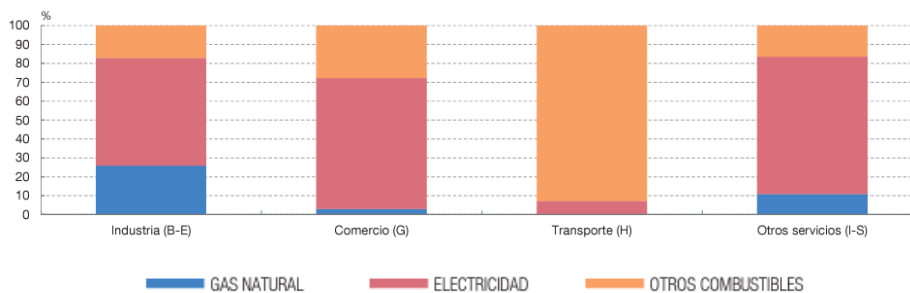


Ilustración 3 Descomposición del gasto energético por tipo de producto (María de los Llanos Matea y Alejandro Muñoz-Julve, 2022)

Adicionalmente a los datos anteriores, se debe destacar el aumento en el precio de la electricidad en los últimos años en España, debido principalmente al incremento en los precios del gas natural y de los derechos de emisión del CO₂ (Ilustración 4 Coste del MWh en el mercado Ibérico de electricidad

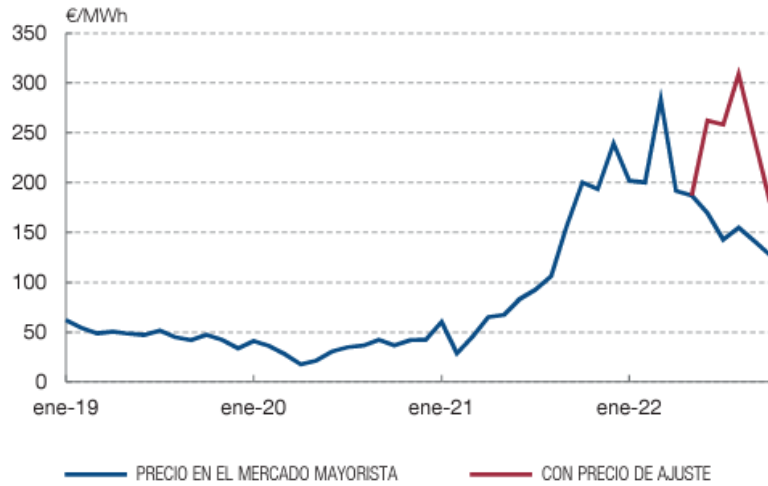


Ilustración 4 Coste del MWh en el mercado Ibérico de electricidad (María de los Llanos Matea y Alejandro Muñoz-Julve, 2022)

Resulta interesante resaltar que en más de la mitad de las empresas el gasto energético en 2019 representaba menos del 1,5 % de su cifra de negocio; en un 40 % de las empresas alcanzaba entre el 1,5 % y el 3,5 %, y tan solo en un 10 % de las empresas la factura energética se situaba por encima del 3,5 % (Ilustración 5 Gasto energético sobre la cifra de negocio . Por tipo de producto energético, la electricidad suponía para la mayoría de las empresas el coste energético más importante, seguido de los otros combustibles. (El gasto energético de las empresas españolas industriales y de servicios, 2022).

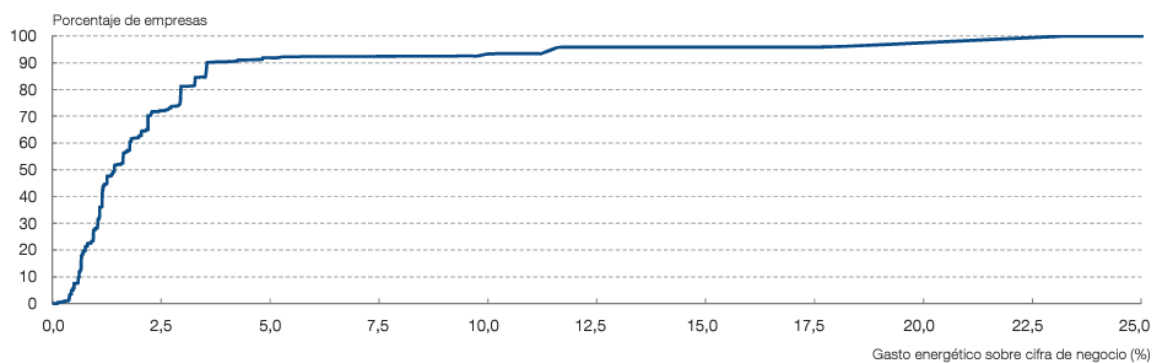


Ilustración 5 Gasto energético sobre la cifra de negocio (María de los Llanos Matea y Alejandro Muñoz-Julve, 2022)

2.3-MOTIVACIÓN

Dos son las motivaciones fundamentales para realización de este trabajo. Por una parte, suponen el colofón a los estudios del Máster Universitario en Ingeniería Industrial, y por otra, el hecho de que el autor de este trabajo fuera seleccionado dentro del programa de becas de la Fundación Elecnor para el desarrollo del TFM. Elecnor junto al departamento de ingeniería eléctrica de la UPV propuso una serie de proyectos a elegir entre los que se encontraba el del “Diseño de un sistema de monitorización eléctrica con interfaz HTML y alertas vía mensajería instantánea”.

Dicho proyecto ha sido desarrollado bajo la dirección de Manuel Pineda Sánchez, catedrático de la Universidad Politécnica de Valencia.

2.4-JUSTIFICACIÓN

Este trabajo se desarrolla dentro de un marco industrial y académico donde el estudiante explica de forma didáctica y detallada su trabajo inicial de investigación. Dicho trabajo servirá de guía para una empresa que ha decidido contratar los servicios del estudiante y del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la UPV para la elaboración de un sistema de monitoreo del consumo energético de una instalación industrial. También constituirá la base y la ayuda para el desarrollo de futuros proyectos dentro del Máster Universitario en Ingeniería Industrial.

Los proyectos que se desarrollen en base a este pueden resultar altamente atractivos para una futura comercialización en el ámbito industrial.

3-NORMATIVA

En este apartado se va a exponer la normativa vigente que condiciona el consumo energético en la industria y que sirve como justificación a la necesidad del control y monitorización del consumo eléctrico por parte de las empresas, obteniendo estas grandes beneficios y ayudas con la implantación de estos tipos de sistemas.

3.1-PLAN NACIONAL DE ACCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA 2017-2020

El Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética (PNAEE) 2017-2020 es una iniciativa impulsada por el Gobierno de España en busca de promover el ahorro y la eficiencia energética dentro del país. Fue aprobado en 2017 y establece una serie de medidas y objetivos a alcanzar en un plazo máximo de cuatro años.

El objetivo final del PNAEE 2017-2020 es mejorar la competitividad de la economía española a través de la reducción de los costes energéticos y la protección del medio ambiente. Además, se busca reducir la dependencia del país de los combustibles fósiles y fomentar la innovación y el desarrollo tecnológico en el ámbito de la eficiencia energética. (Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2017-2020, 2017).

3.2-ISO 50001

La norma ISO 50001 es un estándar internacional que establece los requisitos para un sistema de gestión de la energía (SGE) en una organización. Fue publicada en 2011 por la Organización Internacional de Normalización (ISO) y, revisada y actualizada en 2018.

Establece una serie de parámetros para que las organizaciones gestionen su consumo energético y mejoren la eficiencia energética. Entre sus principales objetivos se encuentran:

- Requisitos generales e indispensables para un sistema de gestión de la energía, incluyendo la política energética, la planificación energética, la implementación de medidas de eficiencia energética y la evaluación y revisión del rendimiento energético.
- Distintos métodos para medir y cuantificar el consumo de energía en la organización, así como conseguir identificar las áreas de mejora.
- Herramientas y orientación para la implementación de medidas de eficiencia energética, incluyendo la optimización de los procesos, la reducción de la demanda de energía y el uso de fuentes renovables para la obtención de energía.
- Requisitos para la evaluación y revisión del desempeño energético de la organización, mediante la monitorización y medición de los indicadores de consumo energético y analizando la eficacia de las medidas implementadas.

La norma ISO 50001 tiene como objetivo ayudar a las organizaciones a reducir su consumo de energía y mejorar su eficiencia energética, lo que puede conducir a una reducción en los costes y a una

disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, el cumplimiento de la norma puede mejorar la imagen de la organización y su reputación en el mercado. (ISO 50001, 2018)

3.3-ISO 50006

La norma ISO 50006 es un estándar internacional publicado en 2014 que proporciona una guía para la medición de la eficiencia energética. La norma está diseñada para ayudar a las organizaciones a establecer y mejorar sus programas de gestión de la energía, identificando oportunidades para reducir su consumo de energía y mejorar su eficiencia.

Establece una serie de requisitos para la medición y evaluación de la eficiencia energética en organizaciones. Algunos de los aspectos clave de esta norma son:

- Marco para la medición de la eficiencia energética, que incluye la especificación de los objetivos y metas, la identificación de indicadores de rendimiento energético y la recopilación de datos.
- Pautas para evaluar la eficiencia energética, mediante la identificación de oportunidades de mejora y la implementación de medidas para la reducción en el consumo.
- Información sobre la integración de sistemas de medición y seguimiento de la eficiencia energética, que incluyen el monitoreo de los indicadores de rendimiento energético y la identificación de áreas críticas e ineficientes que requieren mejoras.
- Requisitos para la elaboración de informes sobre la eficiencia energética, identificando los resultados obtenidos y elaborando de planes de acción para la mejora continua.

La norma ISO 50006 tiene como objetivo ayudar a las organizaciones a mejorar su eficiencia energética a través de la implementación de sistemas de medición y seguimiento. Al proporcionar un marco para la medición y evaluación de la eficiencia energética, la norma puede ayudar a las organizaciones a identificar oportunidades para mejorar su desempeño energético, reducir sus costes energéticos y mejorar su sostenibilidad. (ISO 50006, 2014)

3.4-UNE-EN 16001:2010

Esta norma tiene como objetivo ayudar a las organizaciones a reducir los costes del consumo energético y sus emisiones de gases nocivos para el medio ambiente. Pauta cada uno de los sistemas y procesos necesarios para obtener una mejoría en la eficiencia energética en cada uno de sus procesos industriales. Proporciona el marco que permite una gestión eficaz de la energía, no se limita a establecer los requisitos para el buen desempeño energético de la organización. Algunos de los puntos clave de esta norma son los siguientes (Centro nacional de información de la calidad, 2011):

- Fija los objetivos de la norma y explica en qué circunstancias puede aplicarse.
- Indica que el requisito general de la organización es el de establecer, documentar, implementar y mejorar de forma continua un sistema de gestión de la energía.
- Define los pasos iniciales para la implantación de un SGE.
- Necesidad de una revisión continua del sistema y llevar a cabo los cambios necesarios y pertinentes para su mejoría.

4-NOCIONES TEÓRICAS

A continuación, se van a recoger una serie de conceptos teóricos directamente relacionados con el proyecto, que van a servir de ayuda para comprender los aspectos más importantes de este.

4.1-SISTEMAS SCADA

Los sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) son un software que permite acceder a datos del proceso de forma remota y, mediante herramientas de comunicación, posibilita la monitorización y control de este de forma remota (Apuntes Automatización de Procesos Industriales Universidad Politécnica de Valencia (UD4), 2020). Algunas de las funciones de estos sistemas son las siguientes:

- Monitorización y representación de los datos en tiempo real.
- Supervisión de un proceso productivo de forma autónoma, sin necesidad de presencia humana.
- Adquisición de datos de los procesos a monitorizar.
- Posibilidad de realizar cambios en el funcionamiento del sistema de forma remota.
- Garantizar la seguridad de los datos y de los accesos.
- Localización rápida de errores en el sistema, con la existencia de un diagnóstico.
- Reducción en el coste necesario para el mantenimiento de los sistemas.

El usuario mediante herramientas de visualización y control (HMI) tiene acceso al PC donde reside la aplicación de control y supervisión, SCADA, que capta el estado del sistema a través de sensores e informa al usuario a través del HMI (Ilustración 6 Estructura de un sistema SCADA . Una vez el usuario recibe la información, este da ordenes de forma remota al sistema, el cual ejecuta las acciones pertinentes a través de los actuadores. La comunicación a lo largo de todo el proceso de monitorización se realiza mediante los conocidos buses de campo.

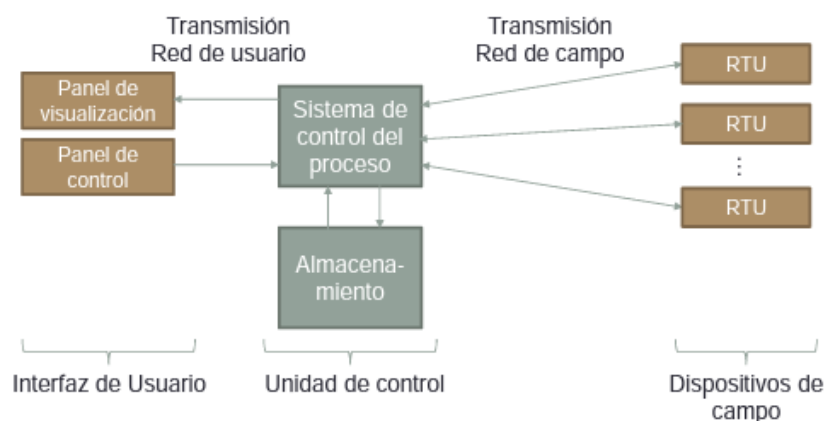


Ilustración 6 Estructura de un sistema SCADA (Apuntes Automatización de Procesos Industriales Universidad Politécnica de Valencia (UD4), 2020)

4.2-SISTEMAS DE MEDICIÓN DE LA ENERGÍA

Los sistemas de medición de energía son dispositivos que se utilizan para medir la energía consumida o generada en un sistema eléctrico o mecánico. Se pueden dividir en dos categorías principales: analógicos y digitales. Los medidores analógicos utilizan una aguja y una escala para indicar la cantidad de energía consumida, mientras que los medidores digitales muestran la cantidad de energía consumida en una pantalla digital.

En los últimos años, se ha desarrollado una nueva generación de medidores llamados medidores inteligentes. Estos medidores digitales son capaces de comunicarse con una red inteligente de energía, lo que permite una monitorización más precisa y eficiente del consumo de energía. Los medidores inteligentes pueden ser programados para enviar información en tiempo real sobre el consumo de energía a un sistema centralizado de gestión de la energía. Además de los medidores, también existen diferentes tipos de sensores y transductores utilizados para medir diferentes tipos de energía. A continuación, se recogen dos muy usados en este campo:

- **Sensor de corriente:** Este tipo de sensor se utiliza para medir la corriente eléctrica en un circuito. Los sensores de corriente se basan en el efecto Hall o en la medición de la caída de voltaje a través de una resistencia. Estos sensores pueden ser de diferentes tipos, como los sensores de corriente de núcleo cerrado, que se instalan alrededor de un conductor, o los sensores de corriente de núcleo abierto, que se sujetan a un conductor.
- **Sensor de voltaje:** Este tipo de sensor se utiliza para medir la tensión eléctrica en un circuito. Los sensores de voltaje suelen ser resistencias que convierten la tensión en una corriente proporcional que se puede medir.

4.3-FACTURACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

En España, la facturación y contratación de la electricidad en la industria se rige por el mercado eléctrico liberalizado que, permite a los consumidores elegir a su suministrador de electricidad y negociar los precios y condiciones del contrato. En la industria la contratación de la electricidad puede llegar a ser más compleja que en otros sectores, debido al elevado consumo eléctrico, requiere un mayor conocimiento técnico para decidir la potencia eléctrica contratada y las necesidades de energía del negocio.

4.3.1-Facturación en el mercado liberalizado

La factura eléctrica se descompone en diversos términos, los cuales se pueden agrupar en dos grandes grupos bien diferenciados, la energía facturada y la tarifa de acceso.

Energía facturada

Este término representa el coste de la energía y los consumidores pueden elegir entre diferentes modalidades de contrato (Apuntes GTDEE Universidad Politécnica de Valencia: Tema 4: Mercados eléctricos, 2022):

- **Precio fijo:** en este tipo de contrato se acuerda un precio fijo para la electricidad normalmente en el periodo de tiempo de un año.

- Precio indexado: en este tipo de contrato el precio de la energía eléctrica se actualiza en función a los precios del mercado.
- Tarifa regulada: este tipo de contrato se aplica a consumidores con una potencia contratada menor a 10kW y la tarifa es fijada por el gobierno.

Tarifa de acceso

Es el precio que el consumidor paga por el uso de las infraestructuras de transporte y distribución eléctrica que son necesarias para que la electricidad llegue a su empresa. La tarifa de acceso se divide en distintos términos (Apuntes GTDEE Universidad Politécnica de Valencia: Tema 4: Mercados eléctricos, 2022)

- Término de energía: es el coste variable que se paga por la energía eléctrica consumida a lo largo de distintos momentos del día pudiendo variar en función de la hora y del tipo de tarifa que se tenga. Se calcula para cada período y es igual a la suma del peaje de transporte y distribución más los cargos de energía:

$$\text{Término de energía} = \sum_{i=1}^n C_i (pr_{TDEi} + pr_{CEi})$$

- C_i , consumo de energía en el período i
 - pr_{TDEi} , precio del peaje de transporte y distribución de energía, en €/kWh
 - pr_{CEi} , precio de los cargos de energía, en €/kWh
- Término de potencia: es el coste fijo que se paga por la potencia contratada, esta última es la máxima electricidad que se puede consumir simultáneamente. Se calcula como:

$$\text{Término de potencia} = \left[\frac{d_{PF}}{d_{año}} \right] \sum_{i=1}^n P_{Ci} (pr_{TDPi} + pr_{CPI})$$

- P_{Ci} , potencia contratada en el período i
 - d_{PF} y $d_{año}$ es el número de días del período de facturación y del año, respectivamente
- Término de reactiva: en este término figura la penalización económica que se aplica a los consumidores que la consumen y que no tienen medidas correctoras para reducir su consumo.
 - Penalización si el $\cos(\varphi)$ es inferior a 0,95 inductivo en períodos P1 a P5 (no hay penalización por consumo de reactiva en P6). El consumo de reactiva a facturar, en este caso, se calcula como:

$$RF_i = E_{ri} - 0,33 \cdot E_{ai}$$

- Penalización si el $\cos(\varphi)$ es inferior a 0,98 capacitivo en P6. El consumo de reactiva a facturar, en este caso, se calcula como:

$$RF_6 = E_{r6} - 0,20 \cdot |E_{a6}|$$

El factor de potencia medio en el período i se calcula como:

$$\cos(\phi)_i = \frac{E_{ai}}{\sqrt{E_{ai}^2 + E_{ri}^2}}$$

E_{ai} y E_{ri} son los consumos de energía activa y reactiva respectivamente.

- Término de exceso de potencia: se refiere a la penalización económica que se aplica a los consumidores al superar en un periodo de facturación la potencia eléctrica contratada. Su cálculo depende del tipo de medidor que tenga el consumidor:

- Registro con maxímetros: Penaliza la máxima potencia cuarto-horaria por período si este valor supera el 105% de la potencia contratada.
- Estos suministros disponen de teled medida que registra la curva de carga cuarto-horaria. Penalizan todos los valores de demanda media cuarto-horaria que exceda la potencia contratada.

En el presente proyecto resultan de gran interés los términos de reactiva y de exceso de potencia, ya que son los que, mediante el control y el monitoreo del consumo eléctrico, van a poder reducirse y, en consecuencia, reducir los gastos por las penalizaciones. Adicionalmente, se va a poder adaptar la potencia eléctrica contratada a la exigida por los requerimientos del negocio.

4.3.2-Control de los términos de la factura eléctrica

Gracias al monitoreo en tiempo real del consumo eléctrico, se va a poder corregir los incrementos de reactiva y los excesos de potencia, para evitar penalizaciones que aumentarían el coste en la factura.

Corrección de la potencia reactiva

Como se ha visto anteriormente puede haber penalización tanto por energía reactiva inductiva como por capacitiva. En cada situación se debe de actuar de una forma diferente para poder realizar la corrección:

- Energía reactiva inductiva:
 1. Instalación de baterías de condensadores en paralelo para corregir el factor de potencia y reducir así el consumo de energía reactiva inductiva.
 2. Optimización del uso de los motores eléctricos mediante la instalación de variadores de velocidad y sustitución de los más viejos y obsoletos.
- Energía reactiva capacitiva: el exceso de potencia reactiva capacitiva en la industria suele producirse por no desactivar las baterías de condensadores durante un paro en la producción, es decir, cuando los equipos no están consumiendo energía eléctrica. Por tanto, es necesario desactivar las baterías de condensadores durante los periodos donde no está habiendo un consumo eléctrico de ningún tipo.

Corrección del exceso de potencia

Controlando y monitorizando los excesos de potencia se puede adaptar la potencia contratada, aumentándola en caso de producirse excesos de potencia durante periodos de tiempo muy cortos o disminuyéndola en caso de no llegar a superar nunca la dicha potencia. Sin embargo, antes de aumentar la potencia contratada, sería necesario realizar distintas acciones que pueden reducir considerablemente el consumo:

1. Realizar un análisis del consumo energético para identificar en que áreas se está consumiendo más energía y elaborar mejoras para reducir el consumo.
2. Utilizar sistemas y equipos de alta eficiencia, como podría ser sustituir la iluminación convencional por iluminación mediante LEDs.
3. Instalar fuentes de energía renovable en el lugar de trabajo.

5-HERRAMIENTAS Y DISPOSITIVOS UTILIZADOS

En el presente proyecto se van a utilizar distintos dispositivos de automatización incluyendo su respectivo software para realizar su programación y puesta a punto. Debido a que estos van a interconectarse entre sí, es altamente recomendable la obtención de componentes de la misma compañía para simplificar el proceso de interconexión, aprovechar al máximo la funcionalidad, la capacidad y, facilitar el soporte técnico y la solución de problemas.

Si se realiza una búsqueda en el mercado del sector de la automatización industrial, algunas de las compañías más demandadas son las siguientes:

- Siemens.
- Allen-Bradley.
- Omron.
- Schneider.

Para elegir la compañía que más se adapta a las exigencias del proyecto, se deben tener en cuenta los requerimientos de este:

- Dispositivos con un tamaño compacto: para aplicaciones con un espacio limitado y de difícil acceso.
- Dispositivos que permitan el envío de mensajes SMS mediante redes 2G: para permitir el acceso y la comunicación en sitios remotos.
- Software de fácil programación, fácil de aprender y de utilizar: ahorro de tiempo y reducción de la dedicación necesaria para aprender a realizar la programación del dispositivo.
- Coste bajo: para competir con otros servicios presentes en el mercado.
- Dispositivos robustos: para que puedan funcionar perfectamente en condiciones desfavorables dentro del sector industrial.

Tras imponer las exigencias del proyecto en los productos presentes en el mercado, se pueden encontrar productos muy interesantes comercializados por la compañía Siemens. Cuentan con una gama de controladores compactos y de fácil programación llamada LOGO!. Esta gama posee un software muy sencillo de usar que permite al usuario manejarlo fácilmente sin ningún tipo de conocimiento previo.

Para el envío de mensajes SMS de forma remota la gama LOGO! cuenta con un modelo llamado LOGO! CMR, muy robusto y con una interconexión muy sencilla. Siemens, también cuenta con unos analizadores de red de la familia PAC que ofrecen una gran precisión y permiten la medición de un amplio abanico de variables eléctricas muy interesantes para este proyecto.

Debido a que se va a priorizar la sencillez en la instalación y la facilidad a la hora de programar, y teniendo en cuenta que no es un proyecto de control y automatización altamente complejo, se va a elegir la familia de controladores LOGO! de Siemens para la realización del trabajo.

A continuación, se va a recoger todo el hardware, el software y el protocolo de comunicación utilizado en el proyecto.

5.1-HARDWARE

En el siguiente apartado se hará una pequeña descripción de cada dispositivo utilizado, donde se expondrán las características y el uso de cada uno. El hardware que se utilizará será el siguiente:

- PAC 4200
- LOGO! CMR2020
- LOGO! BM 8
- Antena GPS
- Antena GPRS/LTE

5.1.1-PAC 4200

El PAC 4200 de Siemens es un medidor de energía eléctrica de alta precisión que se utiliza habitualmente en instalaciones comerciales e industriales. Este medidor permite a las empresas recopilar datos precisos y fiables sobre el consumo de energía eléctrica en sus instalaciones. Puede realizar mediciones trifásicas, bifásicas y monofásicas, puede conectarse a cualquier red de baja tensión con una tensión nominal de hasta 690V, pueden medirse tensiones superiores usando transformadores de tensión.

Una de las características más importantes del PAC 4200 es su capacidad para medir diversos parámetros eléctricos, como la energía activa, la energía reactiva, la energía aparente y el factor de potencia. Estos parámetros son esenciales para comprender cómo se utiliza la energía en una instalación e identificar cualquier ineficiencia energética que pueda estar produciéndose.

Además de la medición de energía, el PAC 4200 también puede medir la calidad eléctrica, que es fundamental para garantizar que la instalación funcione correctamente y que no se produzcan problemas como caídas de tensión o fluctuaciones de frecuencia. El dispositivo también puede medir parámetros como armónicos y desequilibrio, que son indicadores muy importantes dentro de este campo.

Incluye una pantalla LCD (Ilustración 7 Pac4200) que muestra los valores medidos y los ajustes, lo que facilita la lectura de los datos de medición y el ajuste de la configuración según sea necesario. El dispositivo puede comunicarse con otros dispositivos a través Modbus TCP/IP, lo que permite la lectura remota de las mediciones realizadas por el dispositivo. (PAC4200 Power monitoring Device, 2019)



Ilustración 7 Pac4200

5.1.2-LOGO! CMR 2020

LOGO! CMR2020 es un dispositivo de monitorización y control remoto de alto rendimiento desarrollado por Siemens (Ilustración 8 LOGO! CMR2020). Este dispositivo es ideal para la supervisión y el control remoto de sistemas de automatización y control en instalaciones industriales.

El dispositivo puede ser programado fácilmente desde el servidor web de Siemens para que envíe mensajes por SMS o correo electrónico al producirse un cambio en alguna de sus dos entradas digitales. Este envío lo realiza a través de redes 2G y con la ayuda de distintos dispositivos que se describirán más adelante.

Es fácil de instalar mediante una conexión de bus de campo, lo que permite una integración rápida y sencilla en los sistemas de control existentes. Además, el dispositivo es compatible con una amplia gama de protocolos de comunicación, incluidos Modbus, Profibus y Ethernet/IP, lo que lo hace adecuado para su uso en una gran variedad de sistemas de control y automatización.

