



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Diseño de un sistema de adquisición de datos  
aprovechando la infraestructura de automatización  
industrial existente para el estudio y optimización de la  
gestión energética en  
entornos industriales.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

AUTOR/A: Ruiz Gimeno, Carla

Tutor/a: Sapena Bañó, Ángel

Cotutor/a: Burriel Valencia, Jordi

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

# Diseño de un sistema de adquisición de datos aprovechando la infraestructura de automatización industrial existente para el estudio y optimización de la gestión energética en entornos industriales

## **AGRADECIMIENTOS**

A Ángel y Jordi, por su tiempo y paciencia.

A mi familia, por su apoyo incondicional.

A mis amigos, por acompañarme en este proceso.

## **RESUMEN**

La gestión energética en entornos industriales es de gran importancia debido al impacto que puede tener en los costes operativos, la productividad y el medio ambiente. Por tanto, en el presente proyecto se procederá a realizar el diseño de un sistema de adquisición de datos aprovechando la infraestructura de automatización existente en una planta industrial. El sistema de adquisición de datos consiste en un programa informático que establece una comunicación entre los distintos equipos de automatización con el fin de realizar mediciones de los parámetros necesarios para el estudio del gasto energético de una planta. Para poder diseñar dicho programa se analizarán, en primer lugar, los equipos que cuentan con mayor presencia en plantas industriales, así como las comunicaciones entre dichos aparatos y las variables cuyo estudio resulta imprescindible para conocer el consumo de energía. A continuación, con toda la información recogida mediante los estudios, se desarrollará el programa informático mediante el software TiaPortals. Por último, para la elección de una base de datos adecuada para esta aplicación se llevará a cabo un estudio de las posibles alternativas. Para concluir, cabe destacar que la alternativa a la recogida de datos propuesta en este proyecto presenta grandes ventajas respecto a la situación actual de medición de parámetros en el proceso de una auditoría energética. Entre dichos beneficios se encuentran, entre otros, la obtención de curvas de carga y balances de consumo con mayor precisión, la posibilidad de crear un historial para detectar anomalías y la obtención de feedback inmediato.

**Palabras clave:** consumo, energía, automatización, base de datos, variables de estudio.

## **RESUM**

La gestió energètica en entorns industrials és de gran importància a causa de l'impacte que pot tindre en els costos operatius, la productivitat i el medi ambient. Per tant, en el present projecte es procedirà a realitzar el disseny d'un sistema d'adquisició de dades aprofitant la infraestructura d'automatització existent en una planta industrial. El sistema d'adquisició de dades consisteix en un programa informàtic que estableix una comunicació entre els diferents equips d'automatització amb la finalitat de realitzar mesuraments dels paràmetres necessaris per a l'estudi de la despesa energètica d'una planta. Per a poder dissenyar aquest programa s'analitzaran en primer lloc, els equips que compten amb major presència en plantes industrials, així com les comunicacions entre aquests aparells i les variables l'estudi de les quals resulta imprescindible per a conèixer el consum d'energia. A continuació, en l'informació recopilada mitjançant els estudis, es desenvoluparà el programa informàtic mitjançant el software TiaPortal. Per últim, per a l'elecció d'una base de dades adequada per a aquesta aplicació es durà a terme un estudi de les possibles alternatives. Per a concloure, cal destacar que l'alternativa proposada en aquest projecte presenta grans avantatges respecte a la situació actual de mesurament de paràmetres en el procés d'una auditoria energètica. Entre aquests beneficis es troben, entre altres, l'obtenció de corbes de càrrega i balanços de consum amb major precisió, la possibilitat de crear un historial per a detectar anomalies i l'obtenció de feedback immediat.

**Paraules clau:** consum, energia, automatització, bases de dades, variables d'estudi.

### **ABSTRACT**

Energy management in industrial environments is of great importance due to the impact it can have on operating costs, productivity, and the environment. Therefore, in this project, a data acquisition system will be designed using the existing automation infrastructure in an industrial plant. The data acquisition system consists of a computer programme that establishes communication between the different automation equipment in order to take measurements of the parameters necessary to study the energy consumption of a plant. Firstly, to design this programme, we will analyse the equipment that is most widely used in industrial plants, as well as the communications between these devices and the variables whose study is essential to know the energy consumption. Next, with all the information obtained before, the program will be designed using TiaPortals. In last place, to choose a suitable database for this application, a study of the possible alternatives will be carried out. In conclusion, it should be noted that the alternative proposed in this project has great advantages over the current situation of measuring parameters in the process of an energy audit. These benefits include, among others, obtaining load curves and consumption balances with greater precision, the possibility of creating a history to detect anomalies and obtaining immediate feedback.

**Keywords:** consumption, energy, automation, database, study variables.

## ÍNDICE

### Índice de Documentos

Documento 1: Memoria

Documento 2: Presupuesto

Documento 3: Anexo I

### Índice de la Memoria

<b>1. Introducción</b>	17
1.1. Problemática energética en Europa	17
1.1.1. Consumo de energía en Europa	17
1.1.2. Combustibles fósiles	18
1.1.3. Crecimiento económico y consumo de energía	19
1.1.4. Objetivos de Desarrollo Sostenible	20
1.2. Estrategias para la mitigación del problema energético	21
1.2.1. Energías renovables	21
1.2.2. Eficiencia energética	22
1.3. Auditorías energéticas	22
1.3.1. Definición	22
1.3.2. Procedimiento	23
1.3.3. Problemática en el proceso de medición	25
1.4. Automatización industrial	26
<b>2. Objetivos</b>	27
2.1. Objetivo principal	27
2.2. Objetivos parciales	27
<b>3. Metodología</b>	28
3.1. Estudio de los equipos con mayor presencia en las plantas industriales	29
3.2. Introducción a la aplicación práctica. Equipos disponibles en el laboratorio	32
3.2.1. Equipos más importantes de la placa	34
3.3. Análisis de alternativas: Elección de las variables de interés para el estudio del consumo energético	35
3.3.1. Estudios del consumo de energía en auditorías energéticas	36

3.3.2. Visión general del consumo.....	37
3.3.3. Componentes del consumo de energía .....	39
3.3.3.1. Potencia consumida (curvas de carga).....	39
3.3.3.2. Tensión de red.....	40
3.3.3.3. Factor de potencia.....	41
3.3.3.4. Intensidades de línea.....	43
3.3.3.5. Armónicos .....	44
3.4. Aplicación práctica. Variables de estudio .....	44
3.4.1. Analizador de energía .....	45
3.4.2. Tesys U. Contactores .....	47
3.4.3. Variador de frecuencia.....	47
3.5. Conocimientos previos. Estructura de automatización y comunicaciones ....	49
3.5.1. Estructura de automatización industrial.....	49
3.5.2. Tipo de comunicación.....	51
3.6. Aplicación práctica. Diseño del programa informático .....	51
3.6.1. Descripción .....	52
3.6.2. Conexiones y comunicaciones entre los dispositivos de la placa.....	52
3.6.3. Parámetros de diseño .....	53
3.6.4. Configuración de las variables. Direcciones de memoria .....	53
3.6.5. Estructura del programa. Estados .....	55
3.6.5.1. Estado 0. Configuración del MODBUS .....	57
3.6.5.2. Configuración de las llamadas a esclavos .....	58
3.6.5.3. Estado 1 .....	59
3.6.5.4. Estado 2 .....	59
3.6.5.5. Estado 3 .....	60
3.6.5.6. Estado 4 .....	61
3.6.5.7. Estado 5 .....	61
3.6.5.8. Estado 6 .....	62
3.6.5.9. Estado 7 .....	63
3.7. Estudio de alternativas para la elección de una base de datos .....	65
3.7.1. Tipos de bases de datos.....	65

3.7.2. Bases de datos SQL. Elección del software.....	67
<b>4. Resultados</b> .....	70
4.1. Comparación de la alternativa propuesta con la situación actual .....	70
<b>5. Conclusión</b> .....	72
<b>6. Bibliografía</b> .....	73

### **Índice del Presupuesto**

1. Introducción .....	78
2. Costes salariales .....	78
3. Coste material .....	79
4. Coste total .....	79

## **ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS**

### **Índice de Figuras**

Figura 1: Consumo de energía final en la Unión Europea.....	17
Figura 2: Energía disponible para el suministro en la Unión Europea .....	18
Figura 3: Intensidad energética en la Unión Europea.....	19
Figura 4: Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	20
Figura 5: Flujograma de una auditoría industria.....	24
Figura 6: Ejemplo de proceso de una auditoría .....	25
Figura 7: Flujo del funcionamiento de la alternativa propuesta .....	28
Figura 8: Placa de prueba del laboratorio .....	32
Figura 9: Esquema de potencia de la instalación .....	33
Figura 10: Ejemplo de una curva de carga .....	39
Figura 11: Ejemplo de una medición de la tensión.....	41
Figura 12: Ejemplo de una medición del factor de potencia .....	41
Figura 13: Triángulo de energías .....	42
Figura 14: Ejemplo de una medición de intensidades de línea.....	43
Figura 15: Ejemplo de una medición de los armónicos.....	44
Figura 16: Magnitudes por fase .....	45
Figura 17: Magnitudes Totales .....	46
Figura 18: Armónicos .....	46
Figura 19: Energías .....	47
Figura 20: Contenido de estado para el perfil DCU .....	48
Figura 21: Flujo de la evolución de la industria .....	49
Figura 22: Estructura de automatización Industria 3.0.....	50
Figura 23: Ejemplo de conexionado del protocolo Modbus RS485.....	51
Figura 24: Esquema de conexión RS485.....	52
Figura 25: Comunicación entre los niveles de la estructura de automatización....	53
Figura 26: Variables “ae armónicos” .....	54
Figura 27: Variables “ae líneas” .....	54

Figura 28: Variables “ae consumo B1” .....	54
Figura 29: Variables “ae consumo B2” .....	54
Figura 30: Variables “ae energía”.....	54
Figura 31: Variables variador .....	55
Figura 32: Funcionamiento de los estados del programa .....	55
Figura 33: Graficet programa informático .....	56
Figura 34: Transición 0-1 .....	57
Figura 35: Programa. Estado 0 .....	57
Figura 36: Bloque de datos MasterControl.....	58
Figura 37: Programa. Estado 1 .....	58
Figura 38: Función auxiliar. Encender bombilla .....	59
Figura 39: Programa. Estado 2 .....	60
Figura 40: Programa. Estado 3 .....	60
Figura 41: Programa. Estado 4 .....	61
Figura 42: Programa. Estado 5 .....	62
Figura 43: Programa. Estado 6 .....	62
Figura 44: Programa. Estado 7 .....	63
Figura 45: Llamada a la función auxiliar “guardar valores vf” .....	63
Figura 46: Función guardar valores 1 .....	64
Figura 47: Función guardar valores 2 .....	64
Figura 48: Bases de datos SQL.....	67

## Índice de Tablas

Tabla 1: Industria petrolífera .....	30
Tabla 2: Industria cerámica.....	31
Tabla 3: Industria de energías renovables.....	31
Tabla 4: Industria química .....	31
Tabla 5: Industria alimenticia .....	31
Tabla 6: Industria automovilística .....	32
Tabla 7: Autómatas presentes en la placa de laboratorio.....	33
Tabla 8: Datos de consumo energético .....	37
Tabla 9: Distribución del consumo eléctrico por actividad .....	37
Tabla 10: Distribución del consumo térmico por actividad.....	38

## **SÍMBOLOS Y NOMENCLATURA**

- **UE:** Unión Europea.
- **PIB:** Producto interior bruto.
- **ODS:** Objetivos de Desarrollo Sostenible.
- **IDAE:** Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- **LCA:** Life Cycle Assessment.
- **PLC:** Programmable Logic Controller.

# **DOCUMENTO 1: MEMORIA**

## ÍNDICE

### Índice de Documentos

Documento 1: Memoria

Documento 2: Presupuesto

Documento 3: Anexo

### Índice de la Memoria

<b>1. Introducción</b> .....	17
1.1. Problemática energética en Europa .....	17
1.1.1. Consumo de energía en Europa .....	17
1.1.2. Combustibles fósiles .....	18
1.1.3. Crecimiento económico y consumo de energía .....	19
1.1.4. Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	20
1.2. Estrategias para la mitigación del problema energético.....	21
1.2.1. Energías renovables .....	21
1.2.2. Eficiencia energética.....	22
1.3. Auditorías energéticas .....	22
1.3.1. Definición .....	22
1.3.2. Procedimiento .....	23
1.3.3. Problemática en el proceso de medición .....	25
1.4. Automatización industrial .....	26
<b>2. Objetivos</b> .....	27
2.1. Objetivo principal.....	27
2.2. Objetivos parciales .....	27
<b>3. Metodología</b> .....	28
3.1. Estudio de los equipos con mayor presencia en las plantas industriales.....	29
3.2. Introducción a la aplicación práctica. Equipos disponibles en el laboratorio	32
3.2.1. Equipos más importantes de la placa.....	34
3.3. Análisis de alternativas: Elección de las variables de interés para el estudio del consumo energético.....	35
3.3.1. Estudios del consumo de energía en auditorías energéticas .....	36

3.3.2. Visión general del consumo.....	37
3.3.3. Componentes del consumo de energía .....	39
3.3.3.1. Potencia consumida (curvas de carga).....	39
3.3.3.2. Tensión de red.....	40
3.3.3.3. Factor de potencia.....	41
3.3.3.4. Intensidades de línea.....	43
3.3.3.5. Armónicos .....	44
3.4. Aplicación práctica. Variables de estudio .....	44
3.4.1. Analizador de energía .....	45
3.4.2. Tesys U. Contactores .....	47
3.4.3. Variador de frecuencia.....	47
3.5. Conocimientos previos. Estructura de automatización y comunicaciones ....	49
3.5.1. Estructura de automatización industrial.....	49
3.5.2. Tipo de comunicación.....	51
3.6. Aplicación práctica. Diseño del programa informático .....	51
3.6.1. Descripción .....	52
3.6.2. Conexiones y comunicaciones entre los dispositivos de la placa.....	52
3.6.3. Parámetros de diseño .....	53
3.6.4. Configuración de las variables. Direcciones de memoria .....	53
3.6.5. Estructura del programa. Estados .....	55
3.6.5.1. Estado 0. Configuración del MODBUS .....	57
3.6.5.2. Configuración de las llamadas a esclavos .....	58
3.6.5.3. Estado 1 .....	59
3.6.5.4. Estado 2 .....	59
3.6.5.5. Estado 3 .....	60
3.6.5.6. Estado 4 .....	61
3.6.5.7. Estado 5 .....	61
3.6.5.8. Estado 6 .....	62
3.6.5.9. Estado 7 .....	63
3.7. Estudio de alternativas para la elección de una base de datos .....	64
3.7.1. Tipos de bases de datos.....	65

3.7.2. Bases de datos SQL. Elección del software.....	68
<b>4. Resultados</b> .....	70
4.1. Comparación de la alternativa propuesta con la situación actual .....	70
<b>5. Conclusión</b> .....	72
<b>6. Bibliografía</b> .....	73

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

### 1.1-PROBLEMÁTICA ENERGÉTICA EN EUROPA

El consumo excesivo de energía es una de las grandes preocupaciones que concierne a la sociedad actual. Las fuentes de energía existentes no son capaces de garantizar el abastecimiento futuro, ya que los combustibles fósiles son finitos y a ello se suma el hecho de que las centrales de energía renovable existentes no son capaces de abastecer la demandada energética.

#### 1.1.1-Consumo de energía en Europa

La Unión Europea sufre una importante crisis energética que con el comienzo de la guerra en Ucrania se vio acentuada, aumentando así la incertidumbre acerca de la sostenibilidad del suministro de energía.

En la figura 1 se presenta el consumo de energía final de la UE “Unión Europea”, aproximadamente 40.000 PJ. Por otro lado, la figura 2 indica la energía disponible para el suministro, contando la necesaria para la transformación de energía y las pérdidas en transformación y transporte, así como la energía comprada en el país utilizada en otro sitio, esta cantidad ronda los 60.000 PJ. Al compararse ambas gráficas, se observa una tendencia decreciente en la cantidad de energía disponible y como el consumo también tiende a reducirse, pero en menor proporción. Por tanto, si no se toman medidas contra el uso excesivo de energía, con el paso del tiempo podría alcanzarse el punto de no ser capaces de abastecer la demanda.

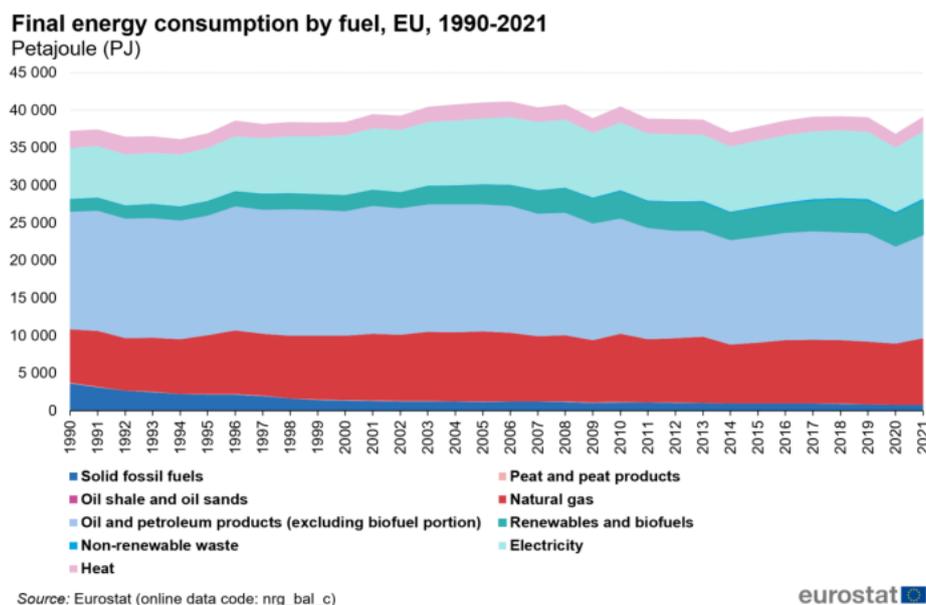


Figura 1: Consumo de energía final en la Unión Europea. [1]

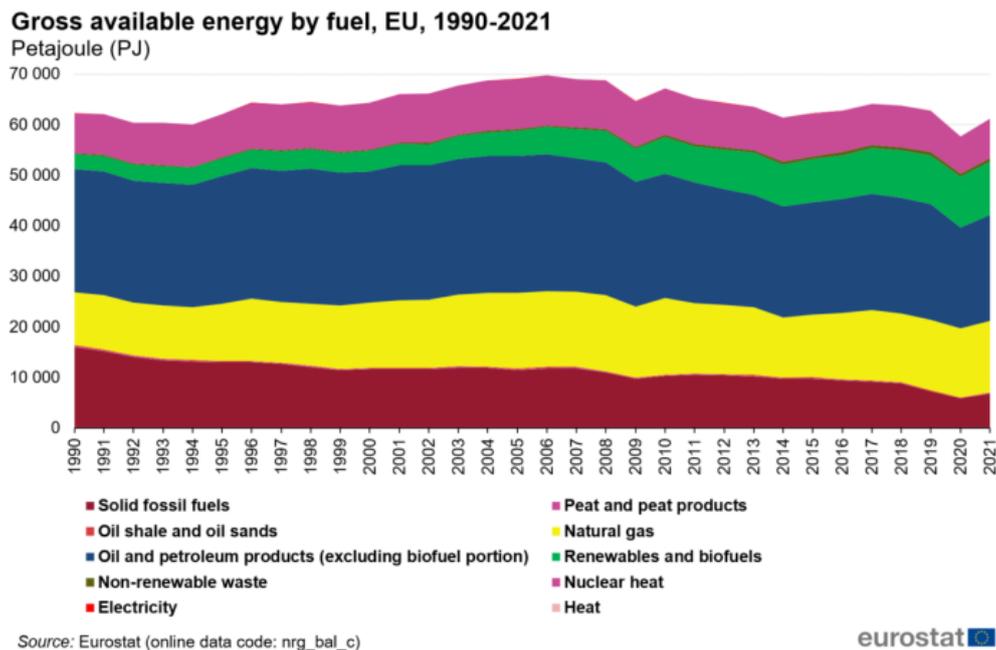


Figura 2: Energía disponible para el suministro en la Unión Europea [1]

### 1.1.2- Combustibles fósiles

La figura 2 muestra la dependencia europea de los combustibles fósiles, siendo estos los que cuentan con una mayor contribución a la cantidad de energía disponible, un 68.4%. En otras, palabras, casi tres cuartos de los suministros energéticos de la Unión Europea provienen de hidrocarburos.

Desde los inicios de la industria, los combustibles fósiles han cubierto las necesidades energéticas derivadas de la demanda del mercado. Este modelo de energía presenta severos inconvenientes medioambientales y sociales. El uso masivo de hidrocarburos no renovables cuya combustión libera ingentes cantidades de gases, ha acelerado el denominado efecto invernadero. Además, los yacimientos de estos carburantes se localizan en lugares muy concretos del planeta, lo que deriva en conflictos por su control y explotación. Por otro lado, como ya se ha indicado con anterioridad, no son renovables. Consecuentemente, el actual modelo de explotación de los combustibles fósiles implica un agotamiento de los recursos tensionando el mercado, es decir, causando inestabilidad en sus precios y escasez para el futuro. Por ello, es de vital importancia no solo recurrir a otro tipo de fuentes de energía que permitan aminorar la dependencia europea de los hidrocarburos, sino también reducir el consumo energético en términos generales. Disminuyendo el gasto de energía se consigue aligerar la problemática relacionada con la sostenibilidad del suministro y, a pesar de que la mayor parte de la energía continúe siendo de origen fósil, se disminuyen los problemas de emisiones.

### 1.1.3- Crecimiento económico y consumo de energía

El crecimiento económico y el consumo de energía son conceptos estrechamente relacionados. El crecimiento económico conlleva un aumento en la producción que, de forma convencional, ha derivado en un incremento en el gasto de energía y por consecuencia, de los problemas medioambientales. Tradicionalmente la economía ha crecido de manera “extensiva”, es decir, utilizando una mayor cantidad de recursos de manera progresiva. No obstante, para una evolución sostenible es necesario un cambio en dirección al crecimiento “intensivo”, dicho de otro modo, hacer uso de la misma proporción de recursos, pero de forma más eficiente. [2]

Para analizar la capacidad de crecimiento económico que presenta un país resulta útil introducir el concepto de “intensidad energética”. La intensidad energética es un indicador de la eficiencia energética de un país, es decir, muestra cuántas unidades de energía son necesarias para producir una unidad de riqueza. Un valor más elevado de este índice se traduce en un mayor consumo de energía necesario para conseguir una unidad de PIB “Producto interior bruto”.

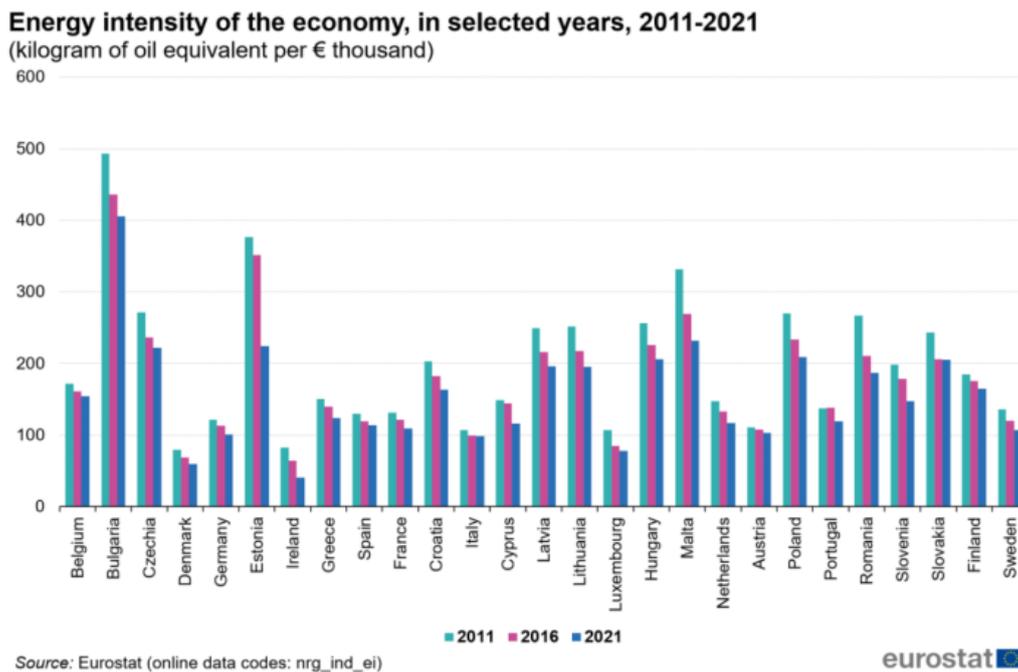


Figura 3: Intensidad energética en la Unión Europea [1]

Como se observa en la figura 3, la tendencia europea es positiva, con el paso del tiempo se está consiguiendo optimizar el uso de los recursos energéticos. Los países más desarrollados son capaces de consumir menos energía para aumentar su PIB.