En el presente proyecto se va a hacer uso de él para monitorizar y controlar el consumo eléctrico mediante el envío de avisos por SMS y correo electrónico a través de redes 2G para permitir el acceso y comunicación en sitios remotos. (LOGO! -Industrial EthernetLOGO! CMR2020, LOGO! CMR2040 Operating instructions, 2021)

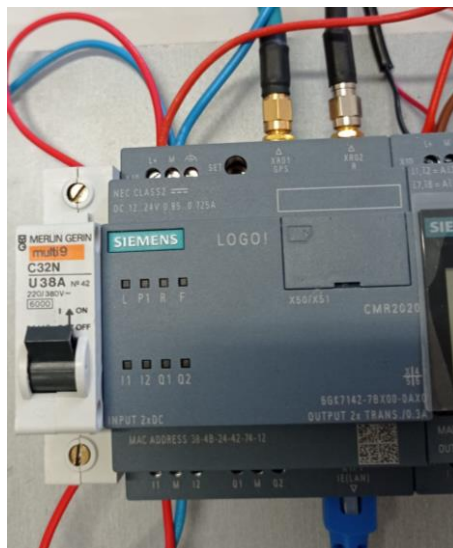


Ilustración 8 LOGO! CMR2020

5.1.3-LOGO! BM 8

El LOGO! BM 8 es un controlador lógico programable (PLC) compacto y fácil de usar que se utiliza en una gran variedad de aplicaciones de automatización industrial (Ilustración 9 LOGO! BM 8).

Tiene una interfaz de usuario intuitiva que permite programar y configurar el controlador de manera rápida y sencilla, incluso sin experiencia en programación. Además, el controlador cuenta con una amplia gama de opciones de programación y configuración que pueden ser ajustadas según las necesidades de la aplicación específica.

Una de las principales ventajas del dispositivo es su capacidad para comunicarse con otros dispositivos de control y monitoreo. El controlador puede conectarse a otros dispositivos a través de Ethernet o Profibus, lo que permite la transferencia de datos en tiempo real y el monitoreo remoto de la aplicación.

Además, es altamente adaptable a diferentes aplicaciones gracias a su amplia gama de entradas y salidas digitales y analógicas, ampliable con la instalación de módulos adicionales, y a la capacidad de configurar múltiples funciones en una sola unidad. Esto hace que el controlador sea una solución eficiente y económica para una gran cantidad de aplicaciones industriales.

En el presente trabajo va a ser el encargado de leer, procesar, controlar y registrar los parámetros eléctricos obtenidos del analizador de energía. (LOGO! Manual de sistema, 2022)



Ilustración 9 LOGO! BM 8

5.1.4-Antena GPS

La antena GPS (Global Positioning System, por sus siglas en inglés) se utiliza para recibir señales de satélites de navegación GPS y determinar la ubicación geográfica precisa de un dispositivo receptor.

En el presente proyecto, la antena GPS irá conectada al CMR2020 para proporcionar datos de ubicación y tiempo precisos, lo que permitirá la sincronización de eventos, la geolocalización del dispositivo, el control basado en ubicación y el registro de datos geoespaciales.

5.1.5-Antena GPRS/LTE

Una antena GPRS/LTE (General Packet Radio Service/Long-Term Evolution) se utiliza para transmitir y recibir datos en redes de comunicación inalámbrica de alta velocidad, como GPRS y LTE, que son tecnologías de comunicación utilizadas en redes móviles de telefonía celular.

En el presente trabajo, la antena GPRS/LTE irá conectada al CMR2020 para permitir el envío de mensajes SMS y de correos electrónicos a través de 2G.

5.1.6-Switch Ethernet

Un switch de Ethernet permite conectar varios dispositivos Modbus TCP/IP a una red local, consiguiendo que los dispositivos puedan comunicarse entre sí. Tiene la capacidad de gestionar el tráfico de la red, puede identificar la dirección MAC del dispositivo de destino y enviar los datos únicamente a ese dispositivo. Esto mejora la eficiencia de la red, reduce el tráfico innecesario y evita colisiones en el envío de datos creando lo que se conoce como “Dominios de colisión”. (Apuntes Instrumentación en Red y Comunicaciones Universidad Politécnica de Valencia, 2021).



Ilustración 10 Switch Ethernet

5.2-SOFTWARE

En el proyecto se utilizarán dos softwares creados por Siemens, uno se encargará de realizar la programación del controlador y otro, un editor web, permitirá la creación de un SCADA que permitirá el control y el monitoreo de la instalación. A continuación, se recogen algunas de sus características.

5.2.1-LOGO! Soft Comfort

LOGO! Soft Comfort es un software de programación utilizado para crear programas de control para dispositivos de automatización industrial. Es una herramienta especialmente diseñada para la programación de controladores lógicos programables (PLC) de Siemens.

Ofrece una interfaz gráfica fácil de usar que permite a los usuarios crear programas de control de forma rápida y sencilla. Además, incluye herramientas de simulación que permiten probar el programa de control antes de implantarlo en el sistema real.

Entre las principales características de LOGO! Soft Comfort se incluyen la posibilidad de trabajar con varios lenguajes de programación, la integración con otros programas de Siemens, la posibilidad de comunicarse con otros dispositivos de automatización industrial y la opción de controlar el proceso a distancia. Sin embargo, está algo limitado en cuanto a instrucciones presentes en el programa, lo que puede entorpecer y dificultar la programación de ciertos procesos.

5.2.2-LOGO! Web Editor

LOGO! Web Editor es una herramienta de software desarrollada por Siemens que permite a los usuarios configurar y supervisar los controladores LOGO! a través de una interfaz gráfica de usuario accesible mediante un navegador web.

Permite la creación de un SCADA (Sistema de Control Supervisor y Adquisición de Datos) de forma muy sencilla y sin conocimientos previos en el desarrollo de estos sistemas. Permitirá el control y el monitoreo de las distintas salidas del controlador de forma remota desde el ordenador o el móvil.

5.3-PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Para comunicar la mayor parte dispositivos entre sí, el protocolo de comunicación que se va a utilizar en el presente proyecto es el Modbus TCP/IP. Para comunicar las salidas del PLC con las entradas del LOGO! CMR2020 se hará uso de señales físicas. Por otro lado, para el envío de mensajes mediante SMS se va a utilizar el protocolo GPRS.

5.3.1-Modbus TCP/IP

El protocolo Modbus TCP/IP es una variante del protocolo Modbus, que es un protocolo de comunicación a nivel de aplicación muy utilizado en la automatización industrial para la transferencia de datos entre dispositivos. Modbus TCP/IP se basa en el protocolo de Internet TCP/IP, que permite la comunicación a través de redes Ethernet.

Utiliza una arquitectura cliente-servidor para la comunicación entre dispositivos. Los dispositivos cliente, como un SCADA, envían solicitudes a los dispositivos servidor, como puede ser un PLC, para leer o escribir datos en los registros de memoria del dispositivo servidor.

La comunicación Modbus TCP/IP se realiza a través de mensajes Modbus, en forma de trama y encapsulados en paquetes TCP/IP. Estos paquetes contienen la dirección del dispositivo servidor, la función Modbus solicitada, la dirección de los registros de memoria y los datos a transferir. Los dispositivos cliente y servidor utilizan los puertos TCP/IP para establecer la conexión y transferir los mensajes Modbus, lo que permite la transferencia de datos en tiempo real y la integración con otros dispositivos y sistemas basados en Ethernet.

Una de las principales características de Modbus TCP/IP es su sencillez y versatilidad. El protocolo utiliza una estructura de datos sencilla basada en registros de memoria, lo que facilita su implementación y comprensión. Además, Modbus TCP/IP es compatible con una amplia gama de dispositivos de diferentes fabricantes, lo que permite trabajar con dispositivos de automatización industrial de distintas marcas. (Apuntes Instrumentación en Red y Comunicaciones Universidad Politécnica de Valencia, 2021).

5.3.2-GPRS

GPRS es una tecnología de segunda generación (2G) que permite la transmisión de datos en redes de telefonía móvil. Utiliza una técnica de conmutación de paquetes, lo que significa que los datos se dividen en paquetes y se transmiten de forma independiente a través de la red.

GPRS utiliza el espectro de frecuencias GSM (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles) para la transmisión de datos y proporciona velocidades de datos de hasta 114 kbps (kilobits por segundo).

5.3.3-Comunicación mediante salidas físicas

Como se ha indicado anteriormente, el PLC enviará una señal física al LOGO! CMR2020, esta señal será una señal de tensión superior o igual que 8,5V para que la entrada sea detectada como un estado lógico 1.

6-MEMORIA DESCRIPTIVA

En el presente apartado se recogen cada una de las tareas que se van a llevar a cabo para poder conseguir el objetivo final del trabajo: monitorizar y controlar el consumo energético de una instalación industrial.

6.1-SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE LA ENERGÍA DESARROLLADO

En este apartado, se va a explicar el sistema de monitorización que se ha desarrollado y la función de cada uno de sus componentes.

Primero, se va a realizar la lectura del consumo de energía mediante el analizador de red PAC4200, el cual, como se ha visto anteriormente, facilita una gran cantidad de parámetros (Ilustración 11 LCD del PAC4200 mostrando la potencia de cada fase . Este dispositivo se fija al cuadro eléctrico de la instalación y comienza a realizar la lectura del consumo a tiempo real, mostrando los parámetros eléctricos seleccionados por el usuario por su pantalla LCD.

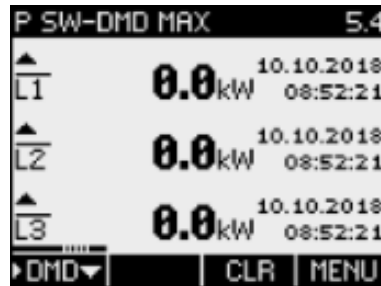


Ilustración 11 LCD del PAC4200 mostrando la potencia de cada fase (PAC4200 Power monitoring Device, 2019)

Mediante una comunicación Modbus TCP/IP se leerán los consumos de potencia activa y reactiva ubicados en los registros de memoria del PAC4200 y serán almacenados dentro de la memoria local del controlador LOGO! BM 8.

El controlador tiene la función de realizar la lectura del consumo y generar las señales de aviso a la salida en caso de producirse algún tipo de penalización. Para ello, se realizará un programa en el PC con el software de LOGO! y se cargará en el controlador mediante un protocolo de comunicación Modbus TCP/IP.

Una vez cargado el programa, el controlador activará una salida digital para cada una de las tres penalizaciones a controlar, que son las siguientes:

- Penalización por exceso de potencia.
- Penalización por exceso de reactiva inductiva.
- Penalización por exceso de reactiva capacitiva.

Debido a que el LOGO! CMR2020 tan solo cuenta con dos entradas digitales, se conectarán a estas las salidas de exceso de potencia y la de exceso de reactiva inductiva por ser más usual que el exceso de capacitiva. El CMR2020 será el encargado de enviar un mensaje por SMS, mediante GPRS, y por correo electrónico advirtiendo de que se está produciendo algún tipo de penalización del consumo. Cada penalización irá asociada a un determinado mensaje elegido por el usuario. A continuación, se muestra un esquema de la instalación conjunta del LOGO! CMR y el LOGO! BM 8 (Ilustración 12 Esquema de la instalación y la comunicación del LOGO! CMR2020).

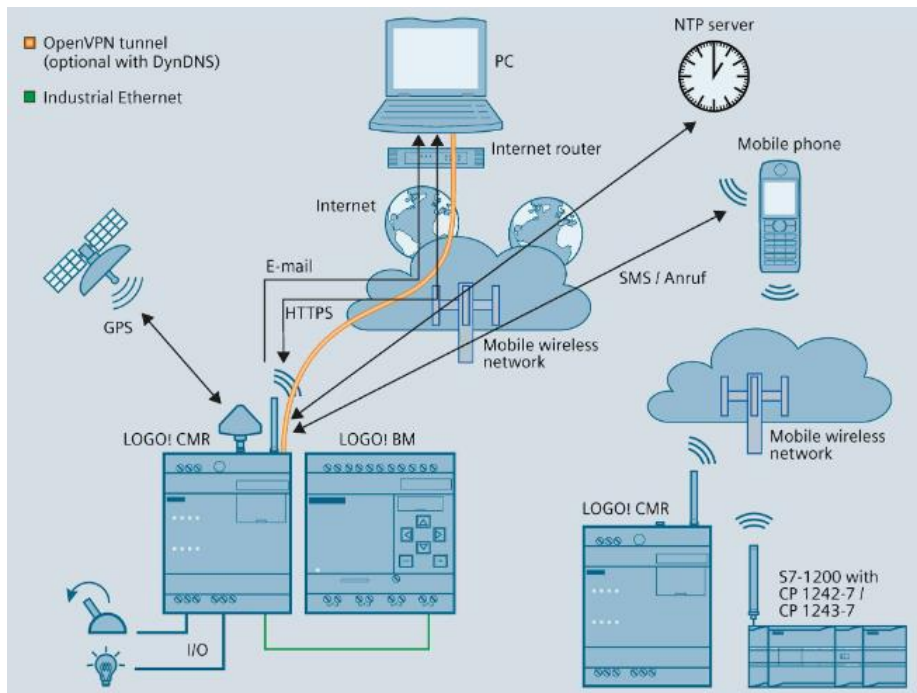


Ilustración 12 Esquema de la instalación y la comunicación del LOGO! CMR2020

Adicionalmente, el controlador registrará en un documento .csv, cada 15 minutos, los datos de potencia activa y reactiva leídos por el PAC4200. Se creará una página web en HTML encargada de leer dicho documento y realizar gráficas de las potencias y del factor de potencia, para que pueda monitorizarse el consumo desde un navegador o una aplicación móvil.

Por último, con la ayuda del software Logo Web Editor (LWE), se desarrollará un SCADA que permitirá la monitorización en tiempo real desde el navegador introduciendo la dirección IP asignada al controlador.

A continuación, se muestra un esquema básico y sencillo, de la conexión y disposición de los distintos dispositivos utilizados (Ilustración 13 Esquema básico de la instalación).

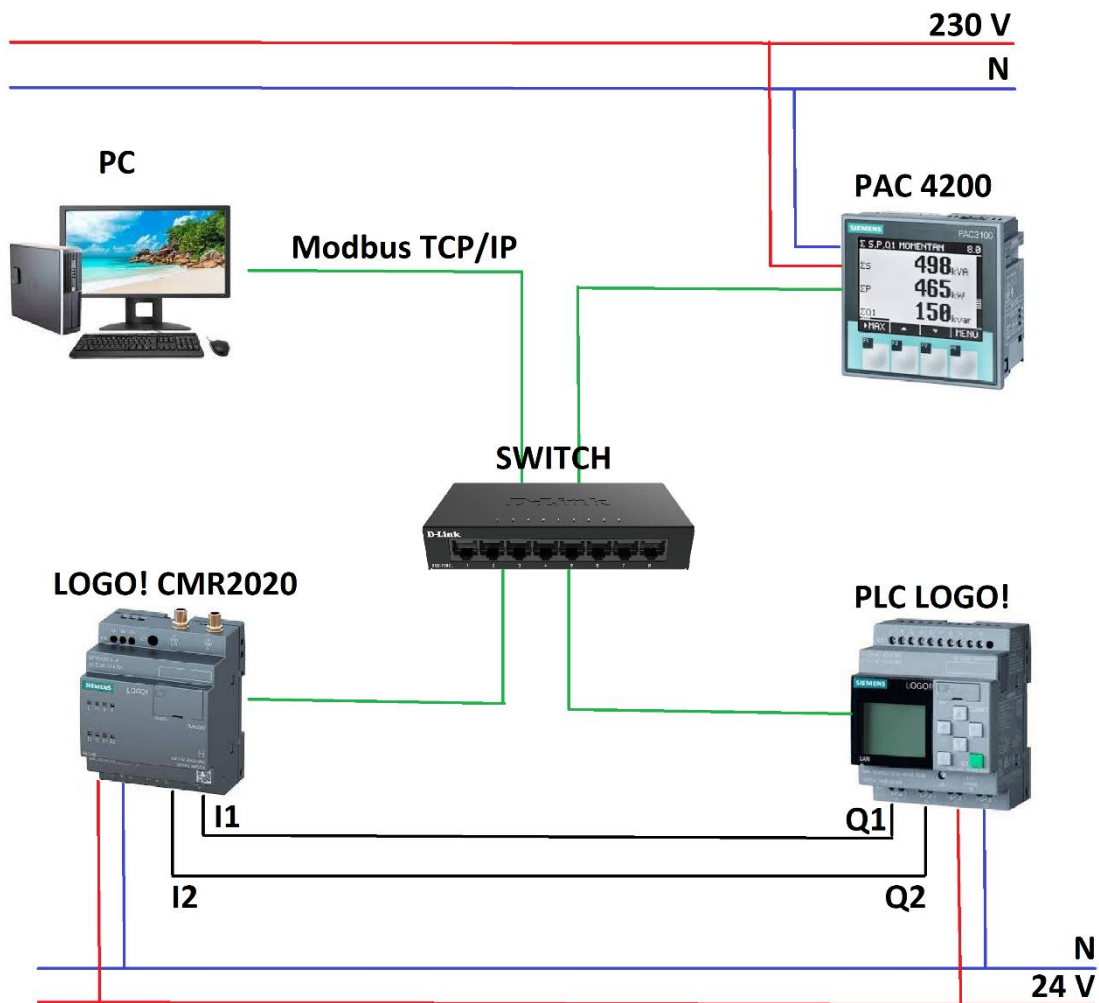


Ilustración 13 Esquema básico de la instalación

En la imagen anterior se deben resaltar distintos aspectos de la instalación:

- Conexión de las salidas Q1 y Q2 del controlador con las entradas I1 e I2 del CMR2020 respectivamente.
- Comunicación entre los dispositivos mediante Modbus TCP/IP.
- Alimentación en corriente continua a 24V del CMR2020 y del controlador.
- Alimentación en corriente alterna a 230V del PAC4200.

6.2-LECTURA Y PROCESAMIENTO DE LAS ENTRADAS

El PAC 4200 enviará al controlador LOGO! BM 8 los distintos parámetros eléctricos que se desean monitorizar, por ello, este deberá ser programado de tal forma que lea, procese y muestre los datos enviados por el PAC 4200.

Como se ha mencionado anteriormente, para realizar la programación del controlador se va a hacer uso del software LOGO! Soft Comfort.

6.2.1-Programación en LOGO! Soft Comfort

En el presente proyecto se desea reducir el precio de la factura eléctrica monitorizando distintos parámetros eléctricos. Para ello, es determinante controlar el consumo de la potencia activa y la reactiva para no superar los valores prefijados por la compañía eléctrica en el contrato y que se produzcan distintas penalizaciones económicas.

El controlador leerá los valores de potencia activa y reactiva mediante Modbus TCP/IP y deberá ser programado para que active una de sus salidas en caso de que alguno de los parámetros anteriores supere los valores permitidos.

Tan solo se va a hacer uso de una entrada física del controlador, la entrada digital (I1) que se activará cuando la instalación esté activa y consumiendo energía. Los parámetros de potencia activa y reactiva consumidos se leerán del registro de memoria del analizador de red, estando situados cada uno de estos en una dirección de memoria determinada en la Ilustración 14 Dirección, formato y unidades de la potencia activa y reactiva.

Offset	Number of registers	Name	Format	Unit	Value range	Access
43	2	THD voltage L1-L2	Float	%	0 ... 100	R
45	2	THD voltage L2-L3	Float	%	0 ... 100	R
47	2	THD voltage L3-L1	Float	%	0 ... 100	R
49	2	Reserve	-	-	-	R
51	2	Reserve	-	-	-	R
53	2	Reserve	-	-	-	R
55	2	Line Frequency	Float	Hz	45 ... 65	R
57	2	3-phase average voltage L-N	Float	V	-	R
59	2	3-phase average voltage L-L	Float	V	-	R
61	2	3-Phase Average Current L-L	Float	A	-	R
63	2	Total Apparent Power	Float	VA	-	R
65	2	Total Active Power	Float	W	-	R
67	2	Total Reactive Power (Qn)	Float	VAR	-	R
69	2	Total Power Factor	Float	-	-	R

Ilustración 14 Dirección, formato y unidades de la potencia activa y reactiva

Como se puede observar en la imagen anterior, el formato de representación de los consumos de potencia es en float. Sin embargo, el software con el que se va a programar tan solo puede trabajar con enteros, por lo que en el programa se tendrá que realizar la conversión.

Tras revisar la información anterior, se procede a realizar la programación del PLC. Al ejecutar el software de programación por primera vez, se está dentro de la pestaña "Modo diagrama", donde se crea automáticamente un esquema eléctrico vacío. Se va a trabajar dentro de esta pestaña utilizando un lenguaje de programación conocido como LADDER.

Los programas LADDER se crean mediante la selección y combinación de bloques de funciones lógicas, que representan las instrucciones de programación. Estos bloques se arrastran y sueltan en una ventana de programación para construir un diagrama de escalera.

Lo primero a realizar dentro del programa es asociar cada registro del PAC4200 al registro de memoria local del controlador. Para ello, dentro del menú, al seleccionar “Herramientas->Conexiones Ethernet...”, se abre una ventana de configuración que permite añadir conexiones mediante Modbus TCP/IP. Pulsando con el botón derecho sobre “Conexiones Ethernet”, se agrega una conexión cliente con el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP (Ilustración 15 Conexión Modbus TCP/IP).

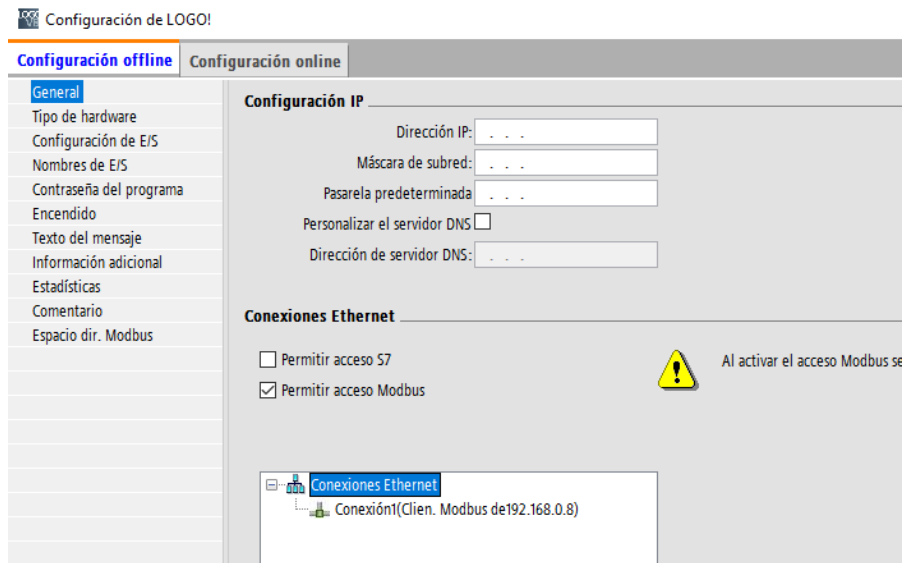


Ilustración 15 Conexión Modbus TCP/IP

Pulsando dos veces sobre la nueva conexión agregada, se abre una ventana donde se pueden asignar una dirección de la memoria local del PLC a una dirección de una memoria remota, en este caso la del PAC4200. Indicando la dirección IP del dispositivo y sabiendo en qué dirección de la memoria se encuentran los consumos de potencia activa y reactiva, se almacenan los valores de consumo de potencia activa en la dirección 0 del PLC y los de potencia reactiva en la dirección 2 (Ilustración 16 Transferencia de datos mediante Modbus TCP/IP).

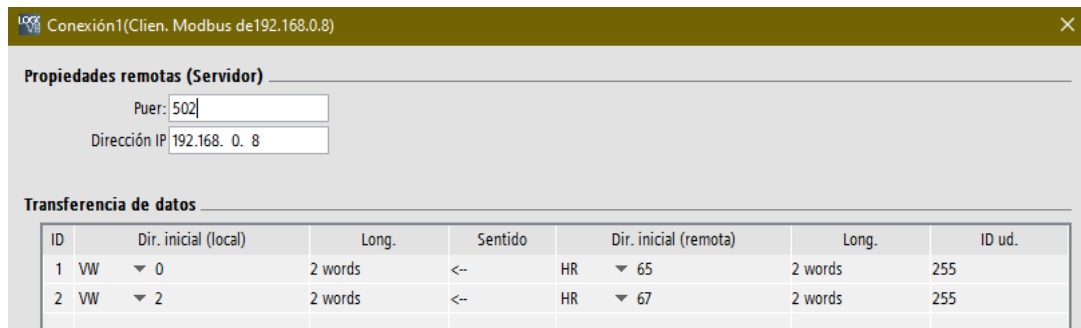


Ilustración 16 Transferencia de datos mediante Modbus TCP/IP

Tras realizar la configuración anterior, ya se puede comenzar con la programación en LADDER. Abajo a la izquierda de la pantalla se encuentra la herramienta instrucciones, la cual recoge todos los bloques de funciones lógicas que se pueden usar para realizar la programación (Ilustración 17 Instrucciones en LOGO! Soft Comfort).

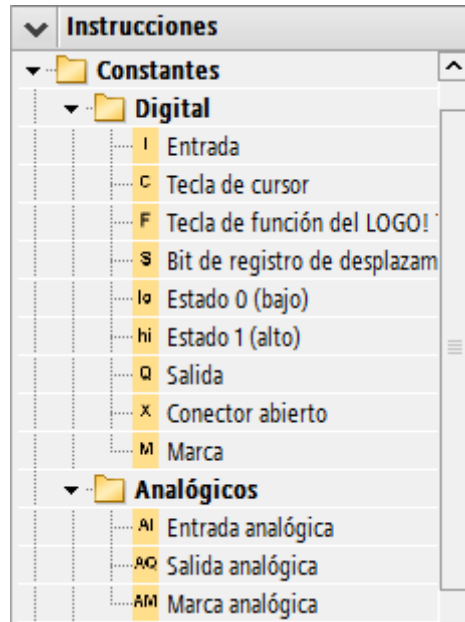


Ilustración 17 Instrucciones en LOGO! Soft Comfort

Para controlar que la potencia activa no supere un determinado valor y que en caso de hacerlo se active una salida del controlador, se programa lo siguiente (Ilustración 18 Control de la potencia activa).

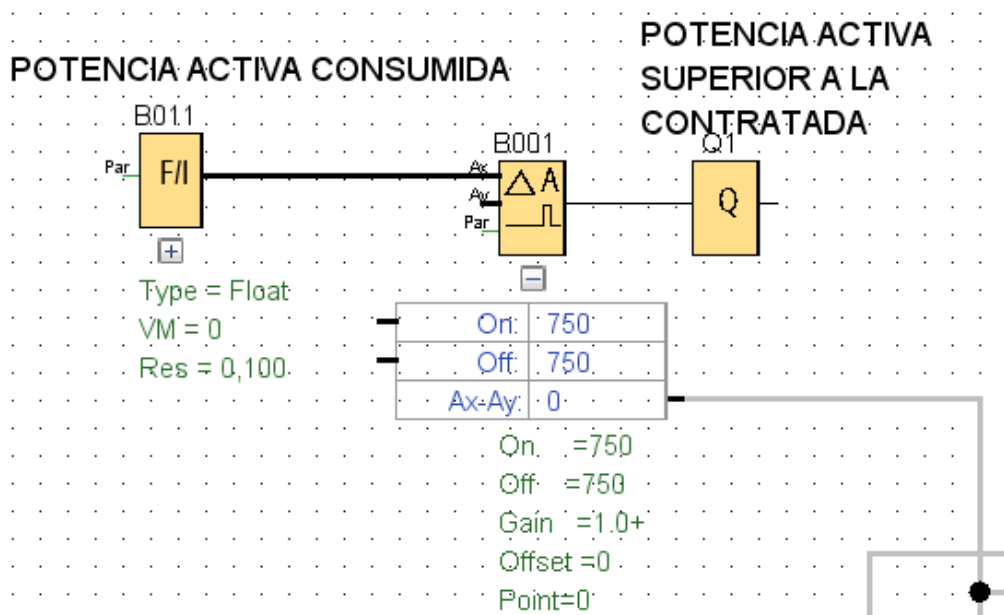


Ilustración 18 Control de la potencia activa

Se han utilizado las siguientes instrucciones dentro del software:

- B011: bloque de conversión de float a entero. Se accede a la dirección 0 de la memoria del PLC donde se ubica el valor de la potencia activa consumida, mediante este bloque se convierte dicho valor a entero para que pueda ser procesado por el software. Al hacer doble click en la instrucción, se puede seleccionar la dirección de memoria del controlador (Ilustración 19 Selección de la entrada del controlador).