### 1.1.4-Objetivos de Desarrollo Sostenible

El 25 de septiembre de 2015, Naciones Unidas propuso los ODS “Objetivos de Desarrollo Sostenible”. Los ODS son un conjunto de metas diseñadas para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad, y deben alcanzarse en un periodo de quince años. [3]



Figura 4: Objetivos de Desarrollo Sostenible [3]

En línea con el consumo excesivo de energía y la problemática que supone que una gran parte de esta sea de origen fósil pueden encontrarse los ODS 7 y 12.

- N°7: “Energía asequible y no contaminante”. Esta propuesta tiene como objetivo la transición de la energía al sector renovable, dejando atrás los combustibles fósiles y mitigando así los efectos nocivos que estos tienen sobre el medioambiente y las desigualdades sociales.
- N°12: “Producción y consumo responsables”. El consumo y la producción dependen de los recursos medioambientales. A medida que ha evolucionado la sociedad, tanto el consumo como la producción se han visto incrementados y, por ende, la explotación de los recursos naturales. Este ODS pretende tratar de garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles para no agotar las reservas naturales.

## **1.2-ESTRATEGIAS PARA LA MITIGACIÓN DEL PROBLEMA ENERGÉTICO**

Para tratar de lidiar con los problemas de consumo energético y de sostenibilidad del medioambiente la UE ha planteado diversos objetivos y propuestas.

Los objetivos principales de la política energética de la UE son:

- Diversificar las fuentes de energía europeas y tratar de asegurar el suministro con la cooperación entre estados.
- Garantizar el buen funcionamiento del mercado de la energía.
- Mejorar la eficiencia energética y desligar el abastecimiento de las importaciones.
- Reducir las emisiones y descarbonizar la economía.
- Transición a las energías renovables.

En 2019, la Comisión Europea presentó el “Pacto Verde Europeo”. En este pacto se establecen las pautas para conseguir que Europa sea “un continente climáticamente neutro de aquí a 2050 mediante el suministro de energía limpia, asequible y segura [4]. Por otro lado, cabe destacar que fuera de este pacto también se han establecido medidas de urgencia derivadas de la incentivación de la crisis energética provocada por la reciente guerra en Ucrania. A finales de 2022, la UE presentó un paquete de medidas donde se aprobó reducir el consumo de electricidad un mínimo del 5% en las horas punta y regularizar los ingresos de las instalaciones de generación sin gas. [5]

De los objetivos propuestos se procederá a tratar brevemente aquellos que presentan una mayor relación con el mundo de la ingeniería. Las energías renovables y la eficiencia energética.

### **1.2.1-Energías renovables**

Las energías renovables son una alternativa a los combustibles fósiles que permiten reducir la problemática, expuesta con anterioridad, relativa al uso de estos combustibles. En 2018 la UE estableció la intención de aumentar hasta el 32% la participación de las energías renovables en la cuota de consumo de energía final para 2030. Siguiendo con este propósito, en marzo de 2023 se acordó elevar el peso de las renovables hasta el 42,5% para 2030 con el objetivo de llegar al 45%. Asimismo, en el Reglamento 2020/1294 se establece un mecanismo de financiación de las energías renovables para ayudar a los países a alcanzar los objetivos planteados. [6]

### **1.2.2-Eficiencia energética**

La eficiencia energética puede definirse como la optimización o reducción del gasto de energía para el mismo nivel de producción o servicio, disminuyendo de esta forma la cantidad de emisiones y el coste económico.

La optimización de la energía es una de las claves de la estrategia europea frente al despilfarro de esta y la incertidumbre sobre la seguridad del suministro. En marzo de 2023 la UE fijó en un 38% el objetivo de reducción del consumo de energía primaria y un 40,5% el de energía final para 2030. El plan europeo deriva en los estados la responsabilidad de promover estrategias de ahorro de energía, así como vigilar su cumplimiento. En el ámbito nacional, España cuenta con el PNAEE “Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética” donde se obliga a grandes empresas a realizar auditorías energéticas. [7]

Las auditorías energéticas son la materialización del concepto de eficiencia energética en el sector industrial. Estas inspecciones permiten comprender el estado del consumo de energía de una instalación y sus componentes, así como clarificar la toma de decisiones para disminuir dicho consumo.

## **1.3-AUDITORÍAS ENERGÉTICAS**

### **1.3.1- Definición**

Para hablar de eficiencia y auditorías energéticas es conveniente referirse al Real Decreto 56/2016, de 12 de febrero, por el que se transpone la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética, auditorías, acreditación de proveedores de servicios y auditores y promoción de la eficiencia del suministro de la energía. El objeto del presente decreto es promover el ahorro de energía primaria y optimizar el consumo de instalaciones y equipos en las empresas. Asimismo, establece las pautas para el desarrollo de auditorías energéticas, así como para la acreditación de auditores y proveedores de energía y la mejora de la eficiencia energética.

El 11 de diciembre de 2018 el Parlamento Europeo y del Consejo publicó la Directiva 2018/2002/UE que modifica la ya mencionada Directiva 2012/27/UE. Sin embargo, a nivel nacional, el Real Decreto 56/2016 no se ha visto alterado. [8]

El artículo 1c) del RD 56/2016 define la auditoría energética como:

“Todo procedimiento sistemático destinado a obtener conocimientos adecuados del perfil de consumo de energía existente de un edificio o grupo de edificios, de una instalación u operación industrial o comercial, o de un servicio privado o público, así como para determinar y cuantificar las posibilidades de ahorro de energía a un coste eficiente e informar al respecto. En el caso del transporte, la auditoría energética sólo se referirá al transporte vinculado a la actividad de la empresa”.

En otras palabras, una auditoría energética es todo estudio o análisis del consumo de energía que permite comprender mejor la dinámica de los procesos de una planta industrial para tratar de optimizar la eficiencia energética de la instalación y sus componentes.

### **1.3.2- Procedimiento**

Una evaluación energética consta de los siguientes contenidos mínimos fijados por la normativa UNE-EN 16247, así como el IDAE “Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía” y agencias regionales:

- Datos generales del establecimiento. Se realiza la identificación del centro, la descripción general de las instalaciones y del régimen de actividad y el estudio de la estructura de costes de producción.
- Fuentes del suministro energético. Se determina la procedencia de la energía, pudiendo ser eléctrica, térmica u otras fuentes.
- Procesos de producción. Se describen los procesos y las instalaciones en las que se ejecutan.
- Análisis energético de la planta. Se analiza el consumo energético de las actividades de producción y auxiliares junto con la gestión medioambiental.
- Consumo y costes específicos. Se examina el consumo y los costes específicos de energía por procesos y de manera global.
- Benchmarking. Método de gestión empresarial que, aplicado a las auditorías, consiste en la comparación de los consumos de industrias del mismo sector.
- Mejoras detectadas. Se proponen medidas de ahorro energético y se estudian alternativas de futuras inversiones y su rentabilidad.

Una vez mencionados los aspectos fundamentales, resulta sencillo comprender el desarrollo de una auditoría energética.

Este procedimiento se estructura en las siguientes fases, mostradas en la Figura 5 y descritas brevemente a continuación:

1. Diagnóstico de la situación inicial. Esta fase consiste en la recopilación de información necesaria para realizar estudios sobre el balance y consumos energéticos. Se lleva a cabo visitas a las instalaciones donde se toma algunas medidas de campo y se solicita facturas energéticas con la finalidad de recoger la

mayor cantidad de datos posible. Además, debe realizarse una valoración inicial de la situación de la planta industrial.

2. Balance energético. Durante esta etapa se efectúan estudios detallados sobre la producción y los consumos energéticos de la instalación, siendo uno de los más importantes el análisis de la curva de carga. Una curva de carga es la relación entre la potencia instalada en una planta industrial o un edificio (KW o MW) y un cierto tiempo transcurrido. Mediante este gráfico se obtiene información relevante acerca de la capacidad del generador necesaria, de las horas punta de consumo o las variaciones de este en distintos periodos del año; es decir, permite gestionar y planificar el gasto eléctrico.
3. Benchmarking. Como se ha mencionado previamente, el benchmarking se basa en la comparación de consumos con la competencia. De esta forma, es posible saber si el gasto energético de la empresa se encuentra en el rango esperado. Para ello, es preciso realizar el cálculo de los consumos y costes específicos, así como analizar la situación en la que se encuentra el consumidor dentro de su entorno de actividad.
4. Evaluación de las mejoras aplicadas. A lo largo de esta fase se realizan valoraciones técnicas, económicas y medioambientales. Por un lado, es necesario conocer qué proceso o procesos son susceptibles a la implantación de una medida y el impacto que esta tendrá. Por otro lado, debe llevarse a cabo un análisis de la viabilidad de las inversiones a largo plazo, teniendo siempre en cuenta el LCA “Life Cycle Assessment” de la planta.
5. Presentación de los resultados. En esta última etapa, se reflejan los resultados obtenidos en un informe final que debe incluir, al menos, los contenidos mínimos exigidos por la administración mencionados al inicio de este apartado.

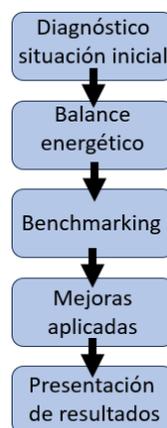


Figura 5: Flujograma de una auditoría industrial

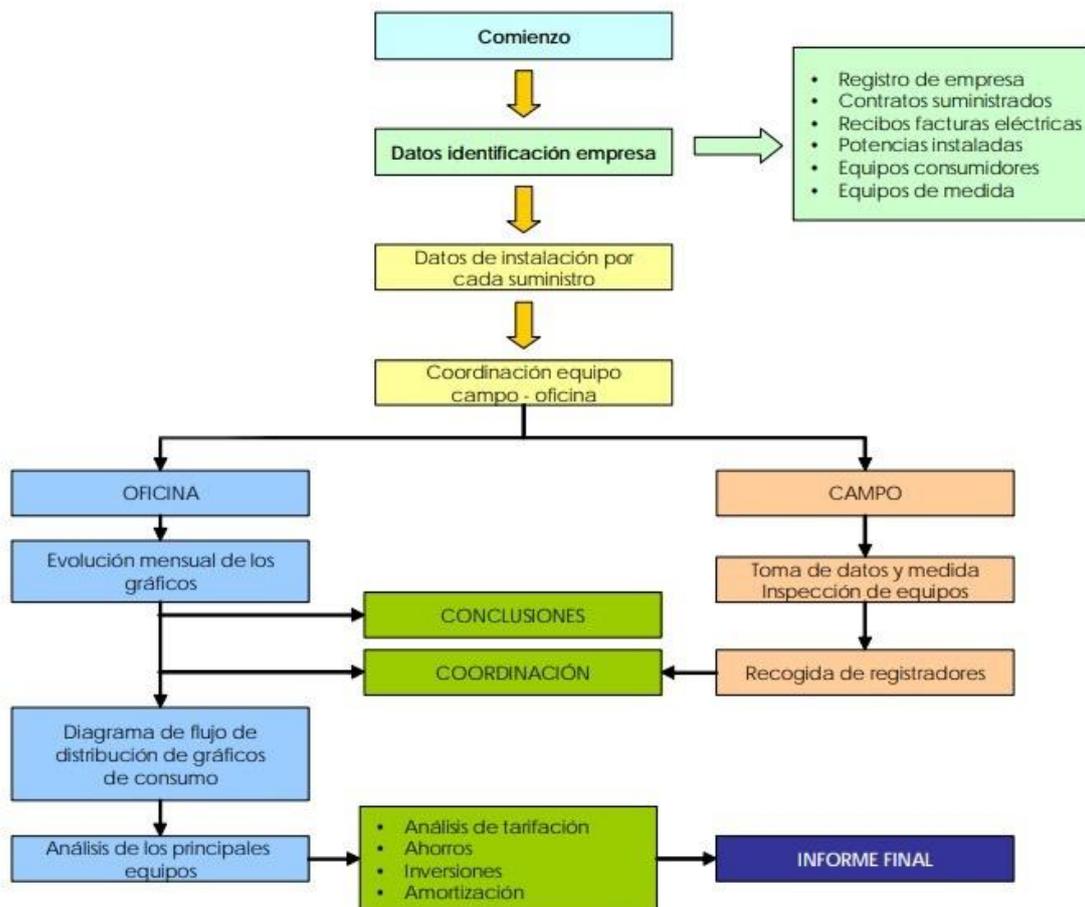


Figura 6: Ejemplo de proceso de una auditoría [9]

### 1.3.3- Problemática en el proceso de medición

Previamente se han descrito de forma resumida las fases de una auditoría energética para obtener una visión global del proceso y conocer la importancia de la recopilación de información. De la cantidad y fiabilidad de estos datos dependen las posibles estrategias de mejora de la eficiencia energética de una planta industrial. Es por ello por lo que en el presente apartado se profundizará en la primera etapa, “Diagnóstico de la situación inicial”, y la problemática existente en torno a la toma de datos.

Por una parte, la recogida de información para realizar una evaluación energética suele comenzar con una entrevista a los trabajadores. En dicho cuestionario se realizan preguntas como el horario de funcionamiento de la maquinaria o si la estacionalidad afecta al nivel de producción, entre otras preguntas. Además, debe solicitarse la factura eléctrica, donde aparecen los consumos y costes y el tipo de contrato eléctrico. Por otra parte, mediante diagramas unifilares se analiza la posible existencia de medidores en la instalación que registren algunas de las variables necesarias para el análisis del consumo. En gran parte de las ocasiones los auditores cuentan con un equipo analizador de redes que les permite medir tensión y corriente, obtener curvas de carga y calcular potencias entre otras funciones. A pesar de las medidas de campo realizadas, en la mayoría de los

casos es una tarea muy compleja obtener la suficiente cantidad de datos fiables y extrapolables a largo plazo ya que las tres semanas que suele durar aproximadamente este proceso no son suficientes. Adicionalmente, muchos de los parámetros requeridos para el posterior estudio de balance energético no son medibles y se calculan de forma teórica, es decir, se realiza una aproximación, que, aunque puede asemejarse mucho al comportamiento real, sigue contando con cierto margen de error.

En definitiva, tras haber analizado en mayor profundidad el proceso de recopilación de información en una auditoría energética, es evidente la escasa cantidad de datos obtenidos y su limitada confiabilidad, ya que a través de cuestionarios o mediciones de tres semanas no es posible obtener el comportamiento energético exacto de una planta industrial.

#### **1.4-AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

En la actualidad, las plantas industriales cuentan con una estructura de automatización que permite controlar y ejecutar los distintos procesos que tienen lugar en sus instalaciones. La automatización industrial se basa en la utilización de sistemas de control como ordenadores o autómatas programables para manejar los distintos procesos de producción mediante el control de las variables que participan en dichas operaciones. Para poder obtener estos valores la planta industrial cuenta con equipos como sensores y actuadores. Este tipo de dispositivos son capaces de realizar mediciones continuas de muchos más parámetros de los exclusivamente necesarios para el control del proceso, sin embargo, esta capacidad no está siendo utilizada. Esta capacidad presenta una amplia gama de nuevas posibilidades a la hora de realizar mediciones en el ámbito industrial.

## **CAPÍTULO 2: OBJETIVOS**

### **2.1-OBJETIVO PRINCIPAL**

El objetivo principal del presente proyecto consiste en tratar de aportar una alternativa a la manera convencional de tomar medidas y recoger datos en una auditoría energética. Se pretende así aumentar la cantidad y la fiabilidad de la información recopilada, además de facilitar el proceso de medición.

Para desarrollar esta propuesta, en este trabajo se aprovechará la ya existente infraestructura de automatización industrial de las plantas productivas, mencionada con anterioridad, para diseñar un sistema de adquisición de datos, que recoja toda la información en una base de datos, como alternativa al método convencional de recopilación de información en una auditoría energética.

### **2.2-OBJETIVOS PARCIALES**

- Analizar los equipos que participan en el proceso productivo de plantas industriales para conocer cuáles son los más utilizados.
- Seleccionar las variables de medida adecuadas para el estudio del consumo energético de una industria.
- Establecer la red de comunicación entre los dispositivos presentes en la planta.
- Estudiar las alternativas posibles para la base de datos y su gestión.
- Realizar una correcta elección de los parámetros característicos del programa.
- Introducir las mejoras que supone la propuesta presentada en este trabajo.
- Realizar un programa eficiente mediante el uso de bloques de datos.

### **CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA**

En este capítulo se explicará cómo se ha realizado la alternativa propuesta desde dos puntos de vista. Por un lado, se mostrará una visión general en la que se exponga la adaptabilidad a las distintas industrias y, por el otro, se llevará a cabo una aplicación práctica. Esta se realizará en una placa de laboratorio ya que no ha sido posible desarrollar el programa y su comprobación en una fábrica real. Cabe mencionar que únicamente se estudiará la parte con la energía eléctrica, ya que el tipo de equipos de los que se dispone en el laboratorio son de carácter eléctrico.

El sistema de adquisición de datos propuesto está constituido por un programa informático capaz de solicitar los valores de las variables de estudio a los aparatos de automatización. Posteriormente, resulta conveniente registrar estos parámetros en una base de datos, de esta forma, se tiene una mayor accesibilidad a los datos, así como se facilita su tratamiento.

En la Figura 7 se muestra un flujograma de la idea de alternativa propuesta. Primeramente, se solicitan los valores a los equipos de automatización presentes en la planta. Seguidamente, estos pasan a ser utilizados para el control del proceso y se registran en una base de datos. Por último, se estudian los consumos de energía para detectar posibles deficiencias.



Figura 7: Flujo del funcionamiento de la alternativa propuesta

### **3.1-ESTUDIO DE LOS EQUIPOS CON MAYOR PRESENCIA EN LAS PLANTAS INDUSTRIALES**

Para poder desarrollar la alternativa propuesta es conveniente realizar un estudio que permita conocer los equipos más utilizados en las plantas industriales. El hecho de saber cuáles son estos aparatos simplifica la elección de los elementos que se dispondrán en la placa de laboratorio para poder desarrollar el programa en la aplicación práctica.

Los resultados de dicho estudio muestran como los siguientes equipos son los que cuentan con un mayor porcentaje de uso en la industria:

- Sistemas de control de motores. Los motores eléctricos se utilizan para transformar la energía eléctrica en mecánica y la transfiere a otros equipos como compresores, turbinas bombas etc. Para poder controlar estos equipos es preciso contar con aparatos como variadores de frecuencia.
- Luminarias. Son sistemas de iluminación que proporcionan la intensidad lumínica adecuada para poder desempeñar los procesos productivos.
- Dispositivos de protección. La electricidad puede reducir la vida útil de los equipos y dañarlos de la misma forma que también puede herir gravemente o matar a las personas, por ello, todas las industrias cuentan con sistemas de protección para los equipo y personas. Entre ellos pueden encontrarse interruptores y relés, puestas a tierra etc.
- Sistemas para la conexión/desconexión de cargas, maniobras. Estos elementos permiten abrir o cerrar un circuito eléctrico, como, por ejemplo, contactores de potencia.
- Sensores y sistemas de control y automatización. Estos equipos se utilizan para controlar los procesos productivos. Los sensores son elementos capaces de medir variables como la temperatura, humedad, velocidad... que se monitorizan a través de sistemas de control.
- Transformadores. Muchas empresas cuentan con este tipo de equipos para poder cambiar el voltaje de la corriente eléctrica.

Para llegar a esta conclusión, el estudio se ha llevado a cabo analizando los distintos sectores industriales, equipos utilizados y normativa, y así poder hallar cuáles tienen mayor presencia y porqué.

Por lo que respecta a al aparamenta eléctrica, todas las plantas industriales incluyen elementos de protección según la normativa vigente de aplicación. Por ejemplo:

- REBT, ITC-BT-24: “Instalaciones interiores o receptoras. Protección frente a contactos directos e indirectos”.
- Norma UNE-HD 60364 parte 4-41: “Instalaciones eléctricas de baja tensión”. “Protecciones para garantizar la seguridad; protección contra los choques eléctricos”.
- REBT, ITC-BT-22: “Instalaciones interiores o receptoras. Protección contra sobreintensidades”.
- Norma UNE-HD 60364 parte 4-43: “Instalaciones eléctricas de baja tensión”. “Protección para garantizar la seguridad. Protección contra las sobreintensidades”.
- REBT, ITC-BT-23 “Instalaciones interiores o receptoras. Protección contra sobre tensiones”.
- Norma UNE-HD 60364 parte 4-44: “Instalaciones eléctricas de baja tensión”. “Protección para garantizar la seguridad. Protección contra las perturbaciones de tensión y las perturbaciones electromagnéticas”.

En línea con los dispositivos de protección, también existe normativa de obligatorio cumplimiento respecto a la iluminación:

- Norma UNE EN 12464-1: “Luz e iluminación. Iluminación de los lugares de trabajo”. “Parte 1: Lugares de trabajo en interiores”.

Además de por normativa, contar con una cantidad adecuada de luz permite poder observar los procesos que tienen lugar en las instalaciones, así como detectar posibles defectos en las piezas o maquinaria y de esta forma controlar la calidad del producto.

Por otro lado, no existe ningún tipo de normativa que obligue a disponer de motores eléctricos o de sistemas de automatización industrial. Por ello, a continuación, se muestra, según el tipo de industria y sector, una tabla a modo resume de los elementos que denotan el uso de motores eléctricos o autómatas en sus instalaciones.

- Extracción de petróleo y gas natural:

Motores eléctricos	Sensores y sistemas de automatización
Módulos de bombeo	PLC
Compresores	HMI
Turbo-expansores	SCADA
Inyectores	Tecnología IoT

Tabla 1: Industria petrolífera

- Cerámica:

Motores eléctricos	Sensores y sistemas de automatización
Centrífuga	PLC
Compactadora	Brazos robot
Lavadora	Desvíos a escuadra
Molino desgarrador	Sensores de temperatura

Tabla 2: Industria cerámica

- Plantas energéticas renovables:

Motores eléctricos	Sensores y sistemas de automatización
Turbinas	Tecnología IoT
Compresores	Tecnología IA
Ventiladores	Sensores de temperatura
Bombas	Sensores de humedad

Tabla 3: Industria de energías renovables

- Químico:

Motores eléctricos	Sensores y sistemas de automatización
Agitadores industriales	Sensores de viscosidad
Compresores Cl y H <sub>2</sub>	Sensores de volumen
Bombas	PLC
Prensa de tornillo	HMI

Tabla 4: Industria química

- Alimentación:

Motores eléctricos	Sensores y sistemas de automatización
Agitadores	Transmisores de nivel
Centrífugas agroalimentarias	Sensores de pesaje
Bombas de trasiego	Medidores de pH
Sistemas de refrigeración	PLC

Tabla 5: Industria alimenticia

- Automovilístico:

Motores eléctricos	Sensores y sistemas de automatización
Compresor de aire	Visión de máquina
Torno	Robots colaborativos
Bombas	PLC
Motores	Tecnología IoT

Tabla 6: Industria automovilística

### 3.2-INTRODUCCIÓN A LA APLICACIÓN PRACTICA. EQUIPOS DISPONIBLES EN EL LABORATORIO

Como se ha mencionado con anterioridad, para facilitar la elección de los dispositivos que se utilizarán en la aplicación práctica se han estudiado los equipos que se presentan con mayor frecuencia en las plantas industriales, y, de esta forma, poder realizar un programa con la mayor similitud posible a la situación real de una planta industrial.

Los equipos elegidos para la puesta en práctica son los obtenidos como resultado del estudio. En la placa de laboratorio, Figura 8, aparecen algunos de ellos, pero, lo más importante, se encuentran los dispositivos de automatización asociados a este tipo de aparatos que se utilizarán para el desarrollo del programa.



Figura 8: Placa de prueba del laboratorio

## Diseño de un sistema de adquisición de datos aprovechando la infraestructura de automatización industrial existente para el estudio y optimización de la gestión energética en entornos industriales

---

En la placa se dispone, a grandes rasgos, de los siguientes equipos:

- Luminarias.
- PIAs. Equipos de protección de la instalación.
- Analizador de redes. En los cuadros de luz de la mayoría de los edificios se encuentran estos dispositivos instalados, por ello, se cuenta con él en la placa.
- Contactores. Dispositivos de conmutación, Tesys U. Arrancador de motores.
- Variador de frecuencia. Equipo necesario para el control de motores eléctricos.
- Pantalla HMI. Dispositivo de automatización. Permite visualizar el estado del proceso.
- Motor eléctrico. No se encuentra anclado en la placa, pero es posible conectarlo a través del variador de frecuencia.
- PLC. Dispositivo de control.
- PC.