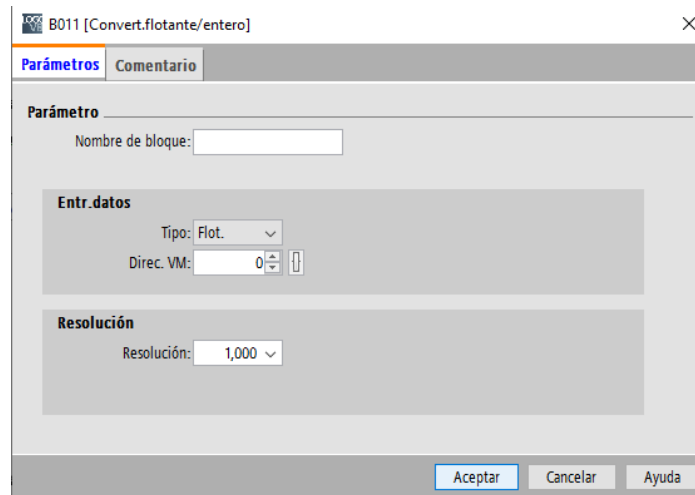


Ilustración 19 Selección de la entrada del controlador

- B001: comparador analógico que activará su salida cuando la potencia supere un determinado valor, en este caso se ha fijado en 750W, y la desactivará cuando tome valores inferiores a este. Para ello se ha configurado el bloque de la siguiente forma (Ilustración 20 Configuración del comparador analógico B001).

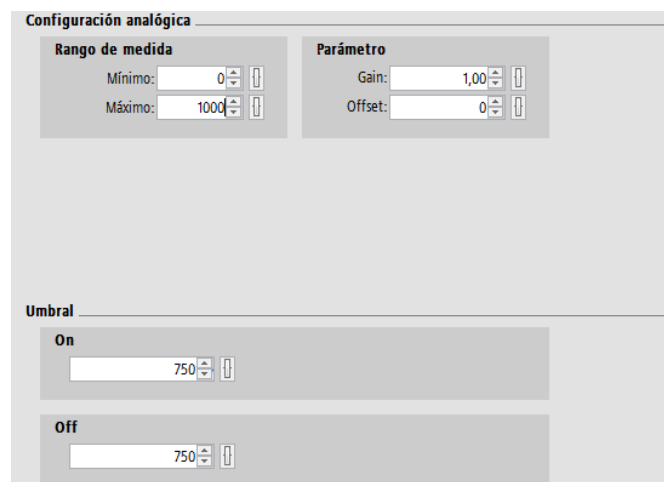


Ilustración 20 Configuración del comparador analógico B001

- Q1: Salida digital del controlador que se activará cuando la potencia supere el valor fijado.

A continuación, se va a pasar a tratar la potencia reactiva consumida. Se sabe que se pueden dar dos tipos de potencia reactiva, una inductiva, que será positiva, y otra, capacitiva, que será negativa. Entonces, en el programa se va a tratar de diferenciar ambos tipos de potencia debido a que cada uno está sometido a un tipo de penalización final. Para ello, se programa lo siguiente (Ilustración 21):

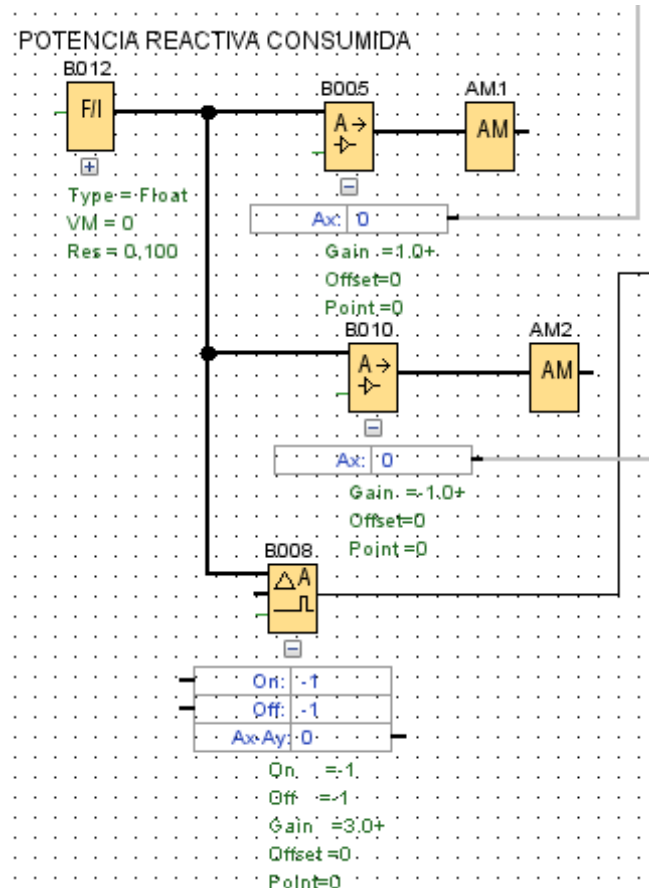


Ilustración 21 Tratamiento de la potencia reactiva consumida

Explicación de las instrucciones:

- B012: bloque de conversión de float a entero. Se accede a la dirección 2 de la memoria del PLC donde se ubica el valor de la potencia reactiva consumida, mediante este bloque se convierte dicho valor a entero para que pueda ser procesado por el software.
- B005: amplificador analógico con ganancia la unidad. Se ha hecho uso de esta instrucción debido a que el software no permitía conectar directamente la entrada analógica al valor P1 de la instrucción aritmética.
- B010: amplificador analógico con ganancia -1. Se ha utilizado esta instrucción para que en el caso de que la potencia reactiva se capacitiva y por tanto negativa, se trabaje con su valor absoluto.



Ilustración 22 Configuración B010

- AM1 y AM2: son marcas analógicas. Se utilizan para conectar los bloques B005 y B010 a una salida, si no se realiza dicha conexión, el programa da error a la hora de compilar debido a que las salidas de los bloques B005 y B010 (amplificadores lógicos) no pueden quedarse libres.
- B008: comparador analógico que activará su salida cuando la potencia reactiva caiga por debajo de -1Var y, por tanto, sea negativa. Se desactivará cuando tome valores superiores a este.

Seguidamente, se realizarán las operaciones matemáticas necesarias para calcular el factor de potencia. Primero, para el caso de consumo de potencia reactiva inductiva (Ilustración 23):

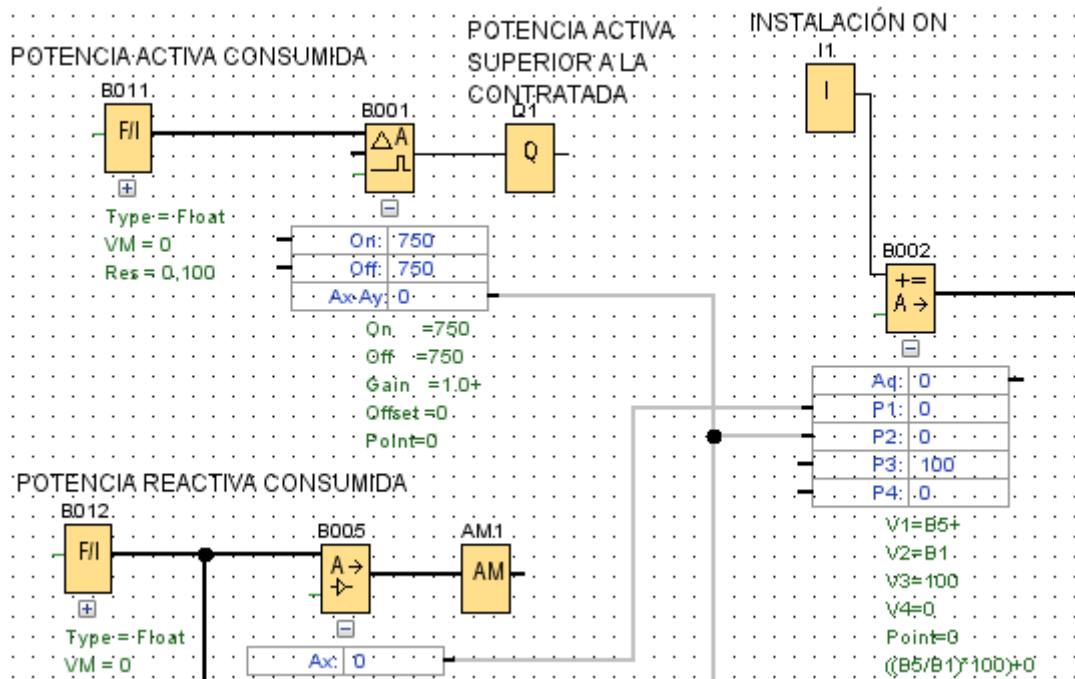


Ilustración 23 Cálculo del factor de potencia para el caso de consumo de potencia reactiva inductiva

Se han utilizado las siguientes instrucciones:

- I1: entrada digital asociada al encendido de la instalación. Esta entrada indicará si la instalación se encuentra activa y consumiendo energía. También activará la instrucción aritmética B002.
- B002: instrucción aritmética que se encargará de obtener el porcentaje de reactiva inductiva consumida respecto a la potencia activa. A P1 vendrá el valor de potencia reactiva inductiva

consumida y a P2 el de la potencia activa. La operación matemática realizada en el programa es la siguiente:

$$\text{Porcentaje de reactiva (\%)} = \frac{\text{Potencia reactiva (Var)}}{\text{Potencia activa (W)}} \cdot 100$$

Para ello se ha configurado de la siguiente forma (Ilustración 24 Configuración instrucción aritmética).

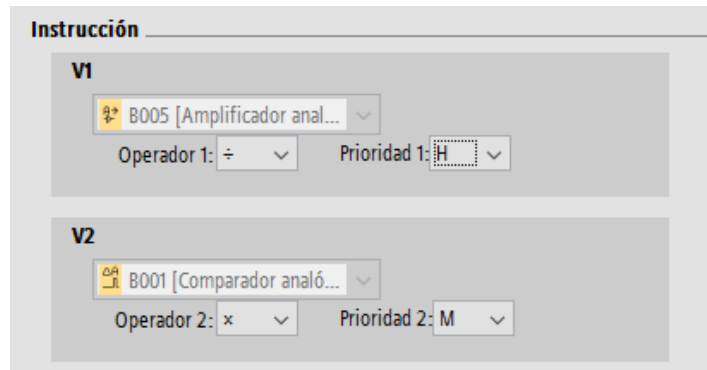


Ilustración 24 Configuración instrucción aritmética

Ahora, para el caso de consumo de potencia reactiva capacitiva se ha programado lo siguiente (Ilustración 25):

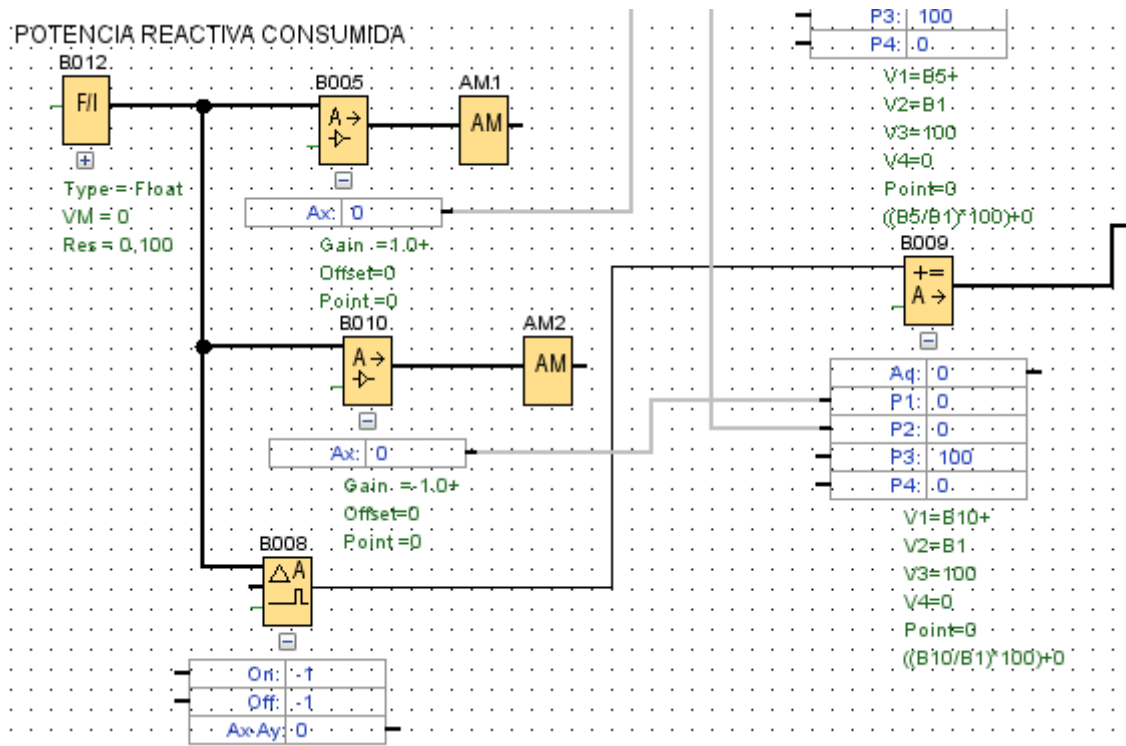


Ilustración 25 Cálculo del factor de potencia para el caso de consumo de potencia reactiva capacitiva

Es exactamente igual que el caso anterior, pero ahora, B009 (instrucción encargada en calcular el factor de potencia), tan solo realizará el cálculo si B008 se activa, es decir, si la potencia reactiva cae por debajo de -1Var y, por tanto, se está consumiendo potencia reactiva capacitiva.

Una vez se han obtenido los porcentajes anteriores, se va a comprobar si dicho valor supera el 20%, en caso de capacitiva, o el 33%, en caso de inductiva, activándose una salida para cada una de las situaciones anteriores. Para ello, se ha programado lo siguiente (Ilustración 26 e Ilustración 27):

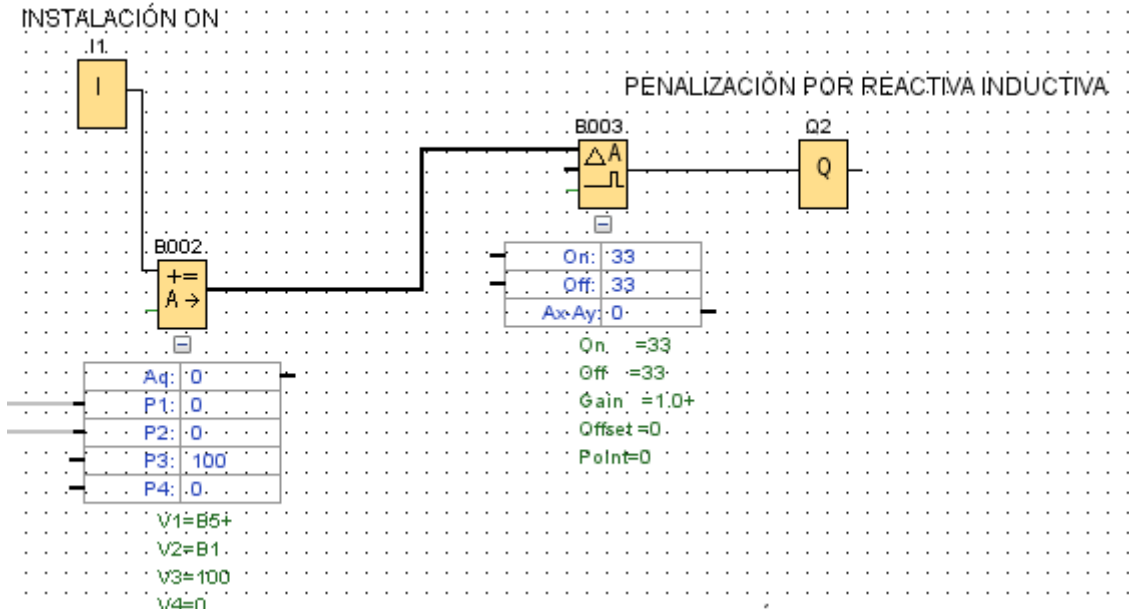


Ilustración 26 Comparación del porcentaje de inductiva obtenido

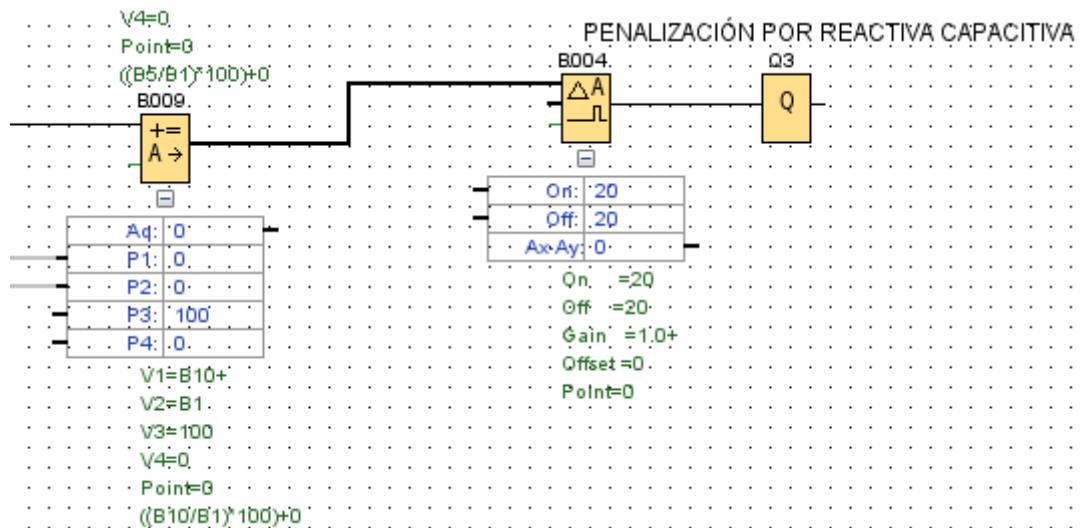


Ilustración 27 Comparación del porcentaje de capacitiva obtenido

Se han utilizado las siguientes instrucciones:

- B003: comparador analógico que activará su salida cuando el porcentaje obtenido supere el 33% y la desactivará cuando sea inferior a este valor.
- B004: comparador analógico que activará su salida cuando el porcentaje obtenido supere el 20% y la desactivará cuando sea inferior a este valor.
- Q2: salida analógica asociada a la salida dos del controlador. Esta se activará cuando el porcentaje obtenido supere el 33%.
- Q3: salida analógica asociada a la salida dos del controlador. Esta se activará cuando el porcentaje obtenido supere el 20%.

Finalmente, el programa queda de la siguiente forma (Ilustración 28):

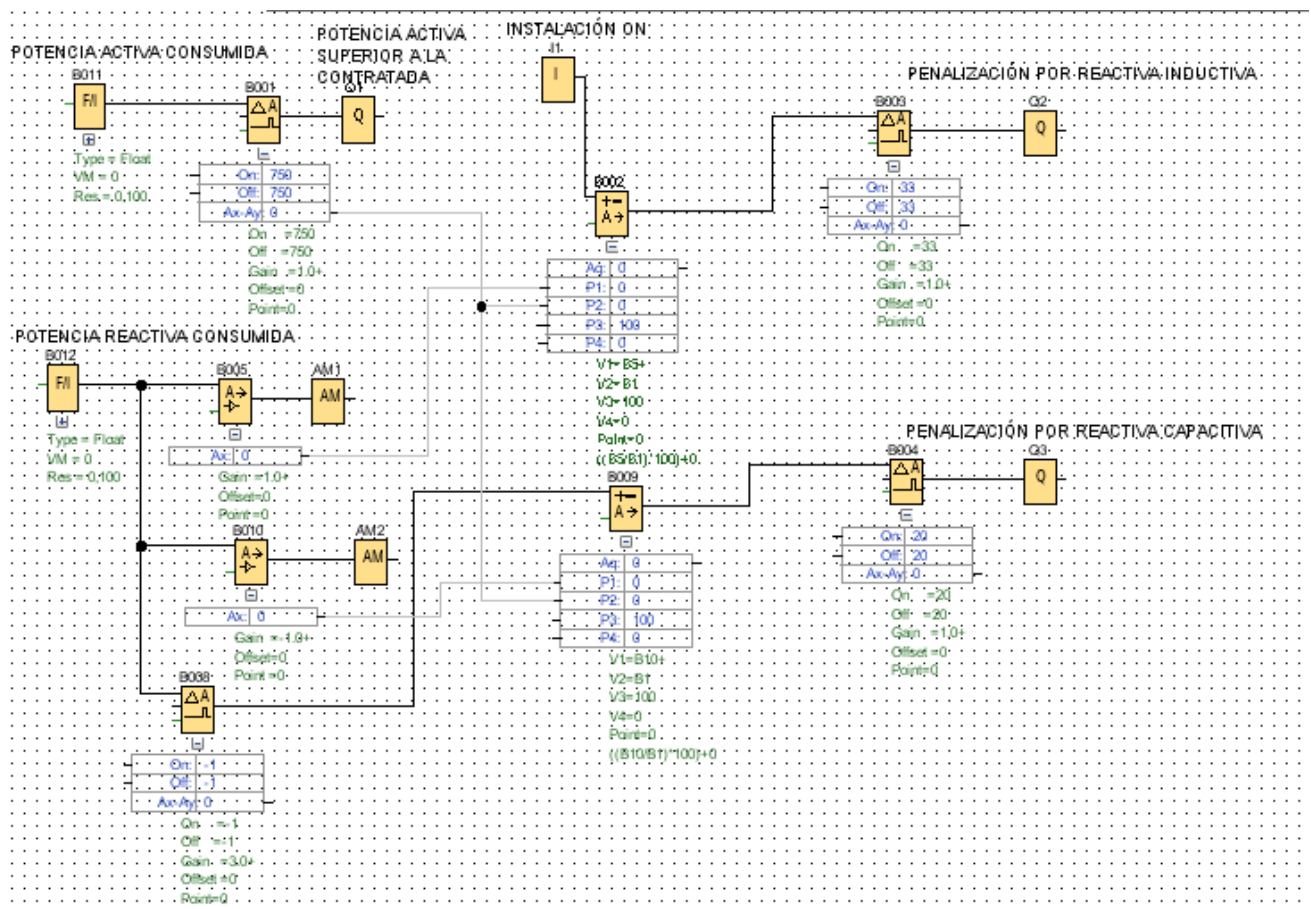


Ilustración 28 Programa final

Por último, se va a programar unas instrucciones que permitirán guardar en un registro de datos, cada 15 minutos, los valores de potencia activa y reactiva consumidos por la instalación. Para ello se programa lo siguiente (Ilustración 29 Registro de las potencias leídas).

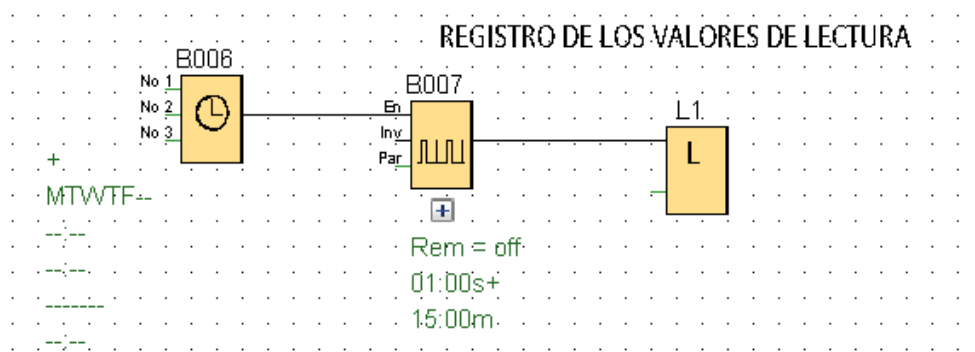


Ilustración 29 Registro de las potencias leídas

Se han utilizado las siguientes instrucciones:

- B006: temporizador semanal que se activará los días de la semana en los que, previsiblemente, va a estar activa la instalación para permitir el registro de los datos. En este caso se ha configurado para que registre datos desde el lunes hasta el viernes (Ilustración 30 Configuración del temporizador semanal).

Leva 1

Lunes Martes Miércoles Jueves
 Viernes Sábado Domingo

Momento de conexión: 0 : 0 Inactiva
Momento de desconexión: 23 : 59 Inactiva

Ilustración 30 Configuración del temporizador semanal

- B007: generador de impulsos asíncronos. Generará un impulso de 1 segundo cada 15 minutos para realizar el registro de datos (Ilustración 31 Configuración del generador de impulsos asíncrono).

Ancho de pulso (TH)

1 : 0 Segundos (s:1/100s)

Duración de pausa entre impulsos (TL)

15 : 0 Minutos (m:s)

Ilustración 31 Configuración del generador de impulsos asíncrono

- L1: registro de datos de las direcciones de memoria 0 y 2, convertidos a entero, asociadas a la potencia activa y reactiva consumidas respectivamente (Ilustración 32 Configuración del registro de datos).

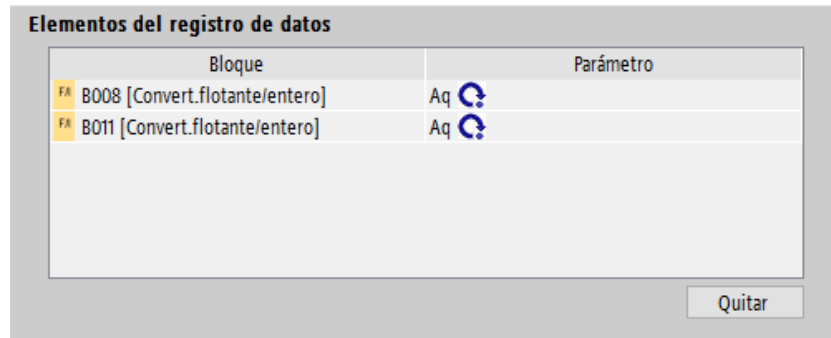


Ilustración 32 Configuración del registro de datos

6.2.2-Conexión del PC al LOGO! BM 8

Una vez realizada la programación, es necesario conectar el PC mediante el software de LOGO! al controlador, para transferir y ejecutar el programa desarrollado. Para ello, primero, se debe identificar el PLC mediante su dirección IP.

El modelo LOGO! BM 8, cuando se inicia por primera vez, posee la dirección IP de 192.168.0.1. Sin embargo, si ya se ha trabajado previamente con él, muy probablemente posea una dirección IP distinta a la original al haber sido cambiada por el usuario anterior. La dirección se puede consultar desde el LCD del controlador (Ilustración 33 Obtención de la IP mediante el LCD del dispositivo).