Las conexiones entre los elementos de potencia de la placa están representadas en la Figura 9 donde puede observarse el motor eléctrico, externo al montaje de la placa. El analizador de redes mide los consumos de los aparatos instalados aguas abajo, es decir, el de las bombillas y el motor.

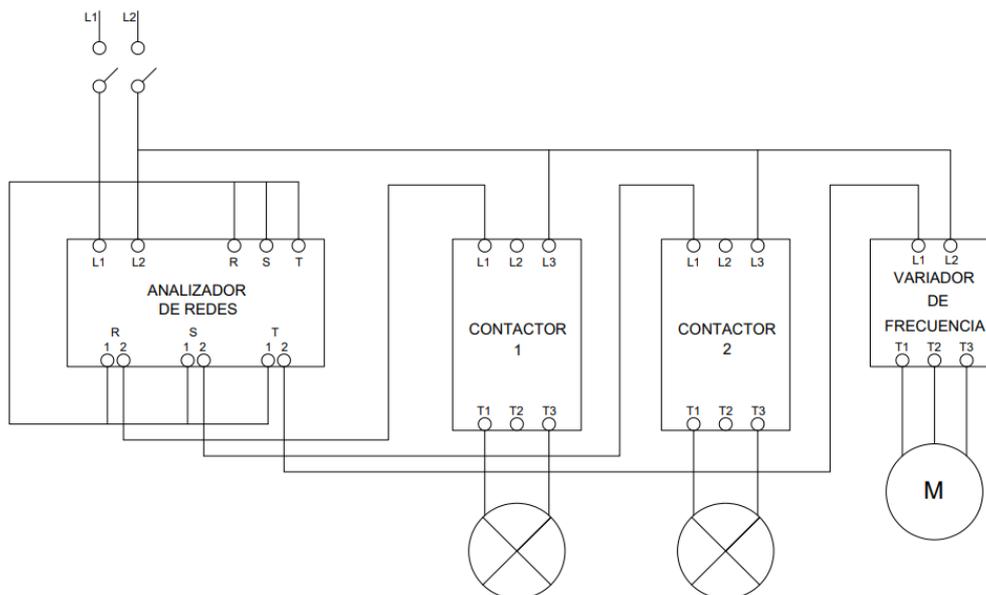


Figura 9: Esquema de potencia de la instalación

### 3.2.1-Equipos más importante de la placa

A continuación, se expone en una tabla a modo resumen una recopilación de los elementos más importantes para el desarrollo del programa con una breve descripción de cada uno de ellos. Su importancia reside en la capacidad de medición que poseen.

Equipo	Descripción
<p><b>Analizador de redes</b></p>	 <p>“El CVM-MINI panel analizador es un instrumento de medida programable que ofrece una serie de opciones para su uso, que se puede seleccionar desde los menús de configuración del propio instrumento” [10]</p>
<p><b>Tesys U</b></p>	 <p>“Tesys U arrancadores de motor brindan control del motor para opciones que van desde un arrancador de motor básico con protección de sobrecarga térmica de estado solido hasta un controlador de motor sofisticado que se comunica en redes e incluye protección del motor programable” [11] Actúa como contactor.</p>
<p><b>ACS310 Variador de frecuencia</b></p>	 <p>Dispositivo diseñado para el control de la velocidad de un motor eléctrico. Los convertidores de frecuencia ACS310 están destinados para aplicaciones de par variable.</p>
<p><b>HMI Programa Vijeo Designer</b></p>	 <p>“Vijeo Designer es una aplicación de software de última generación con la que el usuario puede crear paneles de operadores y configurar parámetros operativos para dispositivos de la interfaz usuario-máquina (HMI). Este programa proporciona todas las herramientas necesarias para el diseño de un proyecto HMI, desde la adquisición de datos hasta la creación y la visualización de sinopsis animadas.” [12]</p>

<p><b>PLC S7 1200</b></p>		<p>Un PLC es un autómata programable utilizado para controlar y automatizar procesos industriales. “El controlador compacto SIMATIC S7-1200 es el modelo modular y de tamaño reducido para pequeños sistemas de automatización que requieran funciones simples o avanzadas para lógica, HMI o redes.” [13]</p>
-------------------------------	---	--

Tabla 7: Autómatas presentes en la placa de laboratorio

### 3.3-ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS: ELECCIÓN DE LAS VARIABLES DE INTERÉS PARA EL ESTUDIO DEL CONSUMO ENERGÉTICO

Como se ha mencionado con anterioridad, las plantas industriales cuentan con una estructura de automatización para supervisar los procesos de producción llevados a cabo en el recinto de las mismas. La estructura de automatización está compuesta por una serie de equipos (sensores, actuadores, medidores...) que permiten vigilar y controlar cada una de las operaciones del proceso productivo, así como actuar sobre ellas en caso de que fuera necesario. Este tipo de dispositivos son capaces de registrar un gran número de parámetros diferentes en el mismo instante de tiempo, sin embargo, no se aprovecha todo su potencial. Actualmente, los equipos que forman la estructura de automatización se utilizan principalmente para supervisar las variables que forman parte del proceso productivo, dejando de lado parámetros que podrían resultar útiles para otros propósitos, como, en el contexto del presente proyecto, la toma de medidas para auditorías energéticas. Por ello, aprovechando esta estructura ya existente para medir parámetros de consumo energético, se consiguen diversos beneficios como la obtención de curvas de carga de la instalación por sistemas o grupos y en el periodo de tiempo deseado; facilitando de esta forma los análisis relativos al proceso de una auditoría energética.

En definitiva, resulta pertinente llevar a cabo un estudio para establecer qué variables es interesante registrar a través de los equipos de automatización. En otras palabras, determinar, como mínimo, los valores necesarios para realizar los cálculos pertinentes para conocer el consumo de energía y la curva de carga de una instalación de acuerdo con el procedimiento de una auditoría energética; ya que serán estos los que deberán solicitarse a los autómatas.

Este análisis de alternativas se lleva a cabo para contar solo con la información estrictamente necesaria y optimizar adecuadamente el programa.

Por un lado, un exceso de información puede conducir fácilmente a error por diversos motivos, entre los cuales destacan:

- Datos no necesarios que puedan llevar a confusión. Siguiendo lo mencionado anteriormente, los aparatos de automatización son capaces de leer variables sin ningún tipo de utilidad para los cálculos de consumos o curvas de carga. Por esa

razón, contar con estos valores en la base de datos, a menos que sea para otro tipo de uso, no proporciona ninguna ventaja ya que podrían tomarse estos en lugar de los realmente útiles para los análisis e inducir el error.

- Ocupación de memoria. Cada vez que se registra el valor de una variable y se guarda, este ocupa un espacio en la memoria. En plantas industriales pequeñas con procesos cortos y poca maquinaria este suceso no es crítico. Sin embargo, en fábricas con mayor tamaño donde es necesario almacenar una gran cantidad de información, el espacio en la memoria de los ordenadores o discos duros sí supone un problema.

Por otro lado, cuantos más datos se recojan más largo será el código del programa. Este hecho tiene dos consecuencias significativas:

- Mayor tiempo de ejecución del programa. Como se verá en detalle más adelante, cada vez que se desea medir una variable se realiza una llamada al equipo correspondiente y hasta no recibir una respuesta con el valor el programa no continúa. Cuantos más datos se deseen tomar, más llamadas se realizarán y, por tanto, el programa tardará más tiempo en ejecutarse porque tiene más funciones que realizar y siempre de una en una.
- Mayor riesgo de fallo. Al incrementar el número de llamadas a los autómatas se aumenta el riesgo de no recibir respuesta por parte de alguno de ellos y que el programa se detenga.

Tras conocer en mayor profundidad los principales motivos por los que se lleva a cabo el análisis de alternativas sobre las variables de interés, se procederá a describir dicho estudio.

### **3.3.1-Estudios del consumo de energía en auditorías energéticas**

El objetivo del presente proyecto es conseguir recoger valores reales para poder llevar a cabo los estudios de optimización de consumo de energía, relativos a una auditoría energética, con el mayor rigor posible. Por este motivo, para seleccionar las variables de estudio y asegurarse de haber realizado una elección correcta, es preciso conocer qué valores son necesarios para los cálculos de consumos de energía y curvas de carga de la instalación según el procedimiento de una evaluación energética.

Para determinar estas variables se ha tomado como ejemplo el “Procedimiento de auditorías energéticas en el sector industrial de la Comunidad de Madrid”, realizado por iniciativa de la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Conserjería de Economía y Hacienda y la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. La elaboración técnica fue ejecutada por la empresa Escan S.A. [9]

### 3.3.2-Visión general del consumo

En una auditoría energética, a rasgos generales, quiere conocerse el consumo de energía y su coste para obtener una visión global de lo que sucede a nivel energético en la planta. La Tabla 8 muestra, a modo de ejemplo, una posible opción para recopilar los consumos energéticos.

<b>CONSUMO ENERGÉTICO</b>			
<b>CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA (COMPRADA Y AUTO PRODUCIDA)</b>			
	<b>ANUAL</b>	<b>MENSUAL</b>	<b>DIARIO</b>
CONSUMO ELÉCTRICO (kWh)			
COSTE ELÉCTRICO (€/MES)			
COSTE MEDIO DEL kWh			
<b>CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA (COMBUSTIBLES UTILIZADOS)</b>			
	<b>ANUAL</b>	<b>MENSUAL</b>	<b>DIARIO</b>
CONSUMO TÉRMICO (kWh)			
COSTE TÉRMICO (€/MES)			
COSTE MEDIO DEL kWh			
<b>PRODUCCIONES ENERGÉTICAS PROPIAS</b>			
<b>OTRAS FUENTES DE SUMINISTRO ENERGÉTICO</b>			

Tabla 8: Datos de consumo energético [9]

También es necesario recoger los valores del consumo en función de las actividades, como se muestra en las Tablas 9 y 10.

<b>DISTRIBUCIÓN DE LOS CONSUMOS ELÉCTRICOS (kWh)</b>			
<b>CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA</b>	<b>ANUAL</b>	<b>MENSUAL</b>	<b>%</b>
EQUIPOS DE CLIMATIZACIÓN			
ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO			
SISTEMAS DE COMPRESIÓN			
OTROS			
TOTAL DE LA FACTORÍA			

Tabla 9: Distribución del consumo eléctrico por actividad [9]

DISTRIBUCIÓN DE LOS CONSUMOS TÉRMICOS (kWh)			
CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA	ANUAL	MENSUAL	%
PROCESOS			
CALEFACCIÓN			
OTROS			
TOTAL DE LA FACTORÍA			

Tabla 10: Distribución del consumo térmico por actividad [9]

En las Tablas 8, 9 y 10 aparece el consumo anual, mensual y por día. No obstante, cabe destacar que esta no es la única alternativa, como se ha indicado con anterioridad se trata de un ejemplo. El consumo también puede analizarse por periodos de facturación en función del precio de la energía o según la estación del año.

Por lo que respecta al desarrollo del programa, para obtener el consumo de energía de la planta, o de cada actividad, el caso ideal sería aquel en el que los autómatas que van a utilizarse para recoger esos datos tuvieran la capacidad de medir directamente el consumo; sin embargo, en ocasiones no es así. El parámetro que sí suelen registrar la mayoría de los dispositivos es la Potencia activa y, al estar monitorizados en todo momento, se conoce el tiempo exacto de uso y es posible calcular el consumo.

El cálculo del consumo de energía se realiza de la siguiente forma:

Para potencias que no varían con el tiempo:

$$E = P \cdot t$$

Para potencias que varían con el tiempo:

$$E = \int P(t) dt$$

Donde:

- E: consumo de energía (kWh)
- P: potencia (kW)
- t: tiempo (h)

Concretamente, para los valores de potencia obtenidos mediante el sistema de adquisición de datos desarrollado a lo largo de este trabajo se utilizaría la segunda fórmula, ya que la potencia nunca va a contar con un valor cien por cien constante, este caso se da únicamente en cálculos teóricos.

En definitiva, para obtener una visión general del gasto de energía de una planta industrial es necesario que el programa solicite los valores de consumo de energía, si el autómata es capaz de medirlos, y de potencia activa.