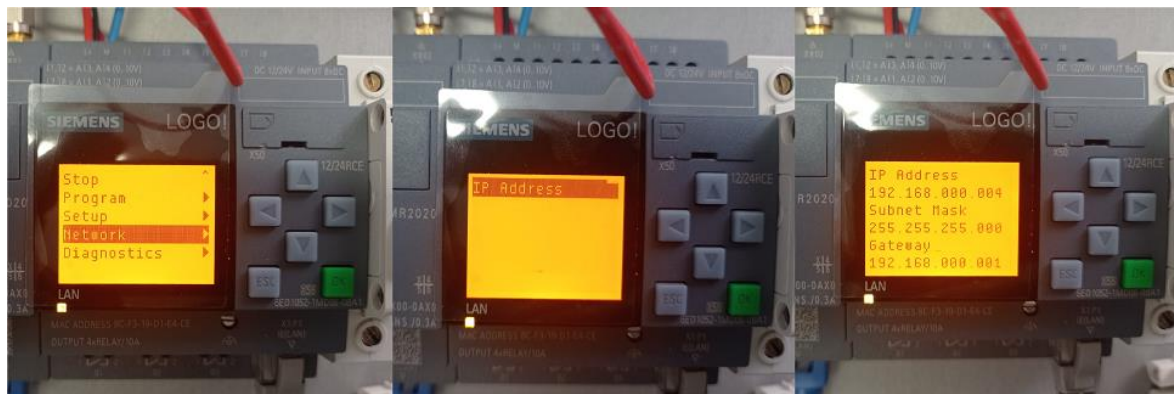


Ilustración 33 Obtención de la IP mediante el LCD del dispositivo

Si se deseara cambiar la dirección IP del dispositivo, en la barra de herramientas del software se puede desplegar la pestaña “Herramientas” y seleccionar la primera de la lista, “Transferir”. Dentro de esta se tienen distintas opciones, en este caso se selecciona la opción “Control de acceso?” y dentro de “Asignar dirección IP”, se puede crear una nueva configuración IP.

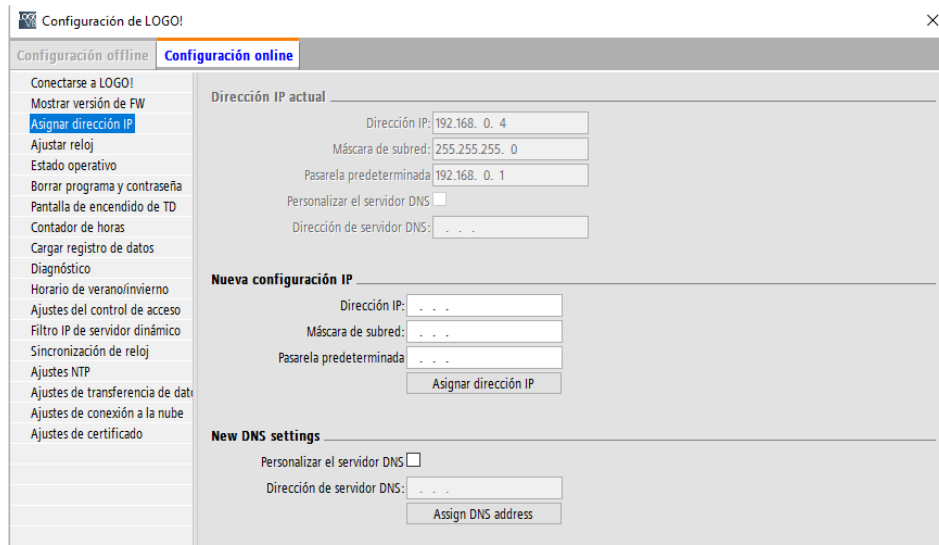


Ilustración 34 Cambio de la dirección IP del LOGO! BM 8 desde el software

Una vez se ha identificado la dirección IP del PLC, en la barra de herramientas del software se despliega la pestaña “Herramientas” y se selecciona la primera de la lista, “Transferir”. Dentro se selecciona la opción “PC -> LOGO!”.

Se abre una ventana en la que, al dar al botón de actualizar, situado justo encima de la esquina derecha de la tabla, aparecen los dispositivos disponibles. En la Ilustración 35 Dispositivos accesibles para realizar la transferencia del programa aparece un dispositivo con una dirección IP de 192.168.04 y con una dirección MAC asociada, única para cada dispositivo.

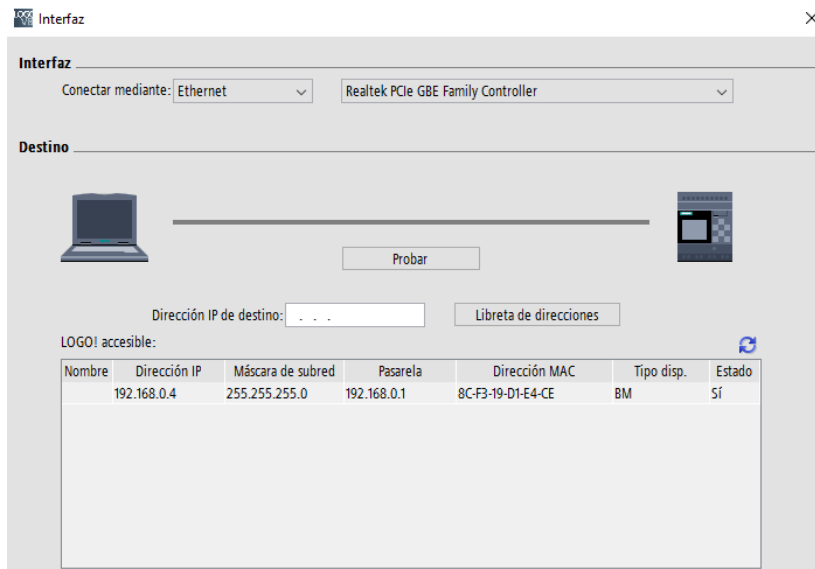


Ilustración 35 Dispositivos accesibles para realizar la transferencia del programa

En este caso, aparece únicamente el dispositivo con el que se quiere realizar la comunicación. Si se selecciona y se presiona el botón “Aceptar”, se procede a la transferencia de los datos del programa (Ilustración 36 Transferencia de datos al PLC).

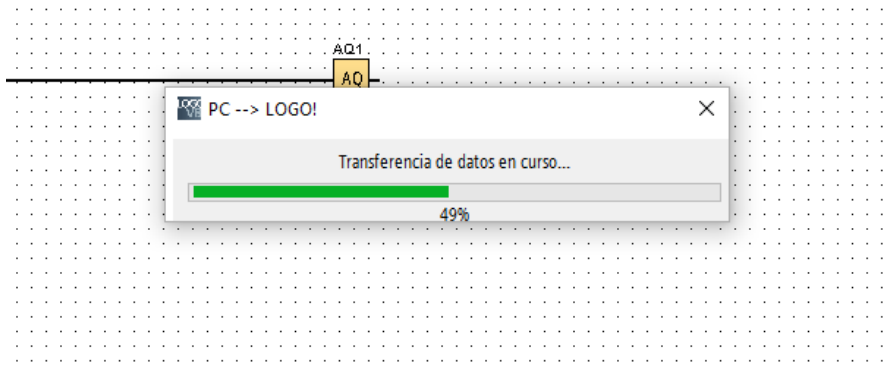


Ilustración 36 Transferencia de datos al PLC

Una vez terminado el proceso, el programa ya está cargado en el LOGO! BM 8 y está preparado para realizar la lectura y escritura de sus entradas y salidas respectivamente.

6.3-MONITORIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN MEDIANTE EL WEB SERVER DE LOGO!

En el presente apartado se creará un SCADA con la ayuda del Web Server de LOGO! que monitorizará las potencias activas y reactivas y, activará indicadores en el caso de haber superado los límites de consumo.

Para poder trabajar con el web server es necesario dar acceso a este desde el software LOGO! Soft Comfort donde se ha realizado la programación. Para ello se selecciona “Herramientas”-> “Transferir”-> “PC -> LOGO!”, se abrirá la siguiente ventana y se seleccionará “Permitir acceso de servidor web” y “Activar web user”, también será necesario crear una contraseña (Ilustración 37 Acceso al servidor web).

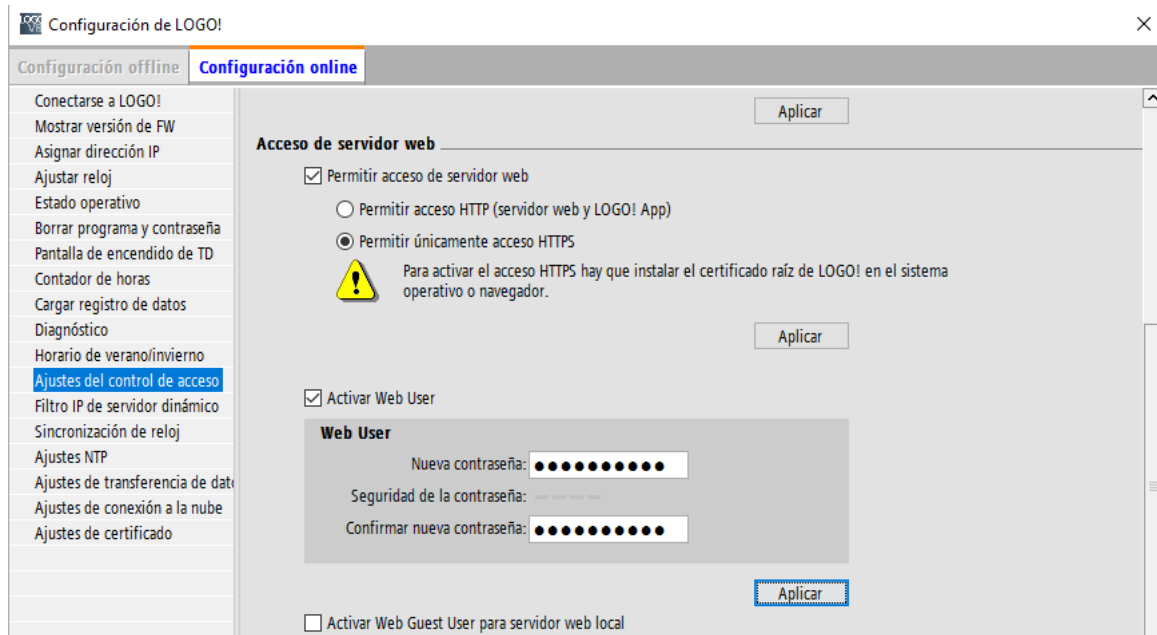


Ilustración 37 Acceso al servidor web

Para poder transferir el programa creado en el web server, es necesario introducir una tarjeta microSD en el dispositivo. Para ello se extrae la siguiente pestaña ubicada en la parte delantera del controlador (Ilustración 38 Pestaña a extraer para introducir la microSD).

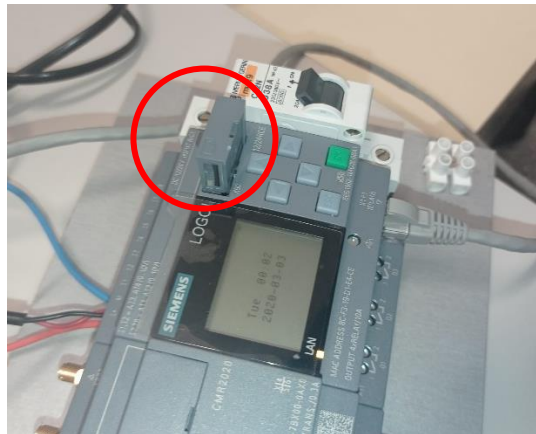


Ilustración 38 Pestaña a extraer para introducir la microSD

Una vez se tiene todo listo para poder transferir el programa al controlador, se puede comenzar con la programación en LOGO! Web Server. En la página web que se desea desarrollar aparecerá una gráfica y una barra analógica donde se irán mostrando los valores de potencia activa y reactiva consumida. Adicionalmente, se incluirán tres indicadores que se activarán cuando la potencia activa sea superior a la contratada y cuando se produzcan penalizaciones por el consumo de reactiva inductiva o capacitiva.

Cada uno de los elementos mencionados anteriormente deberá asociarse a la variable del PLC que se quiera representar.

Para representar gráficamente tanto la potencia activa como reactiva se va a crear una “Trend view” y se configurará de la siguiente forma (Ilustración 39 Configuración de la gráfica).

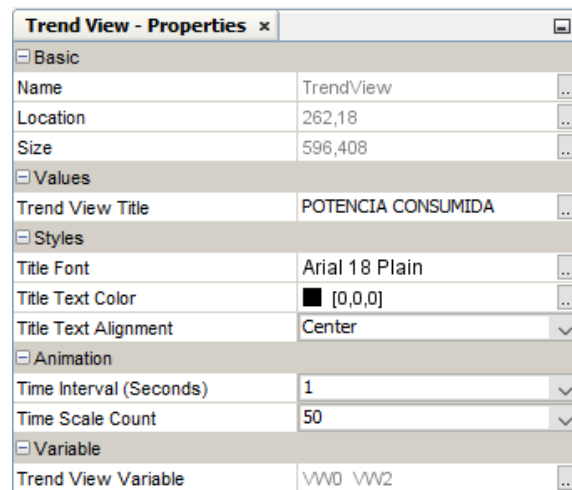


Ilustración 39 Configuración de la gráfica

En la pestaña “Variable”, se seleccionan los tres puntos situados al extremo derecho para elegir qué valores contenidos en el PLC se quieren representar y en qué formato se desea representarlos. Se eligen las direcciones de memoria 0 y 2 que contendrán los valores de potencia activa y reactiva respectivamente. Es importante poner los valores en formato “Signed” para representar los valores negativos de potencia reactiva capacitiva (Ilustración 40 Configuración de las salidas a representar en la gráfica).

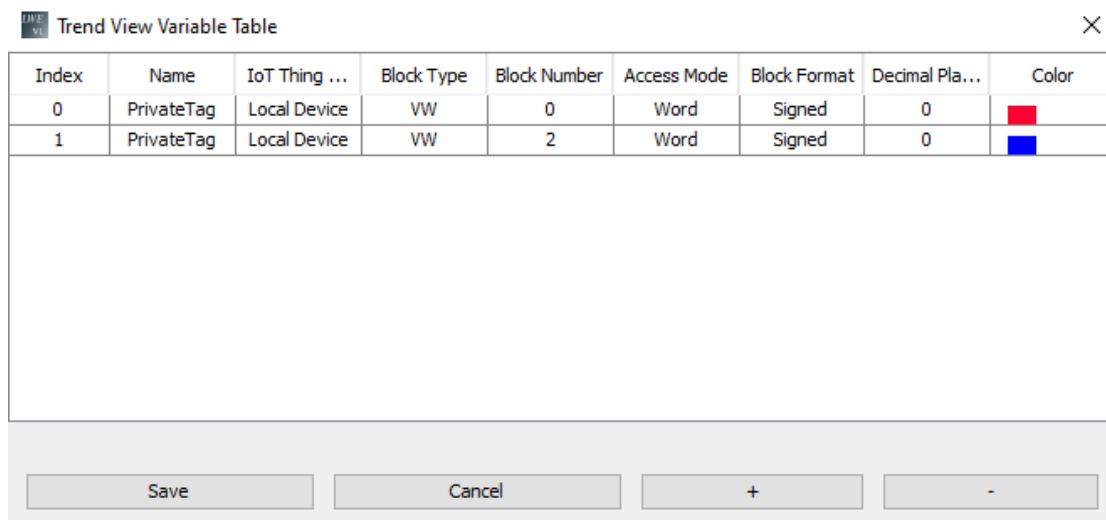


Ilustración 40 Configuración de las salidas a representar en la gráfica

Seguidamente, se crearán dos “Analog bar” que indicarán el consumo de potencia consumido. Se configurarán de la siguiente forma, indicando que dirección de memoria se quiere representar y en

formato “Signed” para representar valores negativos (Ilustración 41 Configuración de las barras analógicas).

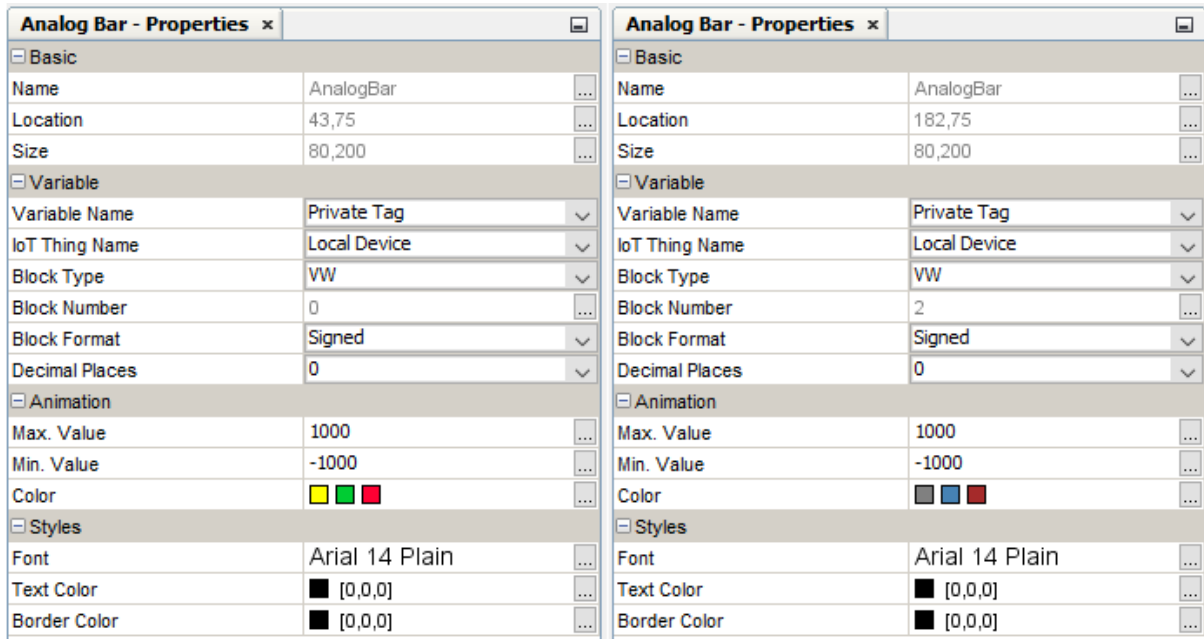


Ilustración 41 Configuración de las barras analógicas

La imagen de la izquierda es la configuración necesaria para representar la potencia activa, asociada a la dirección de memoria 0, y la de la derecha representará la potencia reactiva, asociada a dirección de memoria 2.

A continuación, se crearán tres indicadores para informar de las penalizaciones que se pueden dar en un momento dado. Para ello, se utilizará el elemento “Switch button” que se asociará a una de las salidas digitales y se configurará su apariencia en caso de activarse o no dichas salidas. Se puede elegir el texto y la imagen que se desea que aparezca en sus dos estados, activación y desactivación (Ilustración 42 Configuración de los tres indicadores de aviso).

Switch Button - Properties x		Switch Button - Properties x		Switch Button - Properties x	
Basic					
Name	SwitchButton	Name	SwitchButton	Name	SwitchButton
Location	308,426	Location	491,426	Location	668,426
Size	146,139	Size	146,139	Size	146,139
Variable					
Variable Name	Private Tag	Variable Name	Private Tag	Variable Name	Private Tag
IoT Thing Name	Local Device	IoT Thing Name	Local Device	IoT Thing Name	Local Device
Block Type	Q	Block Type	Q	Block Type	Q
Block Number	Q1	Block Number	Q3	Block Number	Q2
Writable	<input checked="" type="checkbox"/>	Writable	<input checked="" type="checkbox"/>	Writable	<input checked="" type="checkbox"/>
Animation					
On Image	32_shutdown.gif	On Image	32_shutdown.gif	On Image	32_shutdown.gif
Off Image	32_starting.gif	Off Image	32_starting.gif	Off Image	32_starting.gif
On Text	POTENCIA ACTIVA ...	On Text	PENALIZACIÓN POR...	On Text	PENALIZACIÓN POR...
Off Text	POTENCIA ACTIVA...	Off Text	CONSUMO DEREAC...	Off Text	CONSUMO DEREAC...
Styles					
Font	Arial 14 Bold	Font	Arial 14 Bold	Font	Arial 14 Bold
Text Color	■ [0,0,0]	Text Color	■ [0,0,0]	Text Color	■ [0,0,0]
Text Align	Center	Text Align	Center	Text Align	Center

Ilustración 42 Configuración de los tres indicadores de aviso

Si no se tiene ningún tipo de penalización en el consumo, los indicadores tendrán este aspecto (Ilustración 43 Aspecto de los indicadores sin penalización en el consumo).



Ilustración 43 Aspecto de los indicadores sin penalización en el consumo

De este modo, se podrá controlar y monitorizar el consumo eléctrico desde la página web. Finalmente, la interfaz de control tendrá la siguiente apariencia (Ilustración 44 Apariencia final).

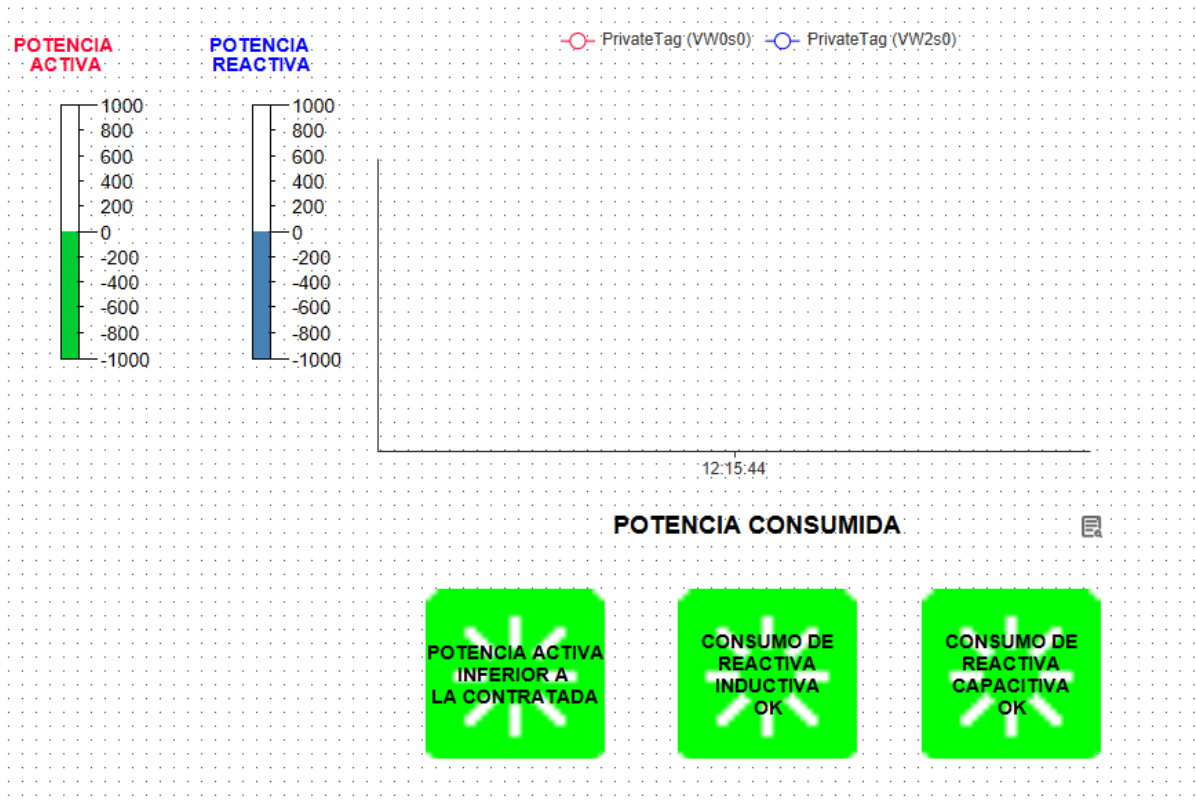


Ilustración 44 Apariencia final del SCADA

Ahora, ya se puede cargar el programa diseñado mediante “Tools->Download”. El proceso tardará un par de minutos (Ilustración 45 Carga del programa al PLC).

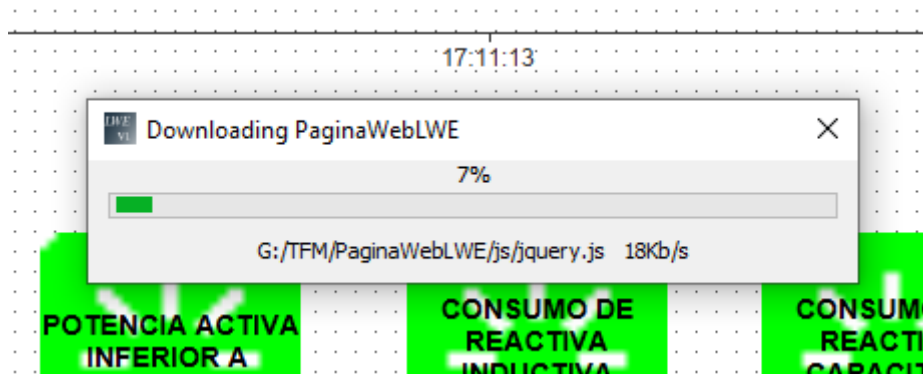


Ilustración 45 Carga del programa al PLC

Una vez se tiene el programa cargado, se introduce en un buscador de internet la IP del dispositivo. Una vez introducida, aparecerá la siguiente ventana en la que se selecciona el nombre de usuario “Web user” y se introduce la contraseña que se ha creado anteriormente (Ilustración 46 Acceso a la web de Siemens del controlador).

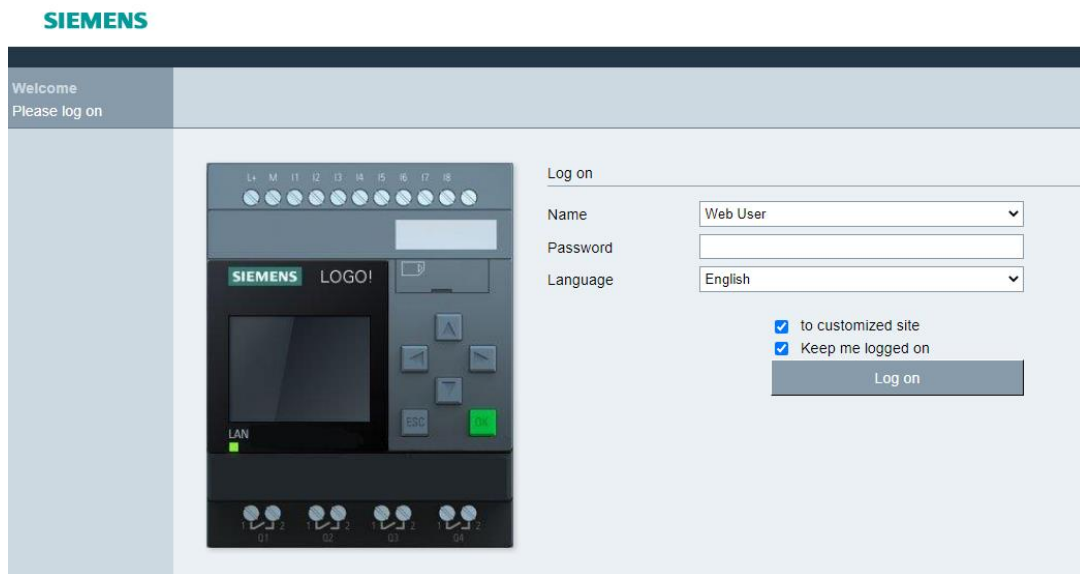


Ilustración 46 Acceso a la web de Siemens del controlador

Tras ingresar a la página, se puede realizar una monitorización en tiempo real de las distintas entradas y salidas del controlador. Esta monitorización puede llevarse a cabo de manera remota desde el ordenador o el teléfono móvil.

6.4-ENVÍO DE AVISOS MEDIANTE SMS Y E-MAIL

Para realizar el envío de mensajes mediante SMS y E-mail se va a hacer uso del dispositivo LOGO! CMR2020. Estos mensajes se configurarán para enviar ciertos avisos o errores producidos en la instalación industrial a monitorizar.

6.4.1-Puesta en marcha del LOGO! CMR2020

Para que el CMR 2020 lea las entradas y salidas del PLC, es necesario que ambos dispositivos se conecten entre sí. Para ello se realiza una conexión local vía ethernet.

Para permitir el envío de SMS y E-mail es necesario introducir en el interior del CMR2020 una tarjeta SIM. Se abrirá una pestaña localizada en la parte delantera del dispositivo y pulsando un botón blanco situado debajo de esta, permitirá la extracción de una pieza de plástico negra donde irá alojada la tarjeta SIM (Ilustración 47 Alojamiento de la tarjeta SIM en el LOGO! CMR2020).

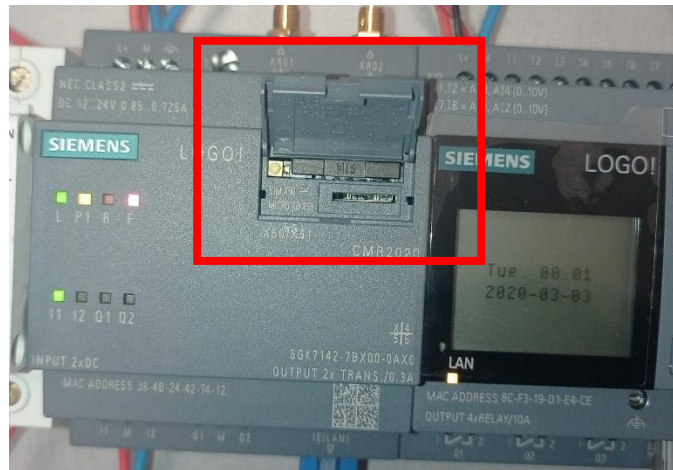


Ilustración 47 Alojamiento de la tarjeta SIM en el LOGO! CMR200

Para llevar a cabo una comunicación inalámbrica con un dispositivo móvil, se debe conectar al dispositivo una antena GPS en el conector XR01 y una antena GPRS en conector XR02 (Ilustración 48 Conexión de las antenas en el LOGO! CMR 200

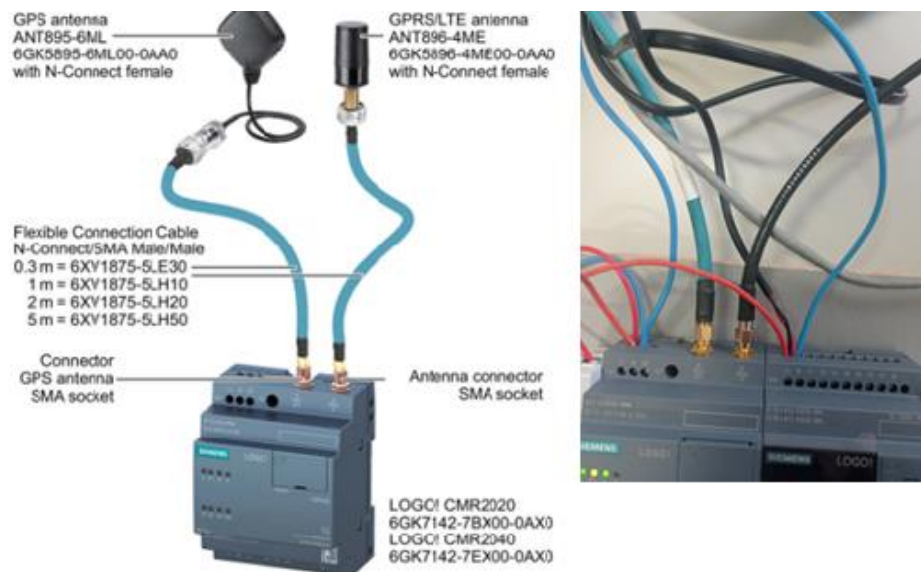


Ilustración 48 Conexión de las antenas en el LOGO! CMR 200 (Siemens, 2021)

6.5.2-Configuración del LOGO! CMR200

Primero se realiza el cableado para obtener los valores de las salidas del controlador. Como el CMR tan solo tiene dos entradas, solo se van a poder conectar dos salidas del controlador. Debido a que la penalización por potencia reactiva inductiva es más frecuente que la capacitiva, se van a enviar avisos solo cuando se supere la potencia contratada y la potencia reactiva inductiva. Así pues, la salida Q1 del controlador irá cableada a la entrada I1, y la salida Q3 irá con la I2.

Para configurar el dispositivo es necesario conocer la dirección IP a la que está asociado y, su nombre de usuario y contraseña. Si este es utilizado por primera vez tendrá los valores de fábrica con una dirección IP asociada de 192.168.0.3 y, como usuario y contraseña la palabra “admin”. Por el contrario, si ya ha sido utilizado anteriormente por otro usuario, la IP probablemente haya sido modificada y, la contraseña será distinta a “admin”, ya que la primera vez que se realiza la configuración, se obliga a cambiar este parámetro.

Si se desconocen estos tres parámetros o han sido olvidados, se debe reiniciar el dispositivo a los valores de fábrica. Para realizar esta acción, con el dispositivo encendido, se debe mantener pulsado el botón de SET, situado en la parte delantera de este, durante 10 segundos hasta que se apaguen todos los LEDs que normalmente se encuentran activados cuando el dispositivo está encendido (Ilustración 49 Botón SET en LOGO! CMR2020).

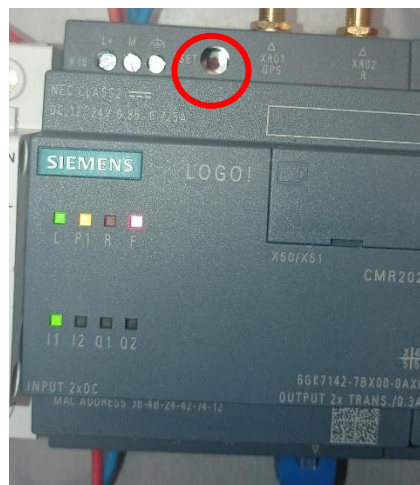


Ilustración 49 Botón SET en LOGO! CMR2020

Una vez se ha reiniciado el dispositivo, este adquiere los valores de fábrica ya indicados anteriormente. De este modo ya se puede configurar el dispositivo. Para ello, se introduce en un buscador de internet la dirección IP del dispositivo.

Aparecerá la siguiente ventana, la cual pedirá el nombre de usuario y contraseña del dispositivo (Ilustración 50 Inicio de sesión en LOGO! CMR2020).

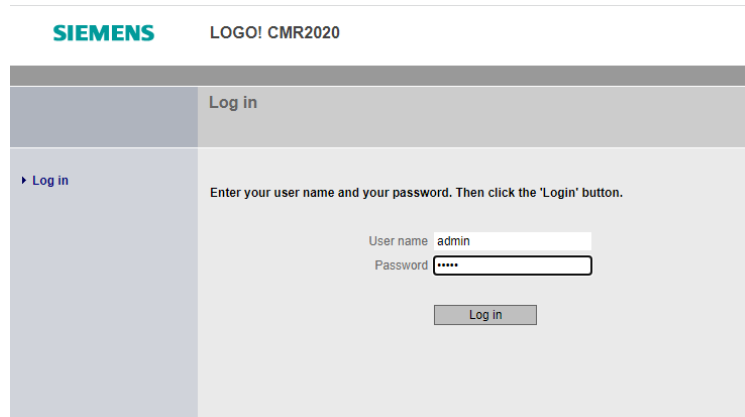


Ilustración 50 Inicio de sesión en LOGO! CMR2020

Si se ha iniciado por primera vez el dispositivo, una vez introducido el nombre de usuario y la contraseña, aparecerá una ventana que permite cambiar la contraseña del dispositivo.

Tras haber realizado el inicio de sesión, aparece la página de inicio, donde se pueden ver algunos parámetros de interés del dispositivo (Ilustración 51 Página de inicio del LOGO! CMR2020).

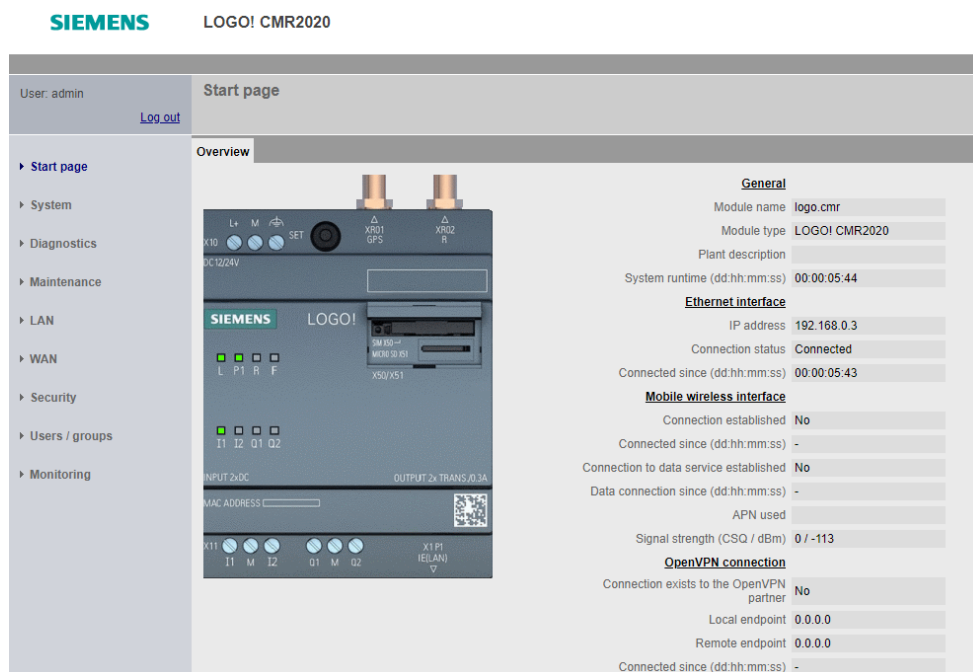


Ilustración 51 Página de inicio del LOGO! CMR2020

Dentro de “System”, seleccionando la pestaña “General”, se puede poner un nombre al dispositivo, una descripción y activar el GPS (Ilustración 52 Nombre, descripción y activación del GPS). En la pestaña “System time”, se puede seleccionar la zona horaria local que, en España, corresponde a UTC+1:00 (Ilustración 53 Configuración de la zona horaria local).

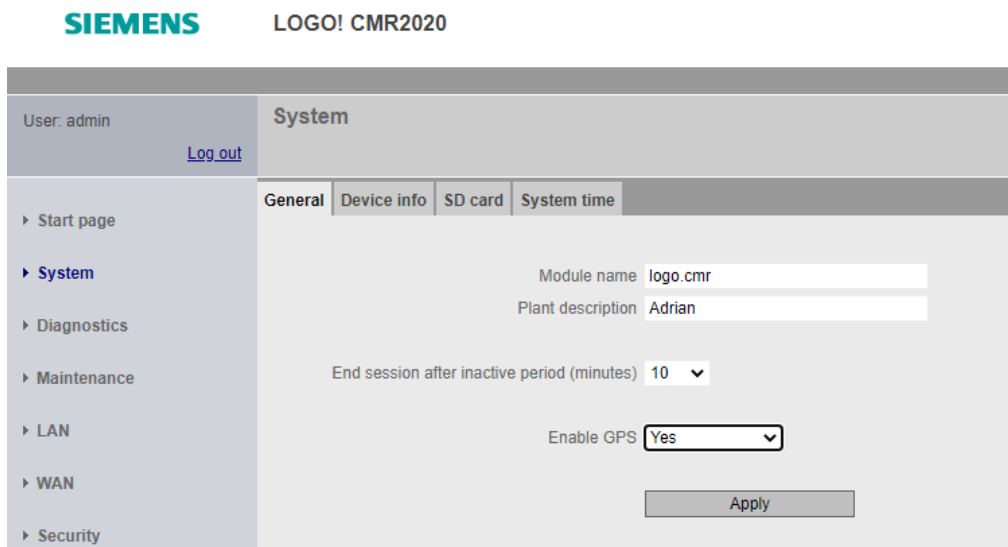


Ilustración 52 Nombre, descripción y activación del GPS

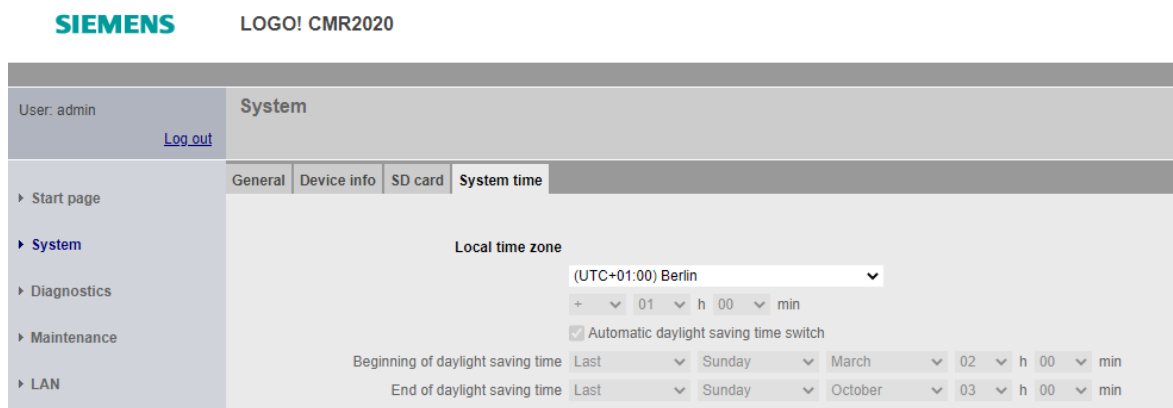


Ilustración 53 Configuración de la zona horaria local

Dentro de LAN, en la pestaña configuración, se puede modificar la dirección IP del dispositivo a la que el usuario desee. Cada dispositivo debe tener una dirección IP diferente (Ilustración 54 Cambio de la dirección IP).

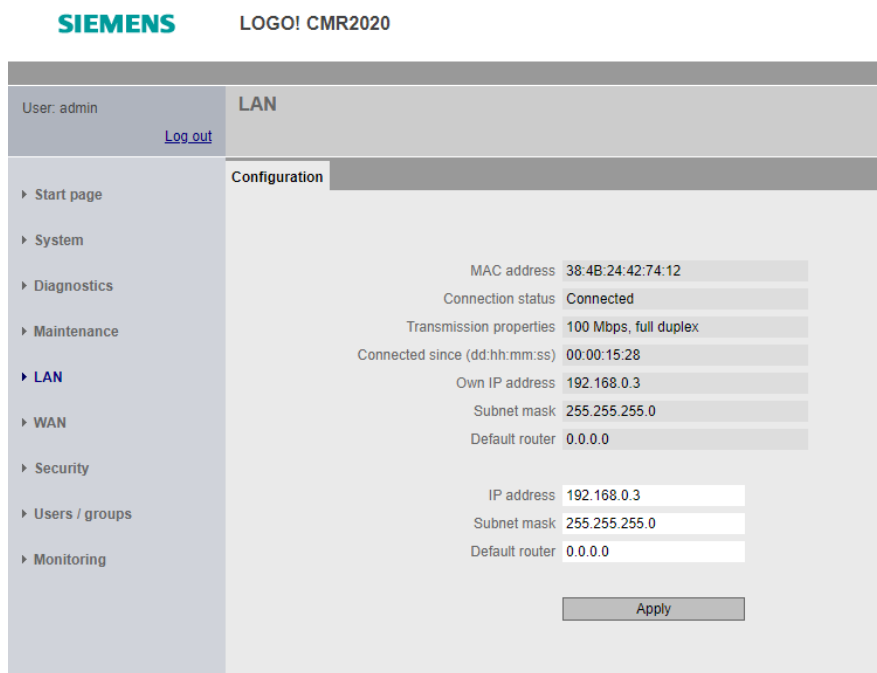


Ilustración 54 Cambio de la dirección IP

Dentro de “WAN”, seleccionado “Mobile Wireless settings”, se da la opción de habilitar la interfaz de comunicación móvil inalámbrica, el roaming y el servicio de datos móvil.

En este caso, se van a habilitar las tres opciones disponibles, introducir el PIN de la tarjeta SIM y el APN de la compañía telefónica de esta. Como método de autenticación se va a seleccionar CHAP, el cual realiza comprobaciones periódicas de la identidad del dispositivo (Ilustración 55 Configuración de la comunicación móvil inalámbrica).

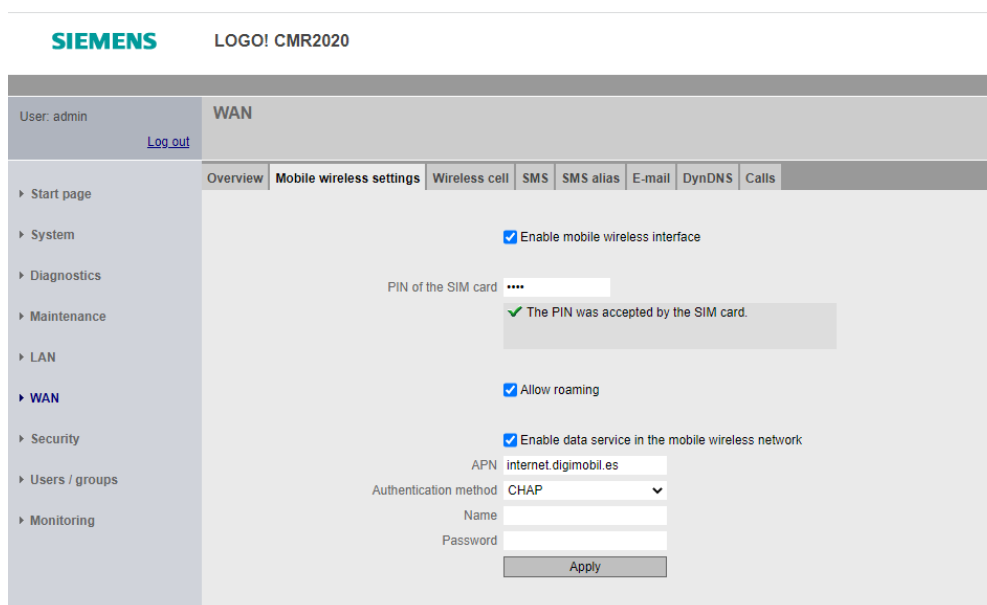


Ilustración 55 Configuración de la comunicación móvil inalámbrica

Una vez realizado este paso, en la pestaña “Overview” se puede comprobar si se ha establecido la conexión y algunos datos del dispositivo adicionales de interés (Ilustración 56 Comprobación de conexión móvil inalámbrica establecida).

The screenshot shows the Siemens LOGO! CMR2020 WAN configuration interface. The user is logged in as 'admin'. The 'Overview' tab is selected, showing the 'Mobile wireless connection' status. The connection is established, with details such as connection time, data service status, signal strength, and various identifiers (SMSC, APN, IMEI, IMSI, IP, DNS).

Parameter	Value
Connection established	Yes
Connected since (dd:hh:mm:ss)	00:00:00:28
Connection to data service established	Yes (GPRS)
Data connection since (dd:hh:mm:ss)	00:00:00:25
Signal strength (CSQ / dBm)	18 / -77
SMSC number	+34642200050
APN used	internet.digimobil.es
IMEI	356032060153478
IMSI	214220007008609
IP address	10.73.18.72
DNS server	100.100.1.1

Ilustración 56 Comprobación de conexión móvil inalámbrica establecida

Dentro de “WAN”, seleccionando la pestaña “Wireless cell”, se puede ver la fuerza de la señal y su calidad (Ilustración 57 Fuerza y calidad de la señal). Adicionalmente, en la pestaña “SMS”, para permitir la recepción de mensajes, se habilitan las opciones uno y tres (Ilustración 58 Opciones a habilitar para recibir de mensajes).

The screenshot shows the Siemens LOGO! CMR2020 WAN configuration interface, specifically the 'Wireless cell' tab. It displays the 'Status of the wireless cell' with various parameters including cell identifier, signal strength, signal quality, location area code, mobile wireless standard, network type, network name, and PLMN.

Parameter	Value
Wireless cell identifier (CI)	5342
Signal strength (CSQ / dBm)	17 / -79 dBm
Signal quality	[Bar chart]
Location Area Code	4608
Mobile wireless standard of the wireless cell	GSM/GPRS
Network type	Roaming
Network name	Digi.Mobil
PLMN	21407

Ilustración 57 Fuerza y calidad de la señal

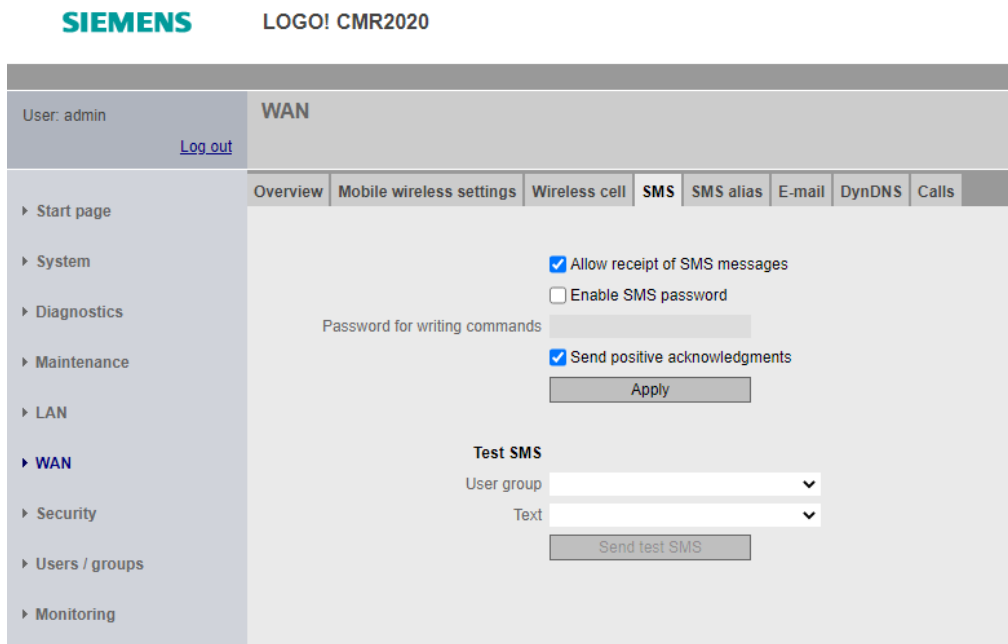


Ilustración 58 Opciones a habilitar para recibir de mensajes

Dentro de “WAN”, en la pestaña “E-mail”, se realiza la configuración para permitir el envío de correos electrónicos. Para ello se introducen los datos de un servidor SMTP creado, que se encargará de enviar los mensajes vía e-mail (Ilustración 59 Configuración para el envío de e-mail).

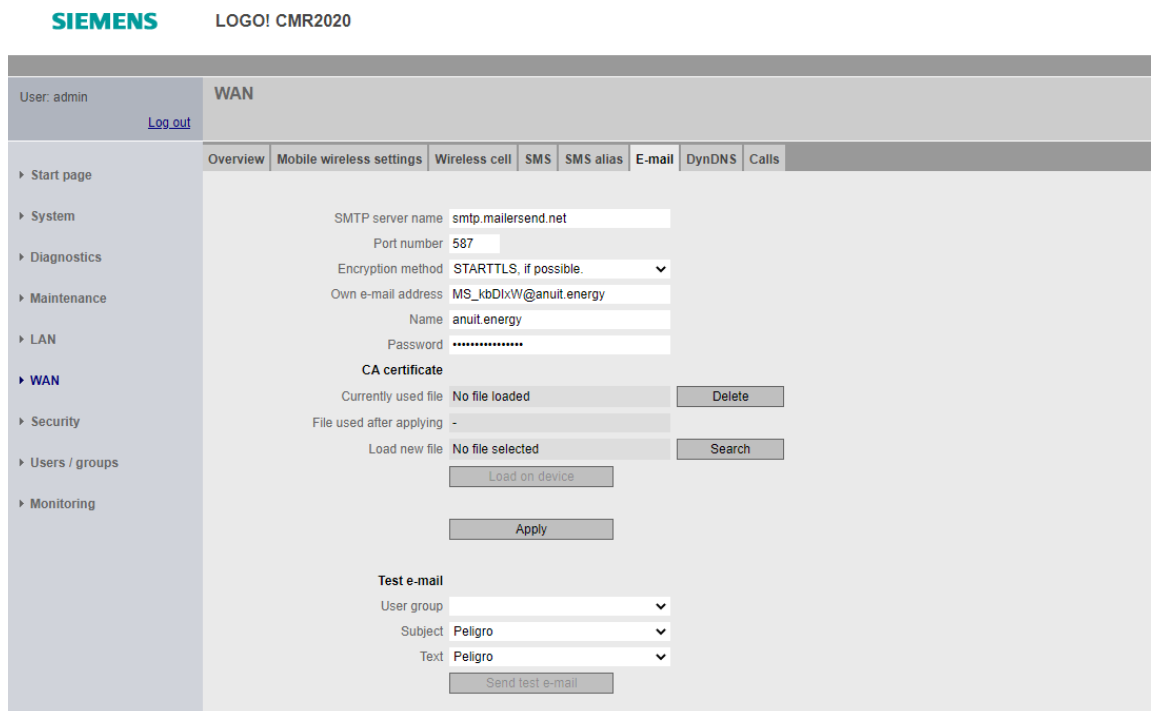
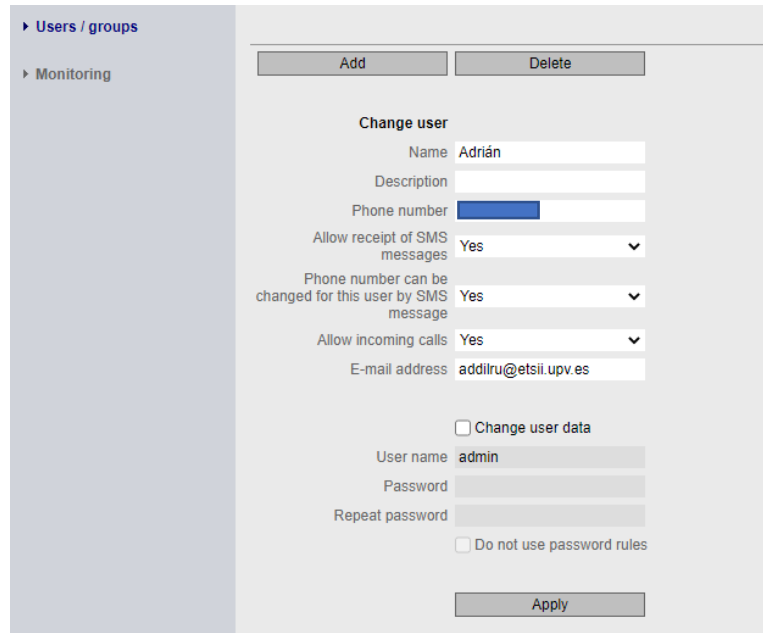


Ilustración 59 Configuración para el envío de e-mail

6.5.3-Configuración del contenido de los mensajes por SMS y correo electrónico

En el presente apartado se van a configurar el contenido de los mensajes y a quiénes van a ir dirigidos. Dentro de “Users/groups”, en la pestaña “User” se introduce el nombre, número de teléfono y correo de las personas que van a recibir los avisos (Ilustración 60 Usuarios a los que se les va a enviar los avisos).