### 3.3.3-Componentes del consumo de energía

En las auditorías energéticas no es solo importante conocer el consumo de energía, también deben establecerse medidas para optimizar este gasto. A la hora de plantear estrategias de ahorro adecuadas no es suficiente contar con los valores de consumo expresados en el apartado anterior, sino que es necesario conocer cómo se producen esos gastos. Para ello, se miden y estudian variables que permiten esclarecer el origen del consumo y los puntos clave para su optimización. El estudio de estos parámetros permite observar:

- Desequilibrios entre fases.
- Progreso del consumo en distintos periodos de tiempo: meses, estaciones, años etc.
- Variaciones en la tensión de red.
- Detección de equipos en mal estado.
- Consumo de potencia activa y reactiva. Comportamiento del factor de potencia.
- Seguridad de la instalación.

A continuación, se exponen las variables medidas en una auditoría energética para analizar el consumo de energía. En primer lugar, se muestra una breve descripción, y en segundo, la justificación de porqué son importantes para desglosar el consumo e identificar las áreas de intervención.

#### 3.3.3.1-Potencia consumida (curvas de carga).

Una curva de carga es una gráfica donde se muestra la potencia consumida frente a un tiempo transcurrido. Con estas representaciones es posible conocer la distribución del consumo de energía de la planta industrial.

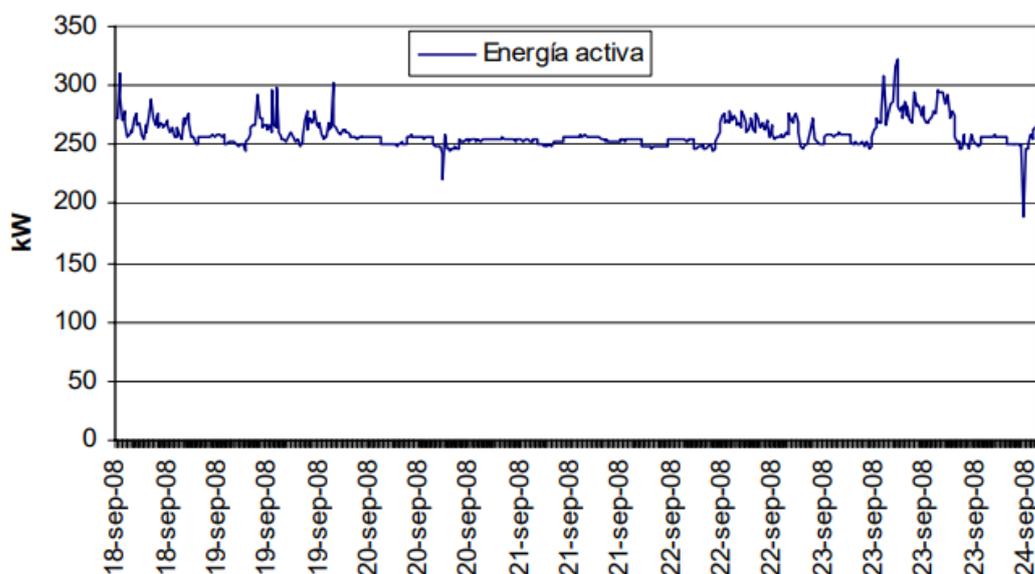


Figura 10: Ejemplo de una curva de carga [9]

La importancia de medir la potencia consumida reside, entre otros, en los siguientes factores:

- Consumo y periodos energéticos. Utilizando la curva de carga es posible comprobar si los momentos de mayor demanda de energía coinciden con los periodos del día en que su precio es menor, pudiendo así programar la producción de forma que el coste económico se reduzca. Asimismo, como las horas de menor coste y demanda coinciden, también se contribuye a la sostenibilidad del suministro ya que se solicita a la red la máxima cantidad de energía en momentos en los que la disponibilidad de esta es mayor.
- Discretización de la curva de carga. Al discretizar la curva de carga se obtienen las gráficas de potencia de las distintas máquinas, permitiendo así conocer los aparatos con mayor consumo de energía en cada momento. De esta manera, puede realizarse la distribución de la producción de forma que se reduzca el pico de máxima demanda de energía y tratar de suavizar la curva.
- Vida útil de la maquinaria. Los cambios con el tiempo en las curvas de carga pueden deberse a un deterioro del estado de la maquinaria o incluso a escapes de energía. Por ejemplo, un aumento en el consumo de potencia activa puede ser debido al desgaste de un motor. En otras palabras, revisando de forma periódica las curvas de carga de una instalación es posible detectar errores en el funcionamiento de los distintos aparatos.
- Dimensionamiento. Es importante conocer el consumo de la fábrica para poder elegir de forma correcta las protecciones de seguridad o para sustituir algún elemento que deteriorado.

### ***3.3.3.2-Tensión de red***

La tensión de red es el valor tensión que suministra la compañía eléctrica y debe mantenerse dentro de unos márgenes.

Contar con los valores de las tensiones de red puede ayudar a identificar situaciones relacionadas con:

- Seguridad. Una tensión de red inestable puede suponer un peligro para los equipos conectados a ella.
- Plazo de servicio. Una tensión superior a la establecida para el correcto funcionamiento de la maquinaria puede deteriorar su estado con mayor velocidad provocando así aumentos en el consumo y gastos en mantenimiento y sustitución de equipos.

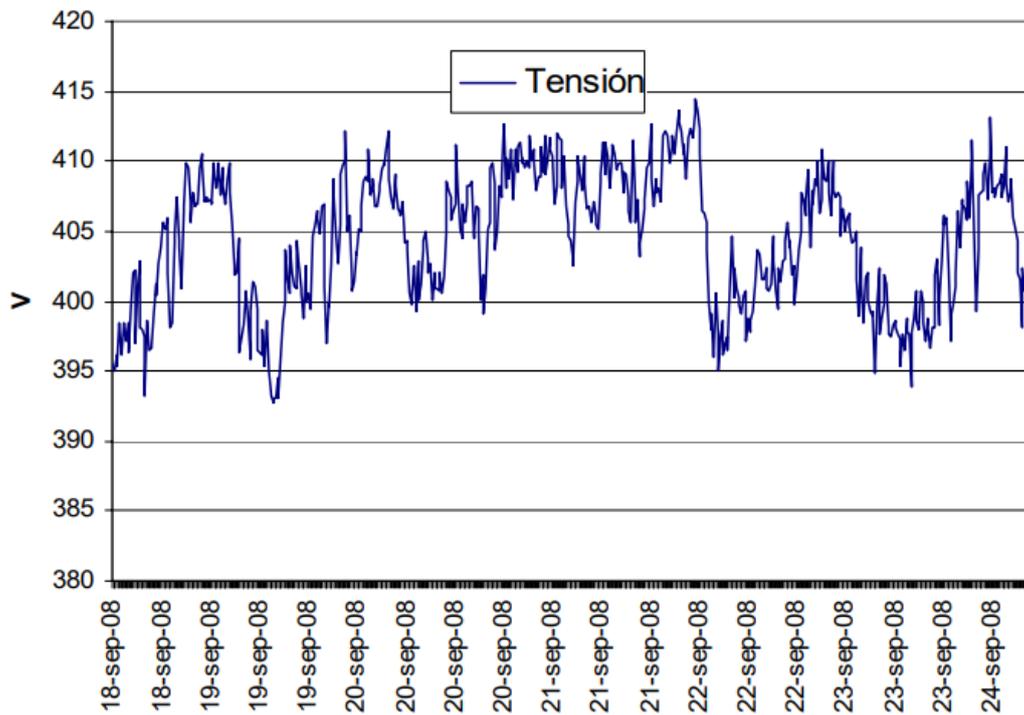


Figura 11: Ejemplo de una medición de la tensión [9]

### 3.3.3.3-Factor de potencia

El factor de potencia es la relación existente entre la energía activa y la reactiva, en otras palabras, indica la cantidad de energía eléctrica que se ha convertido en trabajo.

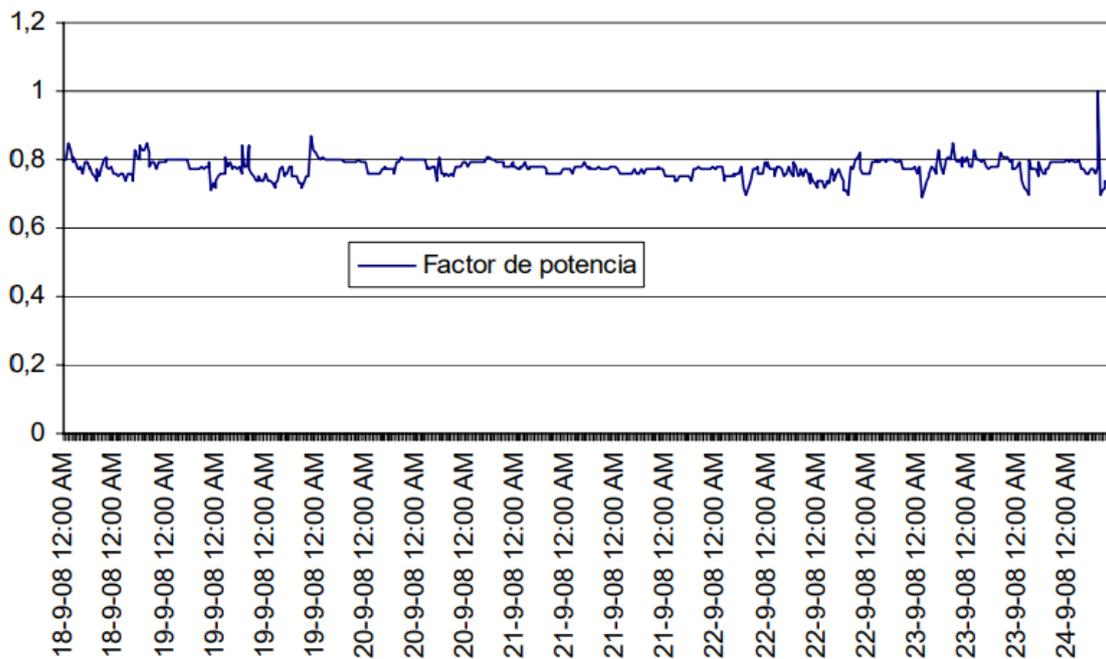


Figura 12: Ejemplo de una medición del factor de potencia [9]

El valor del factor de potencia es de vital importancia para conocer el estado del consumo de energía y tomar medidas ya que está relacionado directamente con las siguientes situaciones:

- Reducción de las pérdidas de energía en equipos. Un factor de potencia pequeño implica pérdidas en los dispositivos eléctricos de forma que necesitan consumir una mayor cantidad de corriente para producir la misma potencia activa.
- Mejora en el uso de equipos eléctricos. La mayoría de los aparatos están diseñados para trabajar con factores de potencia cercanos a la unidad, por ello, contar con valores bajos de este indicador disminuye la eficiencia con la que trabajan las máquinas y puede reducir su vida útil.
- Disminución de pérdidas en las líneas. Para un valor de potencia activa constante, un factor de potencia cercano a la unidad reduce las pérdidas en las líneas ya que circula una cantidad menor de corriente, como puede observarse en la Figura 13. El hecho de que la intensidad tenga un valor menor tiene dos consecuencias positivas. Por un lado, se disminuyen las pérdidas por efecto Joule ya que estas dependen de la cuadrado de la intensidad. Por el otro, la sección de los cables puede reducirse, lo que abarataría los costes de la instalación.
- Reducción de la caída de tensión. Un elevado consumo de corriente reactiva puede desencadenar en una caída del potencial debida a la impedancia natural de los cables.
- Reducción de los costes. Las empresas de suministro de energía cobran a las empresas la energía aparente consumida. Esta energía, está compuesta por la activa y la reactiva. Como se observa en la Figura 13, para el mismo valor de energía activa, conforme aumenta la reactiva también lo hace la aparente y, por tanto, mayor es el coste económico. Por tanto, para reducir el gasto en energía es preciso aumentar el factor de potencia.

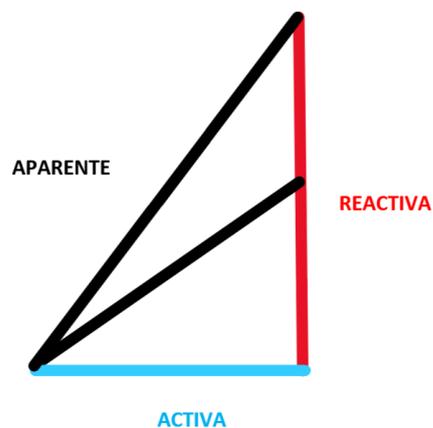


Figura 13: Triángulo de energías

### 3.3.3.4-Intensidades de línea

Son las intensidades que circulan por cada una de las líneas de la red trifásica, debiendo estar equilibradas.

Conocer los valores de la intensidad de las distintas líneas es interesante por las siguientes razones:

- Detección de anomalías. Valores excesivamente elevados o pequeños de las corrientes pueden ser debidos a problemas de funcionamiento de los equipos eléctricos.
- Identificación de pérdidas. Registrando de forma continua el valor de la corriente que circula por las líneas es sencillo detectar algún valor anormal que pueda asociarse a las pérdidas de corriente.

Consumo excesivo. Controlando la intensidad de las líneas es posible identificar si alguno de los equipos posee un consumo mayor de lo esperado

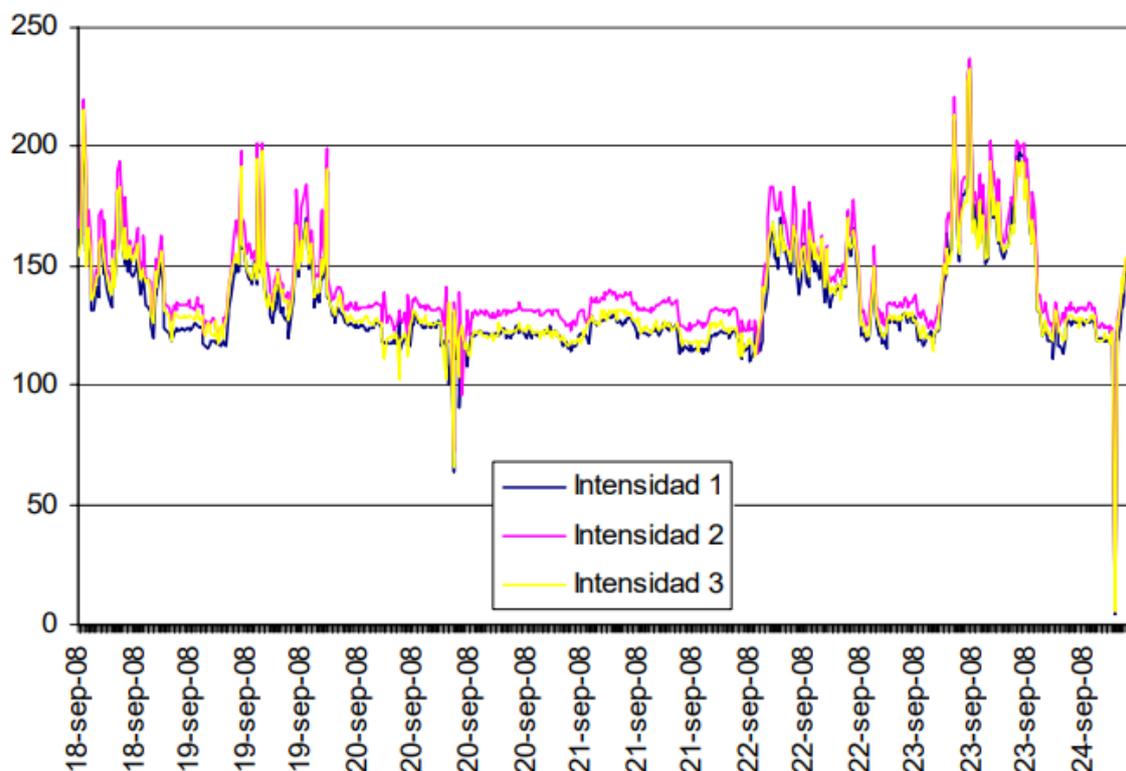


Figura 14: Ejemplo de una medición de intensidades de línea [9]

### 3.3.3.5-Armónicos

Los armónicos eléctricos son perturbaciones en la frecuencia real de la señal, son corrientes o voltajes en múltiplos de su frecuencia fundamental.

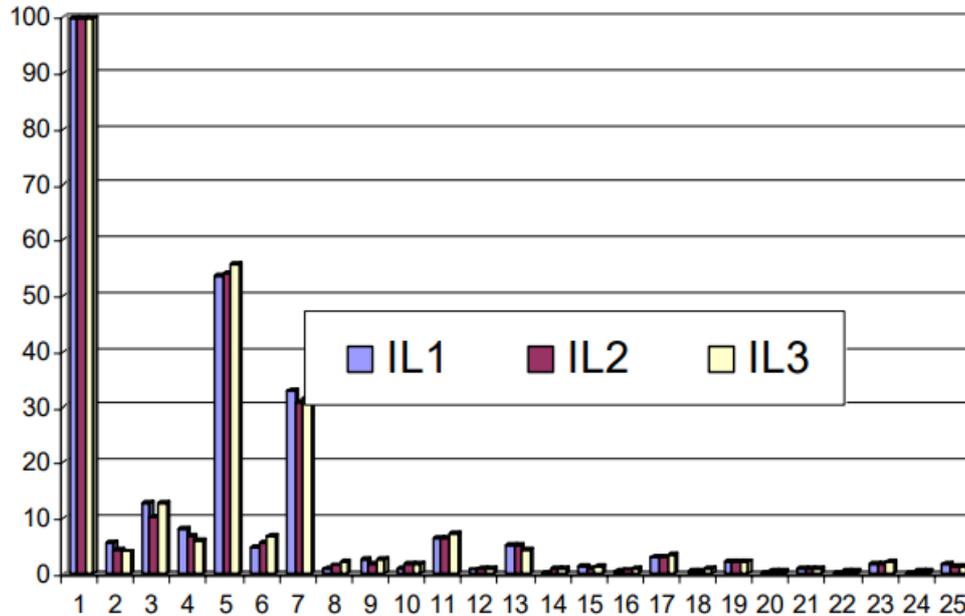


Figura 15: Ejemplo de una medición de los armónicos [9]

Los siguientes sucesos denotan la importancia del estudio de los armónicos de las intensidades de línea:

- Consumo de energía. Los armónicos causan un incremento en el gasto de energía y, por tanto, reducen la eficiencia energética de la planta.
- Vida útil de los equipos. Una frecuencia distinta a la del diseño del equipo puede generar vibraciones que aceleren el deterioro de los aparatos y aumentar los costes de mantenimiento.

## 3.4 APLICACIÓN PRÁCTICA. VARIABLES DE ESTUDIO

Como se ha mencionado con anterioridad, los autómatas son capaces de medir muchos parámetros y no todos son de interés para el estudio del consumo de energía. Mediante el análisis de variables presentado previamente, se esclarece qué valores deben seleccionarse. De los equipos presentes en la aplicación práctica, los que se utilizan para la medición son:

- Analizador de energía.
- Tesys U (contactores).
- Variador de frecuencia.

### 3.4.1 Analizador de energía

En las Figuras 16, 17, 18 y 19 se muestran los valores que es capaz de medir el analizador de energía. Entre todos ellos, se han elegido, conforme los resultados del análisis de variables, los que se encuentran subrayados en color amarillo.

Por lo que respecta a las magnitudes por fase, Figura 16:

- Se ha elegido medir todas las magnitudes correspondientes a las fases para poder conocer qué sucede en cada una de ellas por separado. De esta forma, resulta más sencillo detectar qué dispositivos son los posibles causantes de consumos excesivos ya que se conocen los aparatos que cuelgan de cada una de las fases.
- No se ha tomado el valor de la potencia aparente de las fases ya que este parámetro suele utilizarse para conocer el coste económico de la instalación, y, para ello, resulta más interesante obtener la magnitud total de la planta industrial.

PARAMETER	SYMBOL	Instant	Maximum	Minimum	Units
Voltage phase	<i>V L1</i>	00-01	60-61	C0-C1	<i>V x10</i>
Current	<i>A L1</i>	02-03	62-63	C2-C3	<i>mA</i>
Active power	<i>kW L1</i>	04-05	64-65	C4-C5	<i>w</i>
Reactive power	<i>Kvar L1</i>	06-07	66-67	C6-C7	<i>w</i>
Apparent power	<i>kV·A L1</i>	4A-4B	AA-AB	10A-10B	
Power factor	<i>PF L1</i>	08-09	68-69	C8-C9	<i>x 100</i>
Voltage phase	<i>V L2</i>	0A-0B	6A-6B	CA-CB	<i>V x10</i>
Current	<i>A L2</i>	0C-0D	6C-6D	CC-CD	<i>mA</i>
Active power	<i>kW L2</i>	0E-0F	6E-6F	CE-CF	<i>w</i>
Reactive power	<i>Kvar L2</i>	10-11	70-71	D0-D1	<i>w</i>
Apparent power	<i>kV·A L2</i>	4C-4D	AC-AD	10C-10D	<i>w</i>
Power factor	<i>PF L2</i>	12-13	72-73	D2-D3	<i>x 100</i>
Voltage phase	<i>V L3</i>	14-15	74-75	D4-D5	<i>V x10</i>
Current	<i>A L3</i>	16-17	76-77	D6-D7	<i>mA</i>
Active power	<i>kW L3</i>	18-19	78-79	D8-D9	<i>W</i>
Reactive power	<i>Kvar L3</i>	1A-1B	7A-7B	DA-DB	<i>W</i>
Apparent power	<i>kV·A L3</i>	4E-4F	AE-AF	10E-10F	<i>w</i>
Power factor	<i>PF L3</i>	1C-1D	7C-7D	DC-DD	<i>x 100</i>
Temperature	<i>°C</i>	50-51	B0-B1	110-111	<i>°C x 10</i>

Figura 16: Magnitudes por fase [10]

En relación con las magnitudes totales, Figura 17:

- No se han seleccionado los parámetros de frecuencia y voltaje entre fases ya que no son de utilidad para el cálculo del consumo de energía.
- El parámetro de la demanda máxima se ha elegido por su utilidad a la hora de planificar la producción en función del consumo.

Diseño de un sistema de adquisición de datos aprovechando la infraestructura de automatización industrial existente para el estudio y optimización de la gestión energética en entornos industriales

PARAMETER	SYMBOL	Instant	Maximum	Minimum	Units
Active power III	<i>kW III</i>	1E-1F	7E-7F	DE-DF	w
Inductive power III	<i>KvarL III</i>	20-21	80-81	E0-E1	w
Capacitive power III	<i>KvarC III</i>	22-23	82-83	E2-E3	w
Cos $\varphi$ III	<i>Cos <math>\varphi</math> III</i>	24-25	84-85	E4-E5	<i>x 100</i>
Power factor III	<i>PF III</i>	26-27	86-87	E6-E7	<i>x 100</i>
Frequency	<i>Hz</i>	28-29	88-89	E8-E9	<i>Hz x 10</i>
Voltage line L1-L2	<i>V12</i>	2A-2B	8A-8B	EA-EB	<i>V x10</i>
Voltage line L2-L3	<i>V23</i>	2C-2D	8C-8D	EC-ED	<i>V x10</i>
Voltage line L3-L1	<i>V31</i>	2E-2F	8E-8F	EE-EF	<i>V x10</i>
% THD V L1	<i>%THD VL1</i>	30-31	90-91	F0-F1	<i>% x 10</i>
% THD V L2	<i>%THD VL2</i>	32-33	92-93	F2-F3	<i>% x 10</i>
% THD V L3	<i>%THD VL3</i>	34-35	94-95	F4-F5	<i>% x 10</i>
% THD A L1	<i>%THD AL1</i>	36-37	96-97	F6-F7	<i>% x 10</i>
% THD A L2	<i>%THD AL2</i>	38-39	98-98	F8-F9	<i>% x 10</i>
% THD A L3	<i>%THD AL3</i>	3A-3B	9A-9B	FA-FB	<i>% x 10</i>
Apparent power III	<i>KvaIII</i>	42-43	A2-A3	102-103	w
Maximum demand	<i>Md (Pd)</i>	44-45	A4-A5	104-105	<i>w/VA/mA</i>
Three-phase current (average)	<i>A_AVG</i>	46-47	A6-A7	106-107	<i>mA</i>
Neutral current	<i>In</i>	48-49	A8-A9	108-109	<i>mA</i>
Maximum demand A2	<i>Md (Pd)</i>	52-53	B2-B3	112-113	<i>mA</i>
Maximum demand A3	<i>Md (Pd)</i>	54-55	B4-B5	114-115	<i>mA</i>

Figura 17: Magnitudes Totales [10]

Por lo que atañe a los armónicos, se han seleccionado todos los posibles valores para analizar la mayor cantidad de múltiplos de la frecuencia fundamental.