The screenshot shows a web interface for configuring users. On the left, there is a sidebar with 'Users / groups' and 'Monitoring' options. The main area has 'Add' and 'Delete' buttons at the top. Below them is the 'Change user' section with the following fields:

- Name: Adrián
- Description: (empty)
- Phone number: (empty)
- Allow receipt of SMS messages: Yes (dropdown)
- Phone number can be changed for this user by SMS message: Yes (dropdown)
- Allow incoming calls: Yes (dropdown)
- E-mail address: addilru@etsii.upv.es
- Change user data
- User name: admin
- Password: (empty)
- Repeat password: (empty)
- Do not use password rules

An 'Apply' button is located at the bottom of the form.

Ilustración 60 Usuarios a los que se les va a enviar los avisos

En la pestaña “Groups” se crean grupos formados por las personas a las que se les va a enviar los avisos. Aunque tan solo se asigne una persona, como es el caso, es necesario crear un grupo para permitir el envío de los mensajes (Ilustración 61 Creación de grupos).

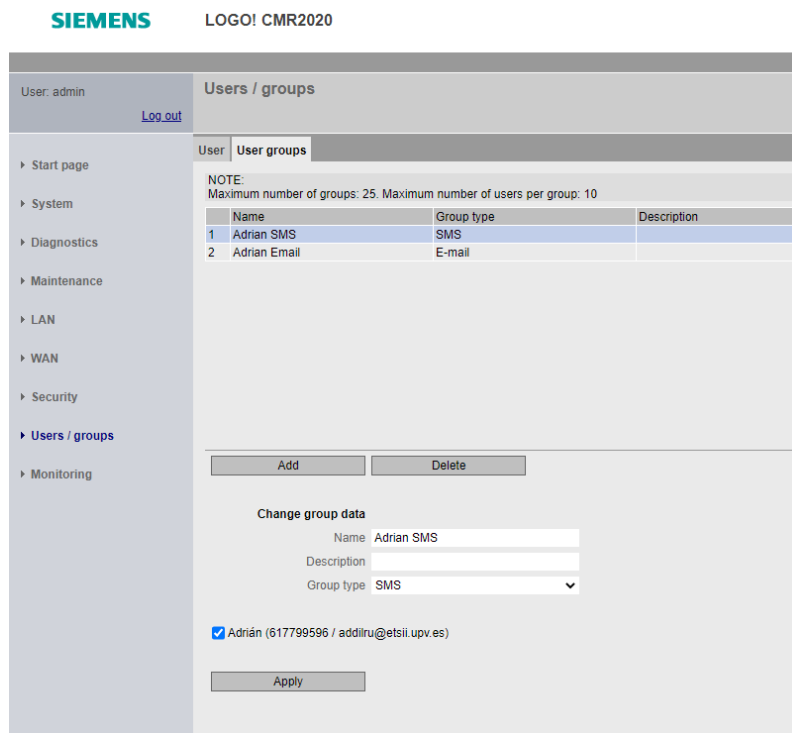


Ilustración 61 Creación de grupos

Para configurar el contenido de los mensajes, dentro de “Monitoring”, en la pestaña “Message texts” se crean los mensajes a enviar (Ilustración 62 Configuración de los mensajes a enviar). En este caso se van a tener tres avisos:

- Se ha superado la potencia contratada: cuando se activa I1 (entrada CMR2020).
- Penalización por potencia reactiva inductiva: cuando se activa I2 (entrada CMR2020).

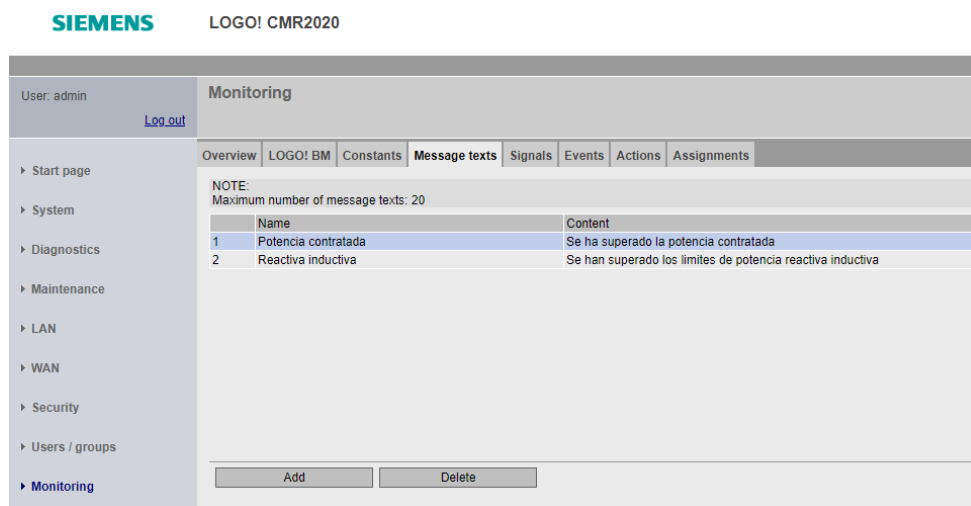


Ilustración 62 Configuración de los mensajes a enviar

Dentro de la pestaña “Events”, se va a crear un evento asociado a una entrada del CMR2020, cuando ésta pase de 0 a 1, se activará el evento (Ilustración 63 Configuración de eventos).

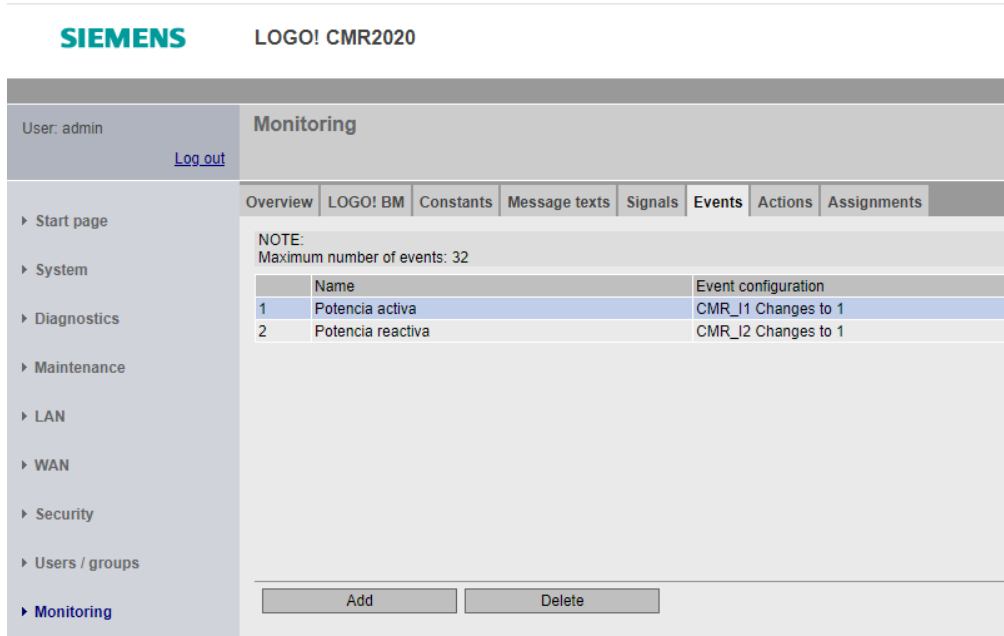


Ilustración 63 Configuración de eventos

Dentro de la pestaña “Actions”, se configuran las distintas acciones a realizar. En este caso se van a enviar dos mensajes por SMS y otros dos por E-mail con distinto contenido, el cual se ha definido en la pestaña “Message texts” (Ilustración 64 Configuración de las acciones a realizar).

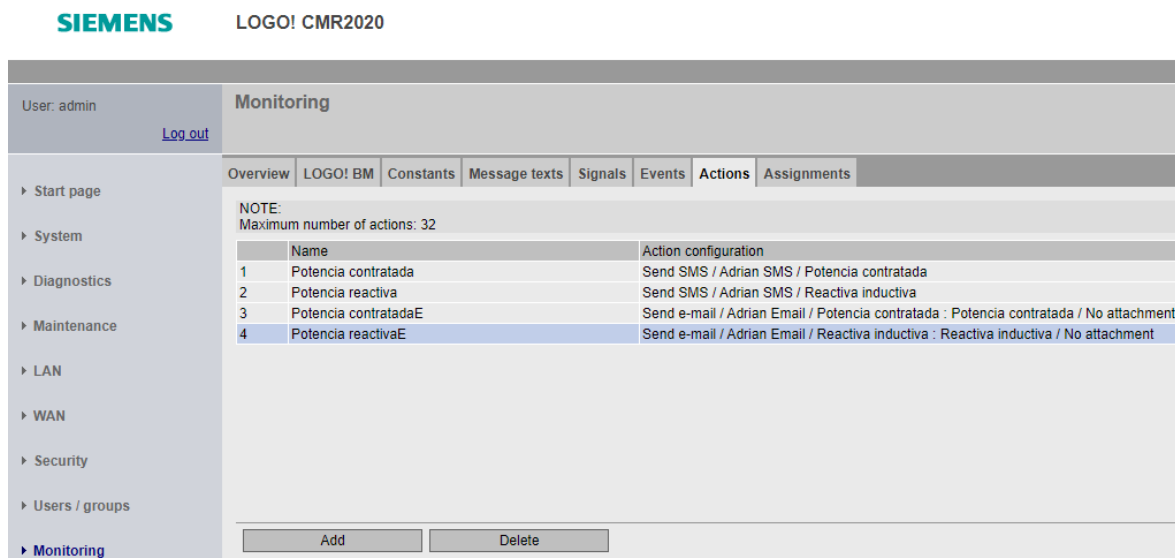


Ilustración 64 Configuración de las acciones a realizar

Por último, en la pestaña “Assignments”, se asocia cada acción a un evento, ambos configurados anteriormente (Ilustración 65 Configuración de las asignaciones).

SIEMENS LOGO! CMR2020

User: admin [Log out](#)

Monitoring

Overview LOGO! BM Constants Message texts Signals Events Actions **Assignments**

NOTE:
Maximum number of assignments: 32

	Active	Name	Event	Action
1	Yes	Asignación 1	Potencia activa	Potencia contratada
2	Yes	Asignación 2	Potencia activa	Potencia contratadaE
3	Yes	Asignación 3	Potencia reactiva	Potencia reactiva
4	Yes	Asignación 4	Potencia reactiva	Potencia reactivaE

Ilustración 65 Configuración de las asignaciones

6.5-OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CONSUMO

Para obtener los distintos parámetros de consumo de la instalación a monitorizar se va a hacer uso del analizador de red de Siemens PAC4200.

6.5.1-Puesta en marcha del PAC4200

Como se ha dicho anteriormente, el dispositivo PAC4200 debe conectarse en corriente alterna y a 230V. Para ello se hace uso de un conector con la fase y el neutro descubiertos en uno de sus extremos. La conexión se realiza en la parte trasera del dispositivo, conectándose el cable marrón en el pin L/+ y el cable azul en el pin N/- (Ilustración 66 Conexión PAC4200).

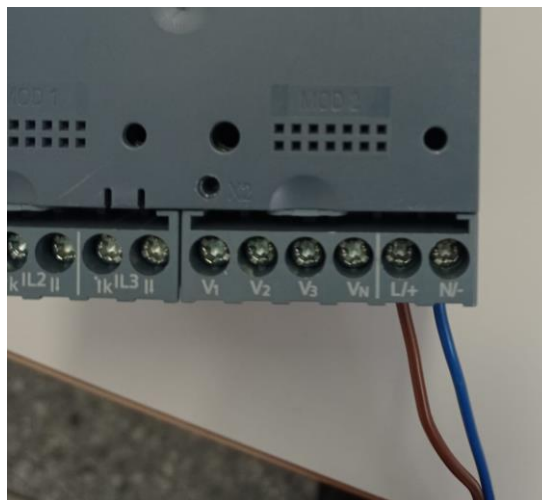


Ilustración 66 Conexión PAC4200

A continuación, para poder encender el dispositivo, es necesario insertar una pila de botón de litio de 3V del tipo CR2032. Esta batería se insertará en el interior de una ranura situada en la parte trasera superior del PAC4200 (Ilustración 67 Introducción de la batería en el dispositivo).

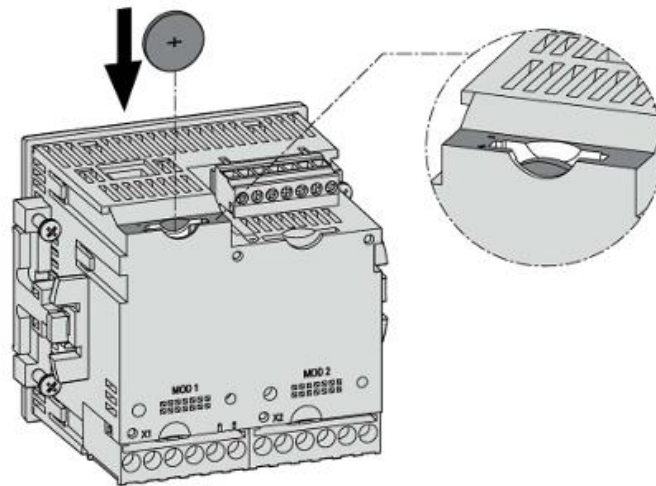


Ilustración 67 Introducción de la batería en el dispositivo (PAC4200 Power monitoring Device, 2019)

6.5.2-Configuración del PAC4200

Para poder comunicarse con el PAC4200 es necesario asignarle una dirección IP. Si se usa por primera vez el dispositivo, no se tiene ninguna dirección de IP asignada a este. Al encender el PAC4200, aparece en la pantalla los valores de tensión consumidos por cada una de las tres fases y un botón de “MENÚ” en la esquina inferior derecha (Ilustración 68 Pantalla inicial del PAC4200).



Ilustración 68 Pantalla inicial del PAC4200

Al pulsar sobre el botón F4 se accede al menú del dispositivo, donde, entre otras cosas, se podrá asignar una dirección IP. Dentro del menú, en “Ajustes->Comunicación”, se puede consultar la dirección MAC y, asignar una dirección IP, una máscara de subnet y el protocolo de comunicación que se va a utilizar, que en el presente proyecto es Modbus TCP/IP (Ilustración 69 Asignación de la IP del dispositivo).



Ilustración 69 Asignación de la IP del dispositivo

En el presente proyecto se va a realizar una simulación del sistema en el laboratorio del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la UPV leyendo el consumo de una carga monofásica. Para que el PAC4200 pueda realizar dicha lectura es necesario configurar previamente sus entradas de tensión, en la Ilustración 70 Configuración para la medición de una carga monofásica aparece como realizar esta configuración.



Ilustración 70 Configuración para la medición de una carga monofásica

Seguidamente se configurarán las entradas de corriente del dispositivo. Se va a utilizar un transformador de corriente de 10A en el primario y 5A en el secundario para realizar la conexión entre el PAC4200 y la carga.



Ilustración 71 Configuración de las entradas de corriente

6.6-INSTALACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS Y PUESTA EN MARCHA

En el presente apartado se va a mostrar la conexión de los distintos dispositivos que forman el sistema para llevar a cabo una simulación de este.

6.6.1-Conexión LOGO! BM 8 y LOGO! CMR2020

En la Ilustración 72 Interconexión LOGO! CMR2020 y LOGO! BM 8 se muestra una foto con todas las conexiones realizadas y en la Ilustración 73 se muestra un pequeño esquema.



Ilustración 72 Interconexión LOGO! CMR2020 y LOGO! BM 8

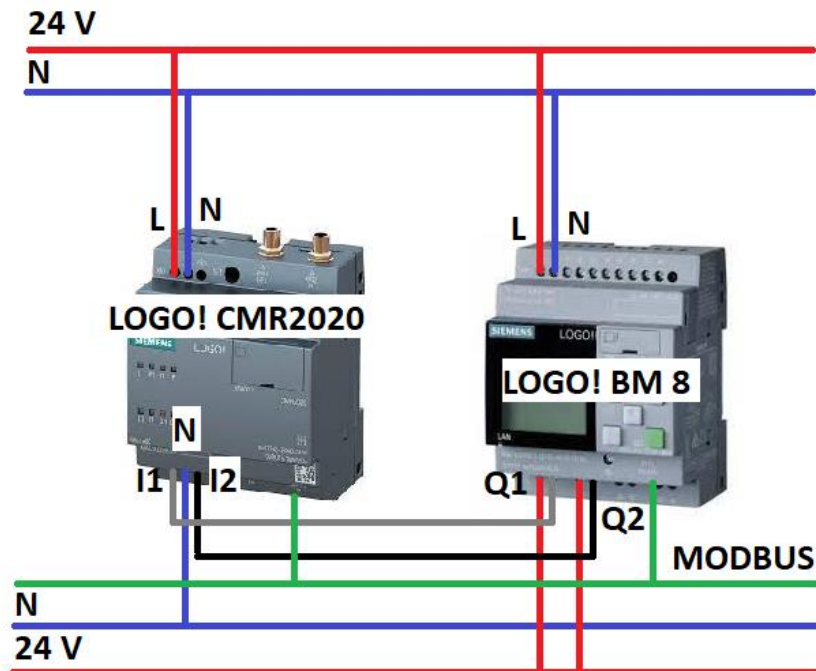


Ilustración 73 Esquema de interconexión LOGO! CMR2020 y LOGO! BM 8

Algunos aspectos a tener en cuenta son los siguientes:

- Ambos dispositivos se alimentan en continua y a 24 V por las entradas L+.
- En el CMR2020 es necesario la conexión de dos antenas en las entradas XR01 y XR02 para el envío de mensajes por SMS y correo electrónico.
- Conexión de cables RJ45 en las entradas X1P1 de ambos dispositivos para permitir la comunicación por Modbus TCP/IP.
- Alimentación en continua y a 24 V de las entradas del LOGO! CM 8.
- Interconexión de las salidas Q1.2 y Q2.2 del controlador con las entradas I1 e I2 del CMR2020 respectivamente.



Ilustración 74 Detalle de la interconexión LOGO! CMR2020 y LOGO! BM 8

6.6.2-Conexión switch ethernet

Los cables RJ45 provenientes del PC, controlador, LOGO! CMR2020, PAC4200 y de la red interna de la UPV, se conectan al switch de ethernet (Ilustración 75 Cables RJ45 conectados al switch de ethernet). Esto permitirá la comunicación mediante Modbus TCP/IP de todos los dispositivos.



Ilustración 75 Cables RJ45 conectados al switch de ethernet

6.6.3-Conexión PAC4200 para la lectura del consumo de la carga monofásica

En la Ilustración 76 Conexión del PAC4200 para medición de la carga monofásica se muestran las conexiones del PAC4200. La alimentación de este dispositivo se realiza en alterna a 230 V por la entrada L+.

Connection type 1P2W

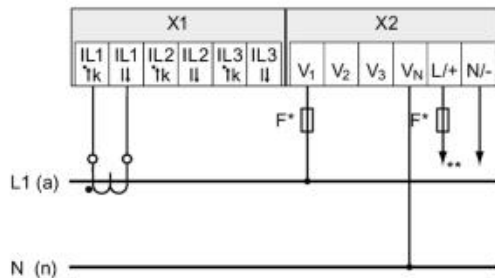


Ilustración 76 Conexión del PAC4200 para medición de la carga monofásica (PAC4200 Power monitoring Device, 2019)

En Ilustración 76 Conexión del PAC4200 para medición de la carga monofásica se observan dos zonas de conexiones al PAC4200, una llamada X1 donde se localizarán las entradas y salidas de corriente y otra, llamada X2, donde estarán ubicadas las entradas y salidas de tensión.

Para poder realizar la medición se debe de hacer uso de un transformador de corriente, debido a que el fabricante indica que el PAC4200 puede trabajar con entradas de corriente de 10A en el primario y de entre 1 y 5A en el secundario, se va a trabajar con un transformador de 10/5A (Ilustración 77 Transformador de corriente utilizado).



Ilustración 77 Transformador de corriente utilizado

A continuación, se muestra una foto de las conexiones entre el PAC4200, el transformador de corriente y la carga (Ilustración 78 Conexión entre el PAC4200, el transformador de corriente y la carga), y un pequeño esquema explicativo (Ilustración 79 Esquema de la conexión entre el PAC4200, el transformador de corriente y la carga).

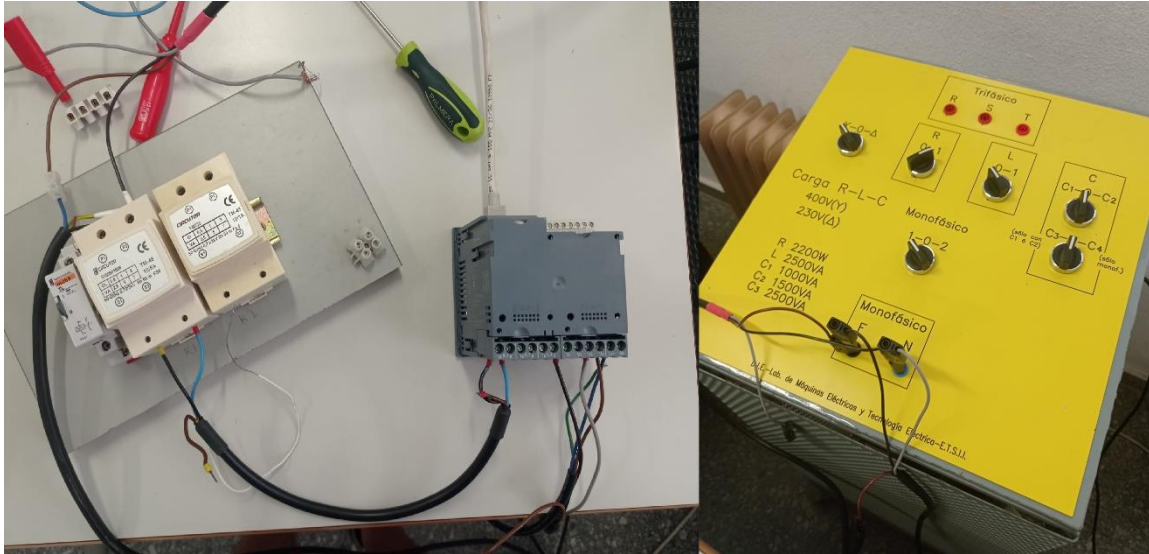


Ilustración 78 Conexión entre el PAC4200, el transformador de corriente y la carga

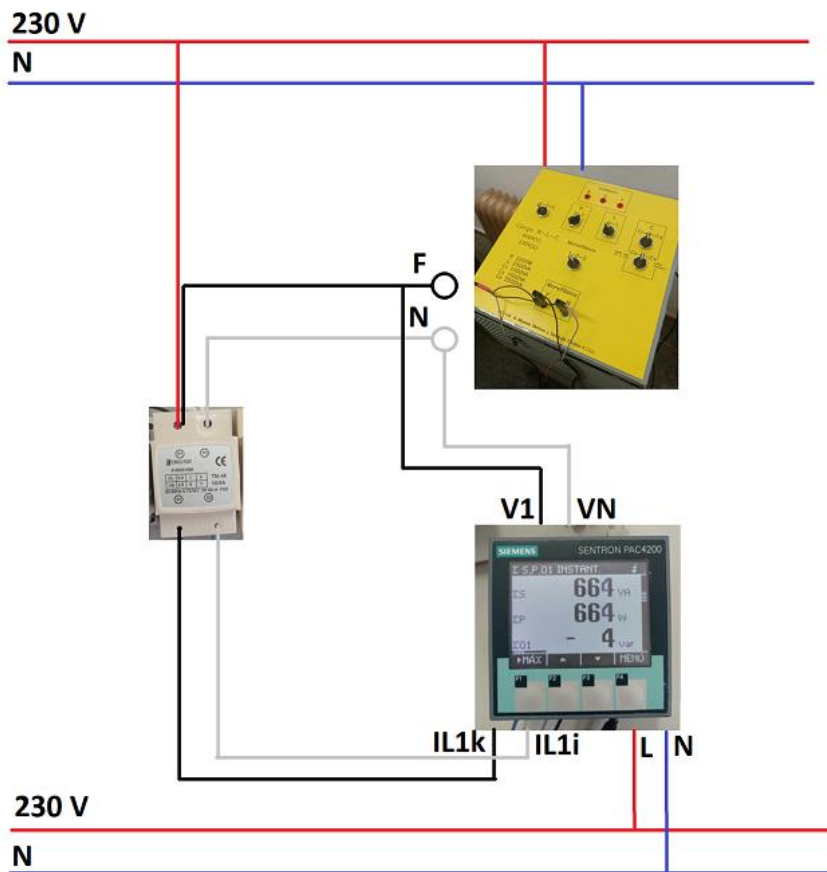


Ilustración 79 Esquema de la conexión entre el PAC4200, el transformador de corriente y la carga

Conceptos a tener en cuenta en la conexión:

- Tanto la carga como el PAC4200 y el transformador de corriente se alimentan en alterna a 230V.
- El secundario del transformador, a 5A, se conecta a la entrada IL1k y a salida IL1i de corriente del PAC4200.
- El primario del transformador se conecta a la fase y al neutro de la carga monofásica.
- Las entradas de tensión Vn y V1 del PAC4200 se conectan respectivamente al neutro y a la fase de la carga monofásica.

6.7-DESARROLLO DE LA PÁGINA WEB MEDIANTE HTML

La página web desarrollada va a representar en una misma gráfica los valores de potencia activa y reactiva que han sido registrados por parte del programa cargado en el controlador. El registro de datos se hace en un fichero .csv donde aparecerá un número determinado de filas, en función de los registros realizados. Cada fila contendrá los siguientes datos obtenidos en el instante del registro:

- Fecha y hora.

- Valores de potencia activa consumida.
- Valores de potencia reactiva consumida.

En la Ilustración 80 Registro de datos se observa con qué nombre se guarda el documento y qué contiene en su interior.

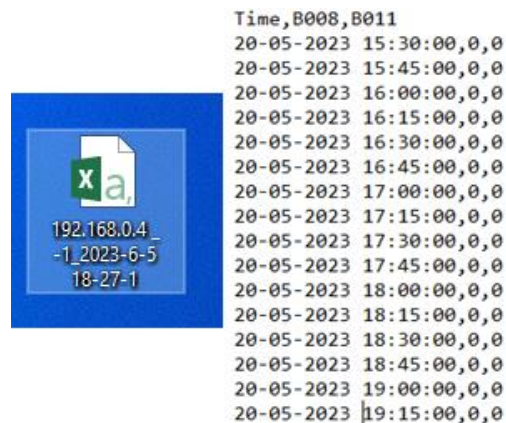


Ilustración 80 Registro de datos

En la página web vendrá incorporado un botón que permitirá elegir el archivo .csv, del ordenador, que el usuario quiera representar, y cargar sus datos en las gráficas (Ilustración 81 Selección del archivo a representar en la página web). Cabe destacar que, si no se ha seleccionado ningún archivo, la página web representará en las gráficas los datos de un archivo .csv alojado en el servidor web.

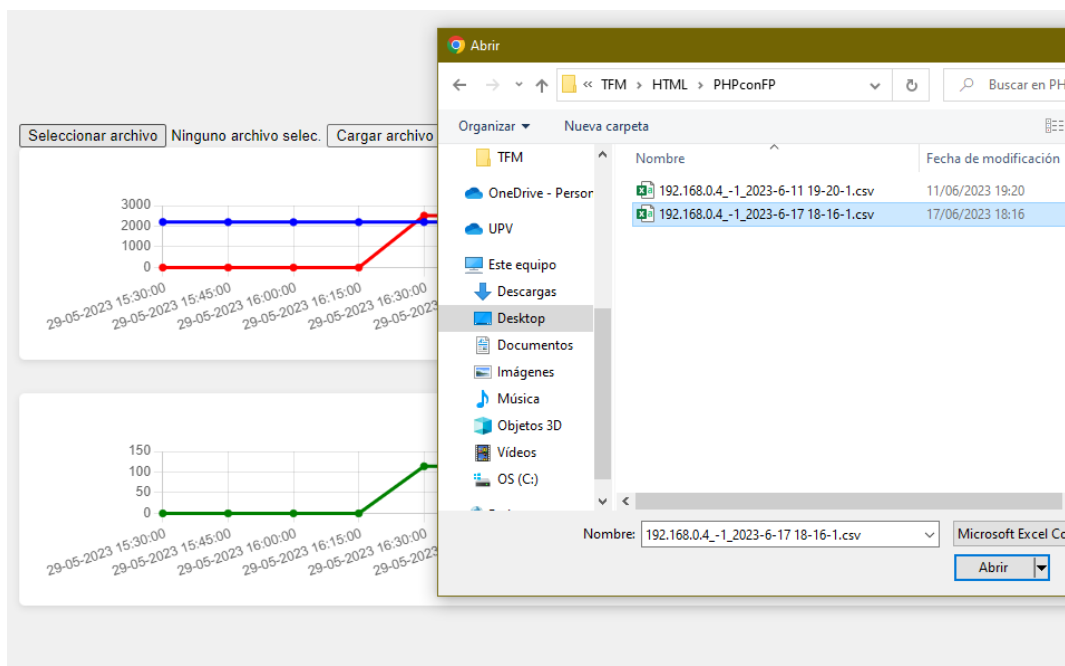


Ilustración 81 Selección del archivo a representar en la página web

Dentro del código HTML se realizará el cálculo del porcentaje de reactiva sobre la activa consumida, para cada muestra, y será representado en una gráfica adicional.

6.7.1-Explicación del código

A continuación, se va a explicar en qué consisten las distintas partes del código desarrollado para la creación de página web. El código completo quedará recogido en el ANEJO 1 del presente trabajo.

1. Se define la estructura de la página web, en la que se declara el tipo de documento (<!DOCTYPE html>), se abren y se cierran las etiquetas <html>, <head> y <body>, y se introduce el título de la página que se va a mostrar en la pestaña del navegador (<title> Monitorización del consumo eléctrico </title>).

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
  <title>Monitorización del consumo eléctrico</title>
```

2. Se carga la biblioteca Chart.js desde un archivo situado en un servidor de terceros utilizando una URL que apunta a un servidor encargado de almacenar y distribuir contenido digital. Esto permite utilizar las funciones y herramientas de la biblioteca Chart.js para crear y personalizar los gráficos de la página web.

```
<script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/Chart.js/3.7.1/chart.min.js"></script>
```

3. Se definen estilos CSS para la apariencia de la página, incluyendo el estilo de la fuente, el margen, el relleno y el color de fondo de la página, así como el aspecto de los gráficos generados (<style>...</style>).

```
<style>
  body {
    font-family: Arial, sans-serif;
    margin: 0;
    padding: 20px;
    background-color: #f0f0f0;
  }
  h1 {
    text-align: center;
    margin-bottom: 30px;
  }
  .chart-container {
    background-color: #fff;
    border-radius: 5px;
    box-shadow: 0 2px 6px rgba(0, 0, 0, 0.1);
    padding: 20px;
```

```
    margin-bottom: 30px;
  }
  canvas {
    max-width: 100%;
  }
</style>
```

4. Se agrega un elemento de entrada '`<input>`' de tipo "file" y un botón que tiene asociada una función, llamada 'handleFile()', al hacer clic, esta función se definirá más adelante.

```
<input type="file" id="fileInput" accept=".csv">
<button onclick="handleFile()">Cargar archivo</button>
```

5. Se incluye el código en PHP para poder trabajar con el archivo CSV cargado previamente por el usuario. Primero, se verifica si se ha subido un archivo CSV utilizando la variable `$_FILES['csvFile']`. Si el usuario ha subido el archivo CSV, este se lee y se almacenan sus datos en las variables `$fechas`, `$potenciaActiva` y `$potenciaReactiva`, creadas. Adicionalmente, se calcula el factor de potencia utilizando la fórmula $(\text{potencia reactiva} / \text{potencia activa}) * 100$. Si no se ha subido un archivo CSV, se utilizan los valores predeterminados de un archivo llamado "datos.csv" alojado en el servidor de la página web.

```
<?php
// Verificación de si se ha subido un archivo CSV
if (isset($_FILES['csvFile'])) {
    $csvFile = $_FILES['csvFile']['tmp_name']; // Ruta al archivo CSV
    $data = array_map('str_getcsv', file($csvFile));
    $fechas = array_column($data, 0); // Columna de fechas
    $potenciaActiva = array_column($data, 1); // Columna de potencia activa
    $potenciaReactiva = array_column($data, 2); // Columna de potencia reactiva

    // Cálculo del factor de potencia (potencia reactiva / potencia activa) * 100
    $factorPotencia = array();
    for ($i = 0; $i < count($potenciaActiva); $i++) {
        $factorPotencia[$i] = ($potenciaReactiva[$i] / $potenciaActiva[$i]) * 100;
    }
} else {
    // Datos de archivo CSV por defecto
    $csvFile = 'datos.csv'; // Ruta al archivo CSV
    $data = array_map('str_getcsv', file($csvFile));
    $fechas = array_column($data, 0); // Columna de fechas
    $potenciaActiva = array_column($data, 1); // Columna de potencia activa
    $potenciaReactiva = array_column($data, 2); // Columna de potencia reactiva

    // Cálculo del factor de potencia (potencia reactiva / potencia activa) * 100
    $factorPotencia = array();
    for ($i = 0; $i < count($potenciaActiva); $i++) {
```

```
        $factorPotencia[$i] = ($potenciaReactiva[$i] / $potenciaActiva[$i]) * 100;
    }
}
?>
```

6. Se hace uso de PHP para obtener los datos del archivo CSV y los calculados, factor de potencia, en el código JavaScript utilizando la función `json_encode`, que convierte los datos de PHP en formato JSON (JavaScript Object Notation) para que puedan ser utilizados por JavaScript.

```
// Obtener datos de PHP
var fechas = <?php echo json_encode($fechas); ?>;
var potenciaActiva = <?php echo json_encode($potenciaActiva); ?>;
var potenciaReactiva = <?php echo json_encode($potenciaReactiva); ?>;
var factorPotencia = <?php echo json_encode($factorPotencia); ?>;
```

7. Se crean dos estructuras de contenido HTML (`<div>`) para los gráficos de potencia activa y reactiva, y factor de potencia, respectivamente, con clases CSS para aplicar los estilos deseados (`<div class="chart-container">...</div>`).

```
<!-- Crear gráfica de potencia activa y reactiva -->
<div class="chart-container">
    <canvas id="chartPotencia"></canvas>
</div>

<!-- Crear gráfica de factor de potencia -->
<div class="chart-container">
    <canvas id="chartFactorPotencia"></canvas>
</div>
```

8. Se utiliza JavaScript para crear las dos gráficas utilizando la biblioteca Chart.js. Primero, se obtienen los datos de PHP que se obtuvieron en el paso anterior, y luego se utilizan para la configuración de los gráficos. Se realiza una instancia de la clase Chart con un contexto de lienzo (`<canvas>`) y se hace una configuración de las etiquetas de los ejes, los datos, los colores de línea, los del fondo y las opciones de visualización de los gráficos.

```
// Crear gráfica de potencia activa y reactiva
var ctx1 = document.getElementById('chartPotencia').getContext('2d');
var chartPotencia = new Chart(ctx1, {
    type: 'line',
    data: {
        labels: fechas,
        datasets: [{
            label: 'Potencia Activa',
            data: potenciaActiva,
            borderColor: 'blue',
            backgroundColor: 'blue',
```



```
        fill: false
      }, {
        label: 'Potencia Reactiva',
        data: potenciaReactiva,
        borderColor: 'red',
        backgroundColor: 'red',
        fill: false
      }
    ],
    options: {
      responsive: true,
      maintainAspectRatio: false
    }
  });

  // Crear gráfica de factor de potencia
  var ctx2 = document.getElementById('chartFactorPotencia').getContext('2d');
  var chartFactorPotencia = new Chart(ctx2, {
    type: 'line',
    data: {
      labels: fechas,
      datasets: [{
        label: 'Factor de Potencia',
        data: factorPotencia,
        borderColor: 'green',
        backgroundColor: 'green',
        fill: false
      }]
    },
    options: {
      responsive: true,
      maintainAspectRatio: false
    }
  });
</script>
```

9. Se define la función `handleFile()` que se ejecuta cuando se pulsa en el botón "Cargar archivo" creado anteriormente. Esta función obtiene el elemento de entrada de archivo, recupera el archivo seleccionado y crea una instancia de `FileReader` para leer su contenido. Cuando se completa la lectura, se llama a la función `processData()`, que se definirá seguidamente, para procesar los datos del archivo CSV.

```
function handleFile() {
  var fileInput = document.getElementById('fileInput');
  var file = fileInput.files[0];
```

```
if (file) {  
  var reader = new FileReader();  
  reader.onload = function(e) {  
    var contents = e.target.result;  
    processData(contents);  
  };  
  reader.readAsText(file);  
}  
}
```

10. La función `processData(csvContent)` recibe el contenido del archivo CSV. Este se divide en líneas y luego posteriormente en columnas utilizando la función `split()`. A continuación, se crean las variables `fechas`, `potenciaActiva`, `potenciaReactiva` y `factorPotencia` a partir de los datos leídos. Los valores de potencia activa y reactiva se convierten como datos en coma flotante utilizando `parseFloat()`. Finalmente, se llama a la función `updateCharts()`, que se define a continuación, para actualizar las gráficas con los nuevos datos.

```
function processData(csvContent) {  
  var data = csvContent.split('\n').map(function(row) {  
    return row.split(',');  
  });  
  
  var fechas = data.map(function(row) {  
    return row[0];  
  });  
  
  var potenciaActiva = data.map(function(row) {  
    return parseFloat(row[1]);  
  });  
  
  var potenciaReactiva = data.map(function(row) {  
    return parseFloat(row[2]);  
  });  
  
  var factorPotencia = potenciaActiva.map(function(activa, index) {  
    return (potenciaReactiva[index] / activa) * 100;  
  });  
  
  updateCharts(fechas, potenciaActiva, potenciaReactiva, factorPotencia);  
}
```

11. La función `updateCharts(fechas, potenciaActiva, potenciaReactiva, factorPotencia)` recibe los datos actualizados y los asigna a las instancias del Chart. Luego, se llama a `update()` para redibujar las gráficas con los nuevos datos.

```
function updateCharts(fechas, potenciaActiva, potenciaReactiva, factorPotencia) {
```

```
chartPotencia.data.labels = fechas;
chartPotencia.data.datasets[0].data = potenciaActiva;
chartPotencia.data.datasets[1].data = potenciaReactiva;
chartPotencia.update();

chartFactorPotencia.data.labels = fechas;
chartFactorPotencia.data.datasets[0].data = factorPotencia;
chartFactorPotencia.update();
}
```

12. Finalmente, se cierra el bloque de código JavaScript (</script>) y se cierran las etiquetas <body> y <html> de la página web.

```
</script>
</body>
</html>
```

6.7.2-Dirección página web

Mediante la aplicación 000webhost se ha alojado la página web en un servidor de manera gratuita y con la siguiente dirección: <https://tfmadrian.000webhostapp.com/>

6.8-SIMULACIÓN EN EL LABORATORIO

La simulación a realizar en el laboratorio va a servir para comprobar y verificar el funcionamiento del sistema desarrollado. Se va a comprobar lo siguiente:

- Monitorización del consumo desde el SCADA desarrollado, esto confirmará el funcionamiento de los siguientes procesos:
 - Lectura de los parámetros de consumo por parte del PLC y del PAC4200.
 - El programa desarrollado activa las salidas del PLC al superar ciertos límites en el consumo.
 - El SCADA monitoriza correctamente el consumo de la instalación.
- Envío de los avisos por SMS, esto confirmará el funcionamiento de los siguientes procesos:
 - Buena interconexión entre las salidas del controlador y las entradas del CMR2020.
 - Configuración correcta del CMR para el envío de SMS.
- Registro de datos desde el software.
- Representación gráfica de los consumos por parte de la página web.

Para ello se va a llevar a cabo el siguiente proceso del que se obtendrán los siguientes resultados:

1. Conexión en estrella de la carga, mediante el selector situado arriba a la izquierda de la carga (Ilustración 76 Conexión del PAC4200 para medición de la carga monofásica).

2. Conexión de la resistencia: nada más iniciar la monitorización, la resistencia estará conectada y consumiendo 664W, valor menor al límite de potencia contratada previamente configurado en el programa del controlador (750W). La monitorización por parte del SCADA será la siguiente (Ilustración 82 SCADA - Conexión de la resistencia).

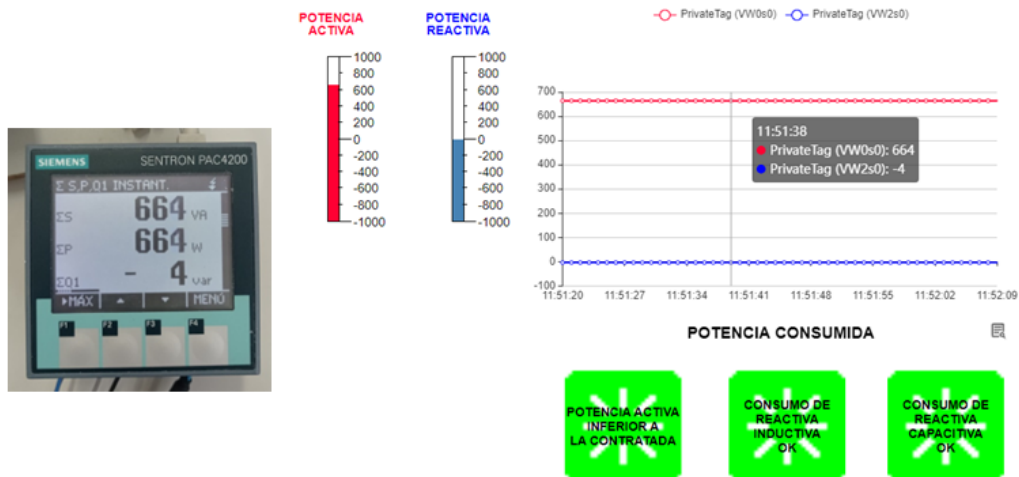


Ilustración 82 SCADA - Conexión de la resistencia

3. Conexión de la resistencia + bobina: trascurrido un determinado tiempo, se conectará la bobina. Ahora la carga estará consumiendo 707W y 719var superando así los límites de potencia reactiva inductiva (Ilustración 83) y activándose el aviso previamente configurado (Ilustración 84).

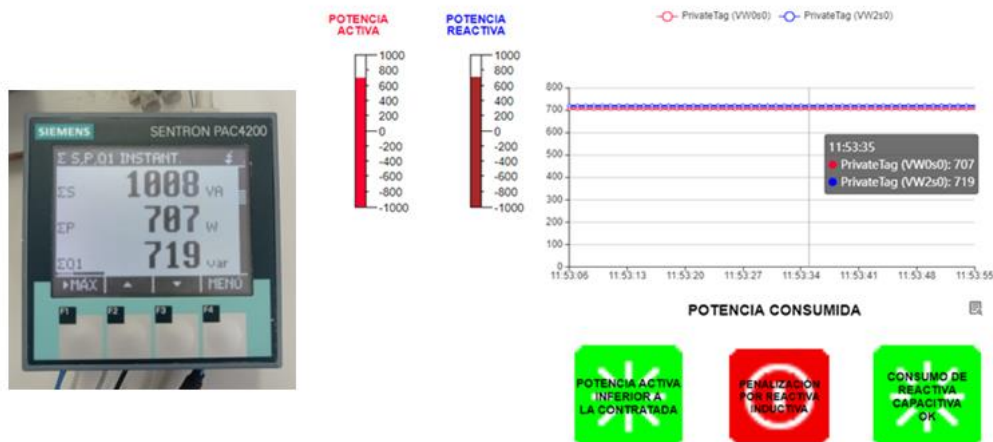


Ilustración 83 SCADA - Conexión resistencia + bobina



Ilustración 84 Aviso SMS por superar el consumo de potencia reactiva inductiva

4. Conexión de la resistencia + bobina + condensador (C2): tras conectar el condensador la carga consumirá 727W y 313var, el aviso generado al superar el límite en el consumo de reactiva inductiva seguirá activado debido a que se sigue superando dicho límite (Ilustración 85).

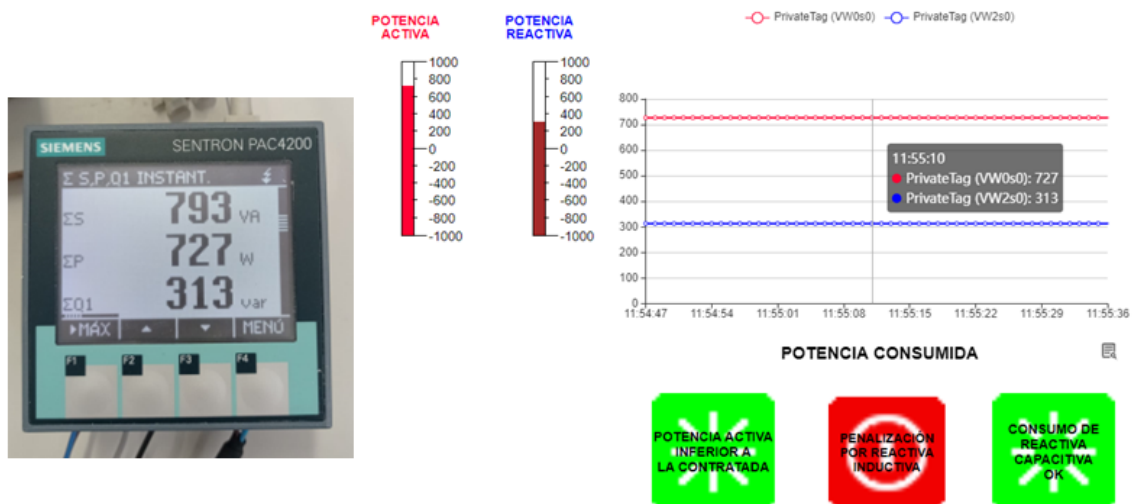


Ilustración 85 SCADA - Conexión resistencia + bobina + condensador (C2)

5. Conexión de la resistencia + bobina + condensador (C2) + condensador (C3): ahora la carga consumirá 725W y 34var, los avisos por superar los límites de consumo de reactiva inductiva se desactivarán (Ilustración 86).

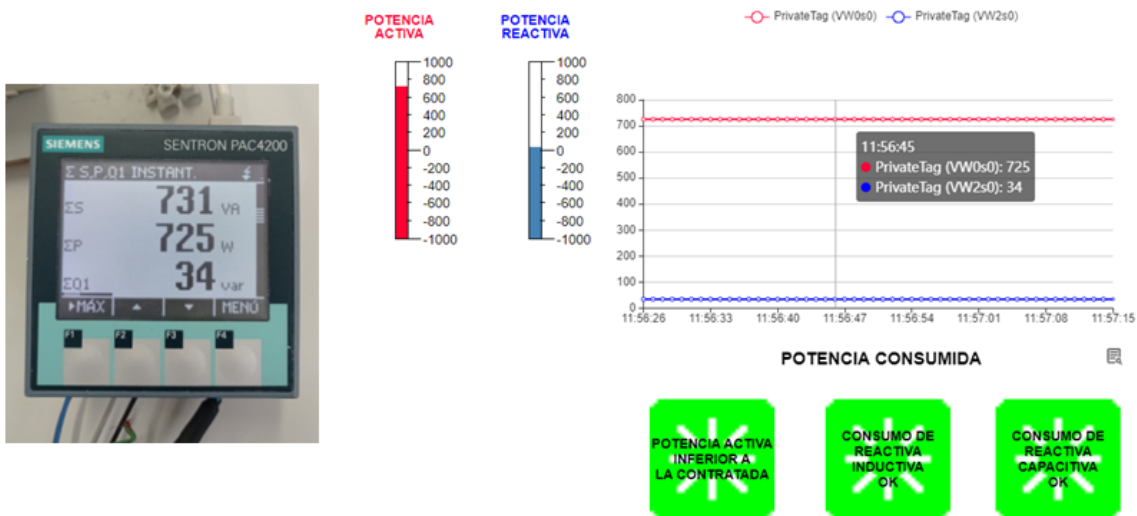


Ilustración 86 SCADA - Conexión resistencia + bobina + condensador (C2) + condensador (C3)

- Registro de los datos medidos y visualización de las gráficas en la página web desarrollada (Ilustración 87).

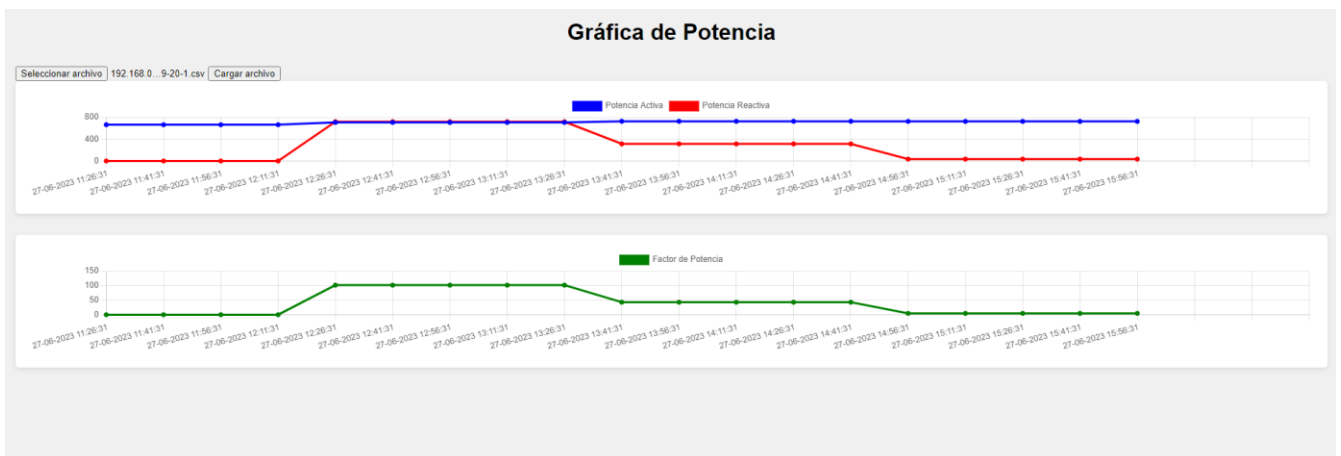


Ilustración 87 Gráficas creadas en la página web

- Por último, se va a desconectar todo y tan solo se va a dejar activado el condensador C2, ahora la carga consumirá 22W y -419Var. De esta forma, se activará el aviso por superar los límites de potencia reactiva capacitiva (Ilustración 88).

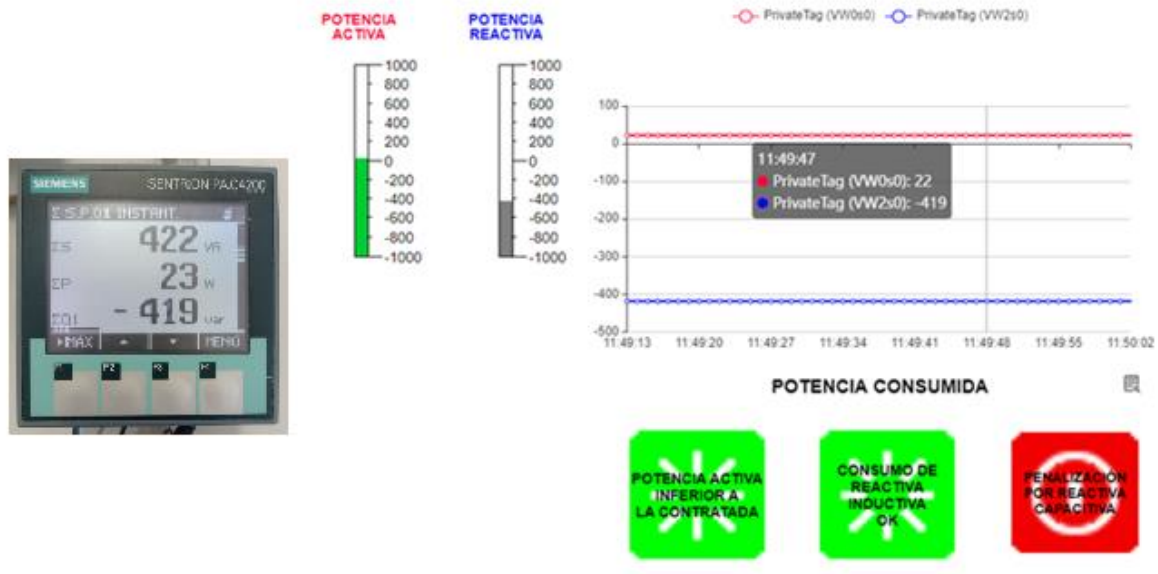


Ilustración 88 SCADA - Conexión C2

6.9-COSTES DE LOS DISPOSITIVOS UTILIZADOS

En el siguiente apartado se recogen los costes de cada uno de los dispositivos utilizados y de la licencia de software empleado, así como el coste total que ha supuesto dicho material (Tabla 1 Costes del hardware y del software usado).

Tabla 1 Costes del hardware y del software usado

	Cantidad (ud)	Precio unitario (€/ud)	Precio (€)
SIEMENS PAC4200	1	1.548,00	1.548,00
LOGO! CMR2020	1	382,00	382,00
LOGO! BM 8	1	124,00	124,00
Cable RJ45 de 1 metro	5	7,00	35,00
Switch ethernet 7 puertos	1	31,00	31,00
LOGO! Soft comfort V8	1	58,32	58,32
Antena GPS	1	19,31	19,31
Antena GPRS/LTE	1	24,35	24,35
		TOTAL	2.221,98

Cabe destacar que el software de Siemens utilizado para la realización del SCADA, Logo Web Editor, viene junto con la licencia del LOGO! Soft comfort V8.

7-POSIBLES MEJORAS

En el presente apartado se van a recoger algunas posibles mejoras a implementar en el sistema de monitorización desarrollado.

7.1-USO DEL SIMATIC IOT2000

El Simatic IOT2000 (Ilustración 89 Simatic IOT2000) es un dispositivo desarrollado por la empresa Siemens que actúa como pasarela entre los sistemas de automatización existentes. Recopila datos de sensores y dispositivos en el entorno industrial y los envía a sistemas de gestión y análisis de datos en la nube o en la red local.



Ilustración 89 Simatic IOT2000

A continuación, se enumeran algunas ventajas que ofrece la integración de este dispositivo en el sistema:

- Transmisión de los datos entre el PAC4200 y el controlador de una forma más confiable y eficiente.
- Almacenamiento de los datos de consumo en la memoria interna del dispositivo para poder generar informes y análisis a largo plazo.
- Análisis preliminares de los datos leídos antes de ser mandados al PLC, reduciendo la carga de procesamiento del controlador y obteniendo respuestas mucho más rápidas.

Aunque las ventajas expuestas pueden resultar atractivas, este dispositivo se integraría al sistema, principalmente, con el objetivo de registrar los datos en tiempo real en un servidor FTP. Este proceso se describe en 7.2-REGISTROS DE DATOS MEDIANTE FTP.

7.2-REGISTROS DE DATOS MEDIANTE FTP

Actualmente, el registro de datos se realiza de forma manual desde el programa LOGO! Soft Comfort generándose un documento .csv que será leído posteriormente por la página web desarrollada. Esto limita la monitorización en tiempo real del consumo eléctrico, haciéndose el proceso muy incómodo e ineficiente.

Para permitir el registro y la lectura automática del consumo de la instalación sin necesidad de intervención del usuario se debe de hacer uso del dispositivo Simatic IOT2000 expuesto en 7.1-USO DEL SIMATIC IOT2000.

Este dispositivo se encargará de leer, mediante Modbus TCP/IP, los consumos de la instalación obtenidos por el PAC4200 y posteriormente registrarlos en un servidor FTP. La página web desarrollada leerá el registro de datos y generará las gráficas de potencia consumida en tiempo real y de forma automática sin necesidad de la intervención del usuario.

7.3-CONTROL DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA

El analizador de red utilizado en el proyecto puede medir la amplitud los armónicos de tensión y de corriente, obteniendo, adicionalmente, la distorsión armónica del consumo de la instalación. Si en el sistema se implementa un control adicional que vigile el valor de este parámetro, se pueden obtener grandes ventajas:

- Mejora de la eficiencia energética: al controlar las distorsiones armónicas se minimiza la pérdida de energía y se optimiza el rendimiento de los distintos equipos.
- Aumento de la vida útil de los equipos: grandes amplitudes en los armónicos pueden provocar un calentamiento excesivo de los equipos, sobrecargándolos y reduciendo su vida útil mediante la aparición prematura de fallos.
- Evitar problemas en el funcionamiento de otros equipos: los armónicos pueden llegar a causar distintos problemas de funcionamiento en otros equipos electrónicos situados cerca o conectados a la misma red.

Sin lugar a duda esta podría ser una gran mejora del sistema desarrollado y muy atractiva para el cliente final.

8-CONCLUSIÓN

El trabajo realizado se ha centrado en la creación de una guía para el desarrollo e implementación de un sistema de monitorización de la energía eléctrica en las distintas instalaciones industriales presentes en una empresa, con el objetivo de obtener una información clara y precisa sobre los consumos energéticos y optimizar los recursos disponibles. De esta forma se consigue hacer frente y mitigar el gran desconocimiento presente en un campo que supone grandes costes.

La monitorización de la energía eléctrica es una práctica fundamental en cualquier instalación industrial, ya que permite identificar áreas de ineficiencia energética, detectar anomalías en el consumo, y tomar decisiones rápidas para reducir costes y mejorar la eficiencia. El sistema implementado proporciona una visión integral de los consumos eléctricos en tiempo real, permitiendo un seguimiento continuo de la energía utilizada en cada equipo de la instalación.

La elección de dispositivos se ha llevado a cabo teniendo presente en todo momento el objetivo de desarrollar un sistema muy robusto y simple, y con una interfaz de programación sencilla y accesible para cualquier usuario sin necesidad de poseer conocimientos previos en dicho campo.

El analizador de red utilizado, PAC4200, desempeña un papel crucial dentro del sistema al capturar los datos de consumo eléctrico deseados para el usuario y que resultan de gran interés para obtener mayor eficiencia dentro de este campo. Con su capacidad de registrar parámetros como la corriente, la tensión, la potencia activa y reactiva, se obtiene una imagen completa del consumo y utilización de la energía en la instalación.

El PLC se encarga de recibir los datos del analizador de red, procesarlos y tomar decisiones en función de las penalizaciones que pueden surgir al superar ciertos umbrales de consumo. Al controlador se le carga un programa desarrollado mediante un software con un entorno de programación sencillo e intuitivo. En dicho programa se leen, mediante ModBus TCP/IP los consumos de potencia activa y reactiva obtenidos por el analizador de red y se activan distintas salidas digitales de PLC si se superan ciertos límites en el consumo que conllevan a penalizaciones en el precio final de la energía.

Las salidas digitales del controlador se conectan a las entradas del CMR2020 que envía mensajes por SMS y correo electrónico, previamente configurados por el usuario, en caso de haberse superado algún límite en el consumo.

Finalmente, mediante un sistema SCADA se monitoriza de forma remota la potencia activa y reactiva consumida por la instalación en tiempo real desde el ordenador o de un teléfono móvil. Adicionalmente, se puede obtener una visión más global del consumo consultando la página web encargada de representar gráficamente la potencia activa, la reactiva y el factor de potencia registrados cada 15 minutos por el PLC.

La implementación de este sistema de monitorización de energía eléctrica proporciona múltiples beneficios a la instalación industrial promoviendo una mayor eficiencia energética al identificar y corregir consumos innecesarios o ineficientes. Esto se traduce en un ahorro de costes significativo a largo plazo, al reducir el consumo de energía y optimizar la gestión de los recursos.

Además, el sistema permite la detección temprana de posibles fallos o problemas en los equipos eléctricos, lo que contribuye a la mejora de la seguridad y la prevención de averías costosas. También posibilita la elección del valor de potencia contratada que más se ajusta a las necesidades de la instalación.

9-BIBLIOGRAFÍA

- Alicia Esparza Peidro. (2020). *Apuntes Automatización de Procesos Industriales Universidad Politécnica de Valencia (UD4)*. Recuperado el 2 de Junio de 2023
- Centro nacional de información de la calidad. (2011). *Los sistemas de gestión energética (SGE)*. Recuperado el 14 de Junio de 2023, de https://www.aec.es/c/document_library/get_file?uuid=88f8ee2e-2656-4e02-aeaa-d081b96f59bd&groupId=10128
- Chart.js. (s.f.). *Librería gráfica JavaScript*. Obtenido de <https://www.chartjs.org/>
- ETAP. (s.f.). *Energy management systems*. Recuperado el 23 de Marzo de 2023, de <https://etap.com/packages/energy-management-system?httpsetapcomdemo-dow=capterra>
- Gökan MAY, Marco Taisch, Dimitris Kiritsis. (Noviembre de 2017). *Energy management in manufacturing: From literature review to a conceptual framework*. Recuperado el 12 de Abril de 2023, de https://www.researchgate.net/publication/310659261_Energy_management_in_manufacturing_From_literature_review_to_a_conceptual_framework
- Hui Yang¹, Soundar Kumara, Satish T.S. Bukkapatnam and Fugee Tsung. (Enero de 2019). *Internet of Things (IoT) for Energy Management in Smart Manufacturing: A Review of Current Status and Future Prospects*. Recuperado el 4 de Abril de 2023, de https://www.researchgate.net/publication/330408457_The_Internet_of_Things_for_Smart_Manufacturing_A_Review
- Inavitas. (s.f.). *Real-Time Energy Intelligence Platform for Businesses*. Recuperado el 1 de Mayo de 2023, de https://info.gartnerdigitalmarkets.com/inavitas-gdm-lp/?category=energy-management&utm_source=capterra
- Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE). (s.f.). *Sector industria y el consumo de energía*. Recuperado el 15 de Marzo de 2023, de <https://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/industria>
- Manuel Alcázar Ortega. (2022). *Apuntes GTDEE Universidad Politécnica de Valencia: Tema 4: Mercados eléctricos*. Recuperado el 15 de Febrero de 2023
- María de los Llanos Matea y Alejandro Muñoz-Julve. (2022). *El gasto energético de las empresas españolas industriales y de servicios*. Recuperado el 4 de Febrero de 2023, de <https://www.bde.es/f/webbde/SES/Secciones/Publicaciones/InformesBoletinesRevistas/ArticulosAnaliticos/22/T4/Fich/be2204-art32.pdf>
- Ministerio de energía y turismo de España. (2017). *Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2017-2020*. Recuperado el 28 de Febrero de 2023
- Naciones Unidas. (2019). *La Agenda para el Desarrollo Sostenible*. Recuperado el 24 de Febrero de 2023, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>

- Organización Internacional de Normalización. (2014). *ISO 50006*. Recuperado el 2 de Marzo de 2023, de <https://parsegroup.ir/wp-content/uploads/2021/07/iso-50006-2014.pdf>
- Organización Internacional de Normalización. (2018). *ISO 50001*. Recuperado el 2 de Marzo de 2023, de https://gabitelingenieros.com/wp-content/uploads/2021/03/ISO-50001_2018-1.pdf
- Rockwell Automation. (s.f.). *Industria 4.0*. Recuperado el 11 de Febrero de 2023, de https://www.rockwellautomation.com/es_es/overview.page?pagetitle=Industria-4.0&docid=8e38c64fdcd2611f7fd788d18f8a7d60
- Saima Aman, Yogesh Simmhan, and Viktor K. Prasanna, University of Southern California. (Enero de 2013). *Ultimate technologies and advances for future smart grid*. Recuperado el 11 de Abril de 2023, de <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6400447>
- Siemens. (2019). *LOGO! Web editor online help*. Recuperado el 12 de Abril de 2023
- Siemens. (2019). *PAC4200 Power monitoring Devise*. Recuperado el 27 de Enero de 2023
- Siemens. (2021). *LOGO! -Industrial Ethernet LOGO! CMR2020, LOGO! CMR2040 Operating instructions*. Recuperado el 13 de Marzo de 2023
- Siemens. (2022). *LOGO! Manual de sistema*. Recuperado el 27 de Abril de 2023
- Siemens. (s.f.). *Industria 4.0*. Obtenido de <https://new.siemens.com/es/es/empresa/temas-clave/industria-40.html>
- SIEMENS. (s.f.). *LOGO! – Modbus/TCP Communication using the Example of SENTRON PAC*. Recuperado el 1 de Marzo de 2023, de [109779762_LOGO_ModbusTCP_DOC_en.pdf](https://www.siemens.com/press/109779762_LOGO_ModbusTCP_DOC_en.pdf)
- Smarkia. (s.f.). *Maximize efficiency and savings*. Recuperado el 1 de Mayo de 2023, de https://info.gartnerdigitalmarkets.com/smarkia-en-gdm-lp?utm_channel=capterra
- W3schools. (Marzo - Abril - Mayo de 2023). *HTML tutorial*. Obtenido de <https://www.w3schools.com/html/default.asp>
- W3schools. (Marzo - Abril - Mayo de 2023). *Java tutorial*. Obtenido de <https://www.w3schools.com/java/default.asp>
- W3schools. (Marzo - Abril - Mayo de 2023). *Php tutorial*. Obtenido de <https://www.w3schools.com/php/default.asp>
- Yiyao Ye Lin. (2021). *Apuntes Instrumentación en Red y Comunicaciones Universidad Politécnica de Valencia*. Recuperado el 23 de Mayo de 2023

PRESUPUESTO

1-JUSTIFICACIÓN DE PRECIOS

Tabla 2 Presupuesto - Alcance e introducción al problema

Nº	Código	Ud	Descripción				Total
			1.1-ALCANCE E INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA				
1.1	1.1	u	Recopilación y estudio de la información				
	1.1.1		15,00	h	Graduado MUII	12,000	180,00
			3,000	%	Costes indirectos	180,00	5,40
			Precio total por u .				185,40
1.2	1.2	u	Redacción técnica				
	1.2.1		10,000	h	Graduado MUII	12,000	120,00
			3,000	%	Costes indirectos	60,000	3,60
			Precio total por u .				123,60
1.3	1.3	u	Recursos utilizados				
	1.3.1		2,100	kWh	Electricidad	0,200	0,42
			3,000	%	Costes indirectos	0,42	0,01
			Precio total por u .				0,43
1.4	1.4	u	Tutorías				
	1.4.1		2,000	h	Graduado MUII	12,000	24,00
	1.4.2		2,000	h	Profesor catedrático UPV	20,000	40,00
			3,000	%	Costes indirectos	64,00	1,80
			Precio total por u .				65,80

Tabla 3 Presupuesto - Lectura y redacción de la normativa

Nº	Código	Ud	Descripción				Total
			1.2-LECTURA Y REDACCIÓN DE LA NORMATIVA				
1.1	1.1	u	Recopilación y estudio de la información				
	1.1.1		8,000	h	Graduado MUII	12,000	96,00
			3,000	%	Costes indirectos	96,00	2,88
			Precio total por u .				98,88
1.2	1.2	u	Redacción técnica				
	1.2.1		4,000	h	Graduado MUII	12,000	48,00
			3,000	%	Costes indirectos	48,000	1,44
			Precio total por u .				49,44
1.3	1.3	u	Recursos utilizados				
	1.3.1		1,900	kWh	Electricidad	0,200	0,38
			3,000	%	Costes indirectos	0,38	0,01
			Precio total por u .				0,39

Tabla 4 Presupuesto - Nociones teóricas

Nº	Código	Ud	Descripción				Total
1.3-NOCIONES TEÓRICAS							
1.1	1.1	u	Recopilación y estudio de la información				
	1.1.1		15,200	h	Graduado MUII	12,000	182,40
			3,000	%	Costes indirectos	182,400	5,47
Precio total por u .						187,87	
1.2	1.2	u	Redacción técnica				
	1.2.1		25,000	h	Graduado MUII	12,000	300,00
			3,000	%	Costes indirectos	300,000	9,00
Precio total por u .						309,00	
1.3	1.3	u	Recursos utilizados				
	1.3.1		5,100	kWh	Electricidad	0,200	1,02
			3,000	%	Costes indirectos	1,020	0,03
Precio total por u .						1,05	
1.4	1.4	u	Tutorías				
	1.4.1		2,000	h	Graduado MUII	12,000	24,00
	1.4.2		2,000	h	Profesor catedrático UPV	20,000	40,00
			3,000	%	Costes indirectos	64,00	1,92
Precio total por u .						65,92	

Tabla 5 Presupuesto - Diseño del sistema de monitorización

Nº	Código	Ud	Descripción				Total
			1.4-DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN				
1.1	1.1	u	Recopilación y estudio de la información				
	1.1.1		7,500	h	Graduado MUII	12,000	90,00
			3,000	%	Costes indirectos	90,000	2,70
			Precio total por u .			92,70	
1.2	1.2	u	Redacción técnica				
	1.2.1		5,000	h	Graduado MUII	12,000	60,00
			3,000	%	Costes indirectos	60,00	1,80
			Precio total por u .			61,80	
1.3	1.3	u	Recursos utilizados				
	1.3.1		1,100	kWh	Electricidad	0,200	0,22
			3,000	%	Costes indirectos	0,220	0,01
			Precio total por u .			0,23	
1.4	1.4	u	Tutorías				
	1.4.1		3,000	h	Graduado MUII	12,000	24,00
	1.4.2		3,000	h	Profesor catedrático UPV	20,000	60,00
			3,000	%	Costes indirectos	84,00	2,52
			Precio total por u .			86,52	

Tabla 6 Presupuesto - Instalación y puesta en marcha

Nº	Código	Ud	Descripción				Total
1.5-INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA							
1.1	1.1	u	Estudio e instalación de los dispositivos				
	1.1.1		10,000	h	Graduado MUII	12,000	120,00
			3,000	%	Costes indirectos	182,400	3,60
Precio total por u .						123,60	
1.2	1.2	u	Redacción técnica				
	1.2.1		5,000	h	Graduado en MUII	12,000	60,00
			3,000	%	Costes indirectos	60,00	1,80
Precio total por u .						61,80	
1.3	1.3	u	Recursos utilizados				
	1.3.1		1,30	kWh	Electricidad	0,200	0,26
			1	u	Hardware utilizado	2.163,660	2.163,66
			3,000	%	Costes indirectos	2.163,920	64,91
Precio total por u .						2.228,83	
1.4	1.4	u	Tutorías				
	1.4.1		4,000	h	Graduado MUII	12,000	48,00
	1.4.2		4,000	h	Profesor catedrático UPV	20,000	80,00
			3,000	%	Costes indirectos	128,000	3,84
Precio total por u .						131,84	

Tabla 7 Presupuesto - Programación PLC

Nº	Código	Ud	Descripción				Total
			1.6-PROGRAMACIÓN PLC				
1.1	1.1	u	Estudio y desarrollo del código				
	1.1.1		20,000	h	Graduado MUII	12,000	240,00
			3,000	%	Costes indirectos	240,000	7,20
			Precio total por u .			247,20	
1.2	1.2	u	Redacción técnica				
	1.2.1		25,000	h	Graduado en MUII	12,000	300,00
			3,000	%	Costes indirectos	300,000	9,00
			Precio total por u .			309,00	
1.3	1.3	u	Recursos utilizados				
	1.3.1		5,100	kWh	Electricidad	0,200	1,02
			1	u	Software utilizado	56,320	56,32
			3,000	%	Costes indirectos	57,320	1,72
			Precio total por u .			59,06	
1.4	1.4	u	Tutorías				
	1.4.1		2,000	h	Graduado MUII	12,000	24,00
	1.4.2		2,000	h	Profesor catedrático UPV	20,000	40,00
			3,000	%	Costes indirectos	64,000	1,92
			Precio total por u .			65,92	

Tabla 8 Presupuesto - Programación página web

Nº	Código	Ud	Descripción				Total
			1.7-PROGRAMACIÓN PÁGINA WEB				
1.1	1.1	u	Estudio y desarrollo del código				
	1.1.1		30,00	h	Graduado MUII	12,000	360,00
			3,000	%	Costes indirectos	360,000	10,80
			Precio total por u .			370,80	
1.2	1.2	u	Redacción técnica				
	1.2.1		10,000	h	Graduado MUII	12,000	120,00
			3,000	%	Costes indirectos	120,000	3,60
			Precio total por u .			123,60	
1.3	1.3	u	Recursos utilizados				
	1.3.1		3,100	kWh	Electricidad	0,200	0,62
			3,000	%	Costes indirectos	0,620	0,02
			Precio total por u .			0,64	

Tabla 9 Presupuesto - Pruebas en el laboratorio

Nº	Código	Ud	Descripción				Total
			1.8-PRUEBAS EN EL LABORATORIO				
1.1	1.1	u	Desarrollo de las pruebas				
	1.1.1		12,500	h	Graduado MUII	12,000	150,00
			3,000	%	Costes indirectos	150,000	4,50
			Precio total por u .			154,50	
1.2	1.2	u	Redacción técnica				
	1.2.1		10,000	h	Graduado MUII	12,000	120,00
			3,000	%	Costes indirectos	120,00	3,60
			Precio total por u .			123,60	
1.3	1.3	u	Recursos utilizados				
	1.3.1		8,000	kWh	Electricidad	0,200	1,60
			3,000	%	Costes indirectos	1,600	0,05
			Precio total por u .			1,65	
1.4	1.4	u	Tutorías				
	1.4.1		4,000	h	Graduado MUII	12,000	48,00
	1.4.2		4,000	h	Profesor catedrático UPV	20,000	80,00
			3,000	%	Costes indirectos	128,000	3,84
			Precio total por u .			131,84	

Tabla 10 Presupuesto - Elaboración del presupuesto

Nº	Código	Ud	Descripción				Total
			1.9-ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO				
1.1	1.1	u	Recopilación y estudio de la información				
	1.1.1		4,000	h	Graduado MUII	12,000	48,00
			3,000	%	Costes indirectos	48,000	1,44
			Precio total por u .			98,88	
1.2	1.2	u	Redacción técnica				
	1.2.1		7,000	h	Graduado MUII	12,000	84,00
			3,000	%	Costes indirectos	84,000	2,52
			Precio total por u .			86,52	
1.3	1.3	u	Recursos utilizados				
	1.3.1		1,900	kWh	Electricidad	0,200	0,38
			3,000	%	Costes indirectos	0,38	0,01
			Precio total por u .			0,39	

2-PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN, DE CONTRATA Y DE BASE DE LICITACIÓN

Tabla 11 Presupuesto de ejecución, de contrata y de base de licitación

Descripción		Cantidad	Importe €
Presupuesto de ejecución del material			5.648,70
	1.1-Alcance e introducción al problema		375,23
	1.2-Lectura y redacción de la normativa		148,71
	1.3-Nociones teóricas		563,84
	1.4-Diseño del sistema de monitorización		241,25
	1.5-Instalación y puesta en marcha		2.546,07
	1.6-Programación plc		681,18
	1.7-Programación página web		495,04
	1.8-Pruebas en el laboratorio		411,59
	1.9-Elaboración del presupuesto		185,79
Gastos generales		12 %	580,73
Beneficio industrial		6 %	290,36
Presupuesto de ejecución por contrata			6.665,47
I.V.A.		21 %	1.399,75
Presupuesto base de licitación			8.065,21

ANEJOS

ANEJO 1

A continuación, se recoge el código desarrollado para la creación de la página web:

```
<!DOCTYPE html>

<html>

<head>

  <title>Monitorización del consumo eléctrico</title>

  <script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/Chart.js/3.7.1/chart.min.js"></script>

  <style>

    body {

      font-family: Arial, sans-serif;

      margin: 0;

      padding: 20px;

      background-color: #f0f0f0;

    }

    h1 {

      text-align: center;

      margin-bottom: 30px;

    }

    .chart-container {

      background-color: #fff;

      border-radius: 5px;

      box-shadow: 0 2px 6px rgba(0, 0, 0, 0.1);

      padding: 20px;

      margin-bottom: 30px;

    }

  </style>

</head>

</html>
```

```
    canvas {
        max-width: 100%;
    }
</style>
</head>
<body>
    <h1>Gráfica de Potencia</h1>

    <input type="file" id="fileInput" accept=".csv">
    <button onclick="handleFile()">Cargar archivo</button>

    <?php
// Verificación de si se ha subido un archivo CSV
if (isset($_FILES['csvFile'])) {
    $csvFile = $_FILES['csvFile']['tmp_name']; // Ruta al archivo CSV
    $data = array_map('str_getcsv', file($csvFile));
    $fechas = array_column($data, 0); // Columna de fechas
    $potenciaActiva = array_column($data, 1); // Columna de potencia activa
    $potenciaReactiva = array_column($data, 2); // Columna de potencia reactiva

    // Cálculo del factor de potencia (potencia reactiva / potencia activa) * 100
    $factorPotencia = array();
    for ($i = 0; $i < count($potenciaActiva); $i++) {
        $factorPotencia[$i] = ($potenciaReactiva[$i] / $potenciaActiva[$i]) * 100;
    }
} else {
    // Datos de archivo CSV por defecto
    $csvFile = 'datos.csv'; // Ruta al archivo CSV
    $data = array_map('str_getcsv', file($csvFile));
    $fechas = array_column($data, 0); // Columna de fechas
```

```
$potenciaActiva = array_column($data, 1); // Columna de potencia activa
$potenciaReactiva = array_column($data, 2); // Columna de potencia reactiva

// Cálculo del factor de potencia (potencia reactiva / potencia activa) * 100
$factorPotencia = array();
for ($i = 0; $i < count($potenciaActiva); $i++) {
    $factorPotencia[$i] = ($potenciaReactiva[$i] / $potenciaActiva[$i]) * 100;
}
}
?>

<!-- Crear gráfica de potencia activa y reactiva -->
<div class="chart-container">
    <canvas id="chartPotencia"></canvas>
</div>

<!-- Crear gráfica de factor de potencia -->
<div class="chart-container">
    <canvas id="chartFactorPotencia"></canvas>
</div>

<script>
// Obtener datos de PHP
var fechas = <?php echo json_encode($fechas); ?>;
var potenciaActiva = <?php echo json_encode($potenciaActiva); ?>;
var potenciaReactiva = <?php echo json_encode($potenciaReactiva); ?>;
var factorPotencia = <?php echo json_encode($factorPotencia); ?>;

// Crear gráfica de potencia activa y reactiva
var ctx1 = document.getElementById('chartPotencia').getContext('2d');
```

```
var chartPotencia = new Chart(ctx1, {
  type: 'line',
  data: {
    labels: fechas,
    datasets: [{
      label: 'Potencia Activa',
      data: potenciaActiva,
      borderColor: 'blue',
      backgroundColor: 'blue',
      fill: false
    }, {
      label: 'Potencia Reactiva',
      data: potenciaReactiva,
      borderColor: 'red',
      backgroundColor: 'red',
      fill: false
    }
  ]
},
  options: {
    responsive: true,
    maintainAspectRatio: false
  }
});

// Crear gráfica de factor de potencia
var ctx2 = document.getElementById('chartFactorPotencia').getContext('2d');
var chartFactorPotencia = new Chart(ctx2, {
  type: 'line',
  data: {
    labels: fechas,
```

```
    datasets: [{
      label: 'Factor de Potencia',
      data: factorPotencia,
      borderColor: 'green',
      backgroundColor: 'green',
      fill: false
    }]
  },
  options: {
    responsive: true,
    maintainAspectRatio: false
  }
});

function handleFile() {
  var fileInput = document.getElementById('fileInput');
  var file = fileInput.files[0];

  if (file) {
    var reader = new FileReader();
    reader.onload = function(e) {
      var contents = e.target.result;
      processData(contents);
    };
    reader.readAsText(file);
  }
}

function processData(csvContent) {
  var data = csvContent.split('\n').map(function(row) {
```

```
    return row.split(',');
  });

  var fechas = data.map(function(row) {
    return row[0];
  });

  var potenciaActiva = data.map(function(row) {
    return parseFloat(row[1]);
  });

  var potenciaReactiva = data.map(function(row) {
    return parseFloat(row[2]);
  });

  var factorPotencia = potenciaActiva.map(function(activa, index) {
    return (potenciaReactiva[index] / activa) * 100;
  });

  updateCharts(fechas, potenciaActiva, potenciaReactiva, factorPotencia);
}

function updateCharts(fechas, potenciaActiva, potenciaReactiva, factorPotencia) {
  chartPotencia.data.labels = fechas;
  chartPotencia.data.datasets[0].data = potenciaActiva;
  chartPotencia.data.datasets[1].data = potenciaReactiva;
  chartPotencia.update();

  chartFactorPotencia.data.labels = fechas;
  chartFactorPotencia.data.datasets[0].data = factorPotencia;
```

```
    chartFactorPotencia.update();  
  }  
</script>  
  
</body>  
</html>
```