* Recordings available in HAR model		MODBUS VARIABLES			
PARAMETER	SYMBOL	L1	L2	L3	Units
Harmonic content in CURRENT		Instant	Maximum	Minimum	
RMS current	A	1F4-1F5	212-213	230-231	<i>mA</i>
Harmonic 2		1F6-1F7	214-215	232-233	<i>%</i>
Harmonic 3		1F8-1F9	216-217	234-235	<i>%</i>
Harmonic 4		1FA-1FB	218-219	236-237	<i>%</i>
Harmonic 5		1FC-1FD	21A-21B	238-239	<i>%</i>
Harmonic 6		1FE-1FF	21C-21D	23A-23B	<i>%</i>
Harmonic 7		200-201	21E-21F	23C-23D	<i>%</i>
Harmonic 8		202-203	220-221	23E-23F	<i>%</i>
Harmonic 9		204-205	222-223	240-241	<i>%</i>
Harmonic 10		206-207	224-225	242-243	<i>%</i>
Harmonic 11		208-209	226-227	244-245	<i>%</i>
Harmonic 12		20A-20B	228-229	246-247	<i>%</i>
Harmonic 13		20C-20D	22A-22B	248-249	<i>%</i>
Harmonic 14		20E-20F	22C-22D	24A-24B	<i>%</i>
Harmonic 15		210-211	22E-22F	24C-24D	<i>%</i>

Figura 18: Armónicos [10]

En lo referente a la Energía, Figura 19:

- No se registran ni la energía inductiva ni la capacitiva ya que el parámetro de energía interesante es la energía activa. Asimismo, si se deseara, podría calcularse con los valores de potencia activa y reactiva de toda la instalación.
- Como únicamente quiere conocerse el consumo no se han recogido los valores de energía generada.

PARAMETER	SYMBOL	MODBUS VARIABLES			Units
		Instant	Maximum	Minimum	
Active energy	$kW \cdot h$ III	3C-3D	9C-CD	FC-FD	$w \cdot h$
Inductive reactive energy	$kvarL \cdot h$ III	3E-3F	9E-9F	FE-FF	$w \cdot h$
Capacitive reactive energy	$kvarC \cdot h$ III	40-41	A0-A1	100-101	$w \cdot h$
Apparent energy	$kVA \cdot h$ III	56-57	B6-B7	116-117	$w \cdot h$
Active energy generated	$kW \cdot h$ III (-)	58-59	B8-B9	118-119	$w \cdot h$
Inductive energy generated	$kvarL \cdot h$ III (-)	5A-5B	BA-BB	11A-11B	$w \cdot h$
Capacitive energy generated	$kvarC \cdot h$ III (-)	5C-5D	BC-BD	11C-11D	$w \cdot h$
Apparent energy generated	$kVA \cdot h$ III (-)	5E-5F	BE-BF	11E-11F	$w \cdot h$

Figura 19: Energías [10]

### 3.4.2 Tesys u. Contactores

De los contactores no se ha seleccionado ninguna medida ya que los valores de lectura que presenta el dispositivo son, entre otros, los siguientes parámetros:

- Número de fallos por cortocircuito.
- Número de fallos magnéticos.
- Número de fallos por falta de corriente.
- Fallo del cableado de control.

Como puede observarse, estas variables no son útiles para el cálculo del consumo de energía. Por otro lado, a pesar de que entre las posibilidades de lectura que ofrece el Tesys U se encuentre el valor de la corriente que circula por el dispositivo, este dato no resulta interesante registrarlo ya que se mide a través del analizador de energía, que se encuentra aguas arriba de los contactores.

### 3.4.3 Variador de frecuencia

Los parámetros registrados en el variador de frecuencia están directamente relacionados con el consumo de energía, sin embargo, se ha considerado importante contar con alguno de ellos.

En este caso, se realizará la lectura del estado, movimiento y sentido de giro del motor por los siguientes motivos:

- Estado del motor. Indica si está encendido o apagado, y puede explicar variaciones en el consumo de potencia activa, un aumento si está en marcha o una disminución si está parado.

Diseño de un sistema de adquisición de datos aprovechando la infraestructura de automatización industrial existente para el estudio y optimización de la gestión energética en entornos industriales

- Aceleración o deceleración. Conocer estos parámetros permite establecer replantear el uso de energía. Por ejemplo, puede aprovecharse la energía de un motor decelerando, redirigiéndola a otros equipos.
- Giro del motor. Permite saber si el motor está actuando como motor o como generador.

Código de estado del perfil DCU, parámetro 0303 COD ESTADO BC 1			
Bit	Nombre	Valor	Información
0	READY	1	El convertidor está listo para recibir el comando de marcha.
		0	El convertidor no está listo.
1	ENABLED	1	Señal de Permiso de marcha externa recibida.
		0	Señal de Permiso de marcha externa no recibida.
2	STARTED	1	El convertidor ha recibido el comando de marcha.
		0	El convertidor no ha recibido el comando de marcha.
3	RUNNING	1	El convertidor está modulando.
		0	El convertidor no está modulando.
4	ZERO_SPEED	1	El convertidor está a velocidad cero.
		0	El convertidor no ha alcanzado velocidad cero.
5	ACCELERATE	1	La unidad está acelerando.
		0	La unidad no está acelerando.
6	DECELERATE	1	La unidad está decelerando.
		0	La unidad no está decelerando.
7	AT_SETPOINT	1	El convertidor está en el punto de ajuste. El valor actual equivale al valor de referencia (es decir, está dentro de los límites de tolerancia).
		0	El convertidor no ha alcanzado el punto de ajuste.
8	LIMIT	1	El funcionamiento está limitado por los ajustes del grupo 20 <b>LIMITES</b> .
		0	El funcionamiento está dentro de los ajustes del grupo 20 <b>LIMITES</b> .
9	SUPERVISION	1	Un parámetro supervisado (grupo 32 <b>SUPERVISION</b> ) está fuera de sus límites.
		0	Todos los parámetros supervisados están dentro de los límites.
10	REV_REF	1	La referencia del convertidor tiene dirección de retroceso.
		0	La referencia del convertidor tiene dirección de avance.
11	REV_ACT	1	El convertidor funciona en dirección de retroceso.
		0	El convertidor funciona en dirección de avance.
12	PANEL_LOCAL	1	El control se encuentra en modo local del panel de control (o herramienta PC).
		0	El control no se encuentra en modo local del panel de control.
13	FIELDBUS_LOCAL	1	El control se encuentra en modo local del bus de campo.
		0	El control no se encuentra en modo local del bus de campo.
14	EXT2_ACT	1	El control se encuentra en modo EXT2.
		0	El control se encuentra en modo EXT1.
15	FAULT	1	El convertidor está en un estado de fallo.
		0	El convertidor no está en un estado de fallo.

Figura 20: Contenido de estado para el perfil DCU [14]

### 3.5-CONOCIMIENTOS PREVIOS. ESTRUCTURA DE AUTOMATIZACIÓN Y COMUNICACIONES

Para diseñar el programa es necesario conocer la estructura de automatización de la planta industrial y el tipo de comunicación que utiliza. Esto permitirá comprender el funcionamiento de la fábrica y facilitará el trabajo a la hora de establecer las comunicaciones entre los dispositivos.

#### 3.5.1-Estructura de automatización industrial

Desde los inicios, la industria ha sufrido variaciones significativas en sus métodos de producción a medida que la tecnología se desarrollaba. Los cuatro grandes cambios tecnológicos que han permitido evolucionar a la industria son los representados en la Figura 21: la mecanización, la producción en serie, la automatización industrial y el flujo completamente integrado (IoT).



Figura 21: Flujo de la evolución de la industria

La última revolución industrial se presenta como la Industria 4.0 o tecnología IoT (Internet of things). Este modelo promueve el uso de dispositivos con capacidad de conexión a Internet para facilitar la comunicación entre equipos y la accesibilidad y la recogida de información. Si bien es verdad que esta tecnología ya está siendo utilizada en algunos sectores, la gran parte de las plantas industriales todavía no cuenta con ella ya que se encuentra en proceso de desarrollo y es necesario realizar una inversión en infraestructura para cambiar los equipos por otros que puedan conectarse a Internet. Por otro lado, la Industria 3.0 cuenta con una mayor expansión, encontrándose en prácticamente todas las fábricas. Debido a ello, se partirá de este modelo industrial para desarrollar la alternativa propuesta en el presente proyecto.

## Diseño de un sistema de adquisición de datos aprovechando la infraestructura de automatización industrial existente para el estudio y optimización de la gestión energética en entornos industriales

---

La automatización o Industria 3.0 hace referencia al uso de robots, ordenadores o autómatas programables, entre otros tipos de tecnología, para controlar y mecanizar los procesos. De esta manera se consigue optimizar las operaciones y lograr una producción más eficiente.

La estructura de automatización industrial está formada por los niveles mostrados en la Figura 22.

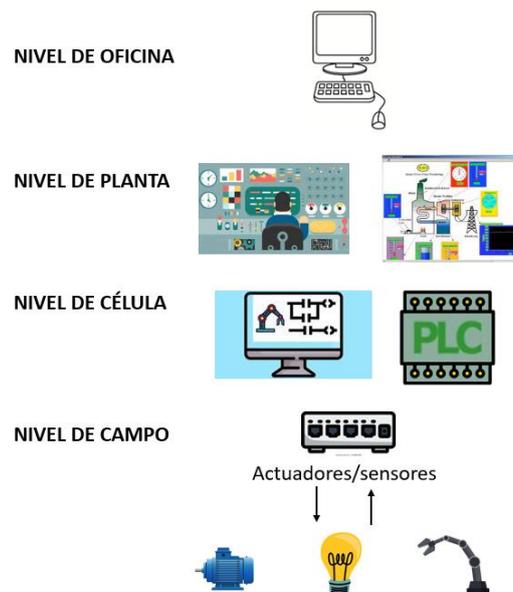


Figura 22: Estructura de automatización Industria 3.0

1. Nivel de oficina. Una vez recopilados los datos se estudian los procesos por ingenieros a nivel de oficina para poder optimizarlos.
2. Nivel de planta. Consiste en un ordenador central a nivel de fábrica que controla el proceso mediante el software proporcionado por el proveedor de los equipos de control. Suelen ser sistemas SCADA donde se visualiza y parametrizan los procesos.
3. Nivel de célula. Los autómatas programables se encargan de la gestión del control de la planta materializando las órdenes a los diferentes equipos. Los controladores automáticos programables son capaces de comunicarse con los diversos dispositivos utilizando protocolos de comunicación industrial pudiendo así recopilar información relevante de los procesos y enviar instrucciones.
4. Nivel de campo. A este último escalón de la jerarquía pertenecen los equipos capaces de realizar mediciones a tiempo real de las variables de control, conectándose a los autómatas programables a través de un bus de datos.

### 3.5.2-Tipo de comunicación

El modelo de comunicación utilizado en el presente proyecto es el Modbus RS485, un protocolo abierto basado en la arquitectura maestro-esclavo, conectados entre sí a través de buses o redes. El Modbus funciona mediante un sistema de solicitud-respuesta, en el que el maestro da una orden al esclavo, este la recibe y emite una respuesta, que es recibida de nuevo por el maestro. La conexión se realiza según la Norma RS-485, en la que se establece el uso de dos cables, uno con la señal invertida y otro con la no invertida para transmitir la información.

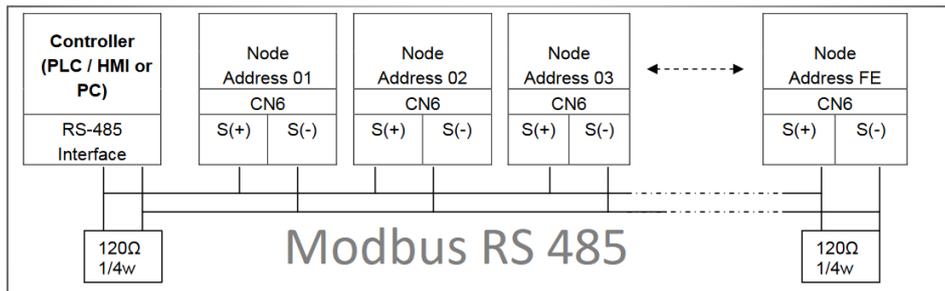


Figura 23: Ejemplo de conexionado del protocolo Modbus RS485 [15]

En la Figura 23, se observa la existencia de una vía de comunicación entre elementos, es decir, únicamente un dispositivo puede enviar datos en un momento concreto. En otras palabras, es preciso establecer un orden de prioridades para que no se crucen las solicitudes de los distintos aparatos, ya que este hecho conduciría a error.

Para la conexión de los equipos eléctricos a la red RS485 es necesario parametrizarlos todos de la misma forma debiendo asegurar:

- Conexión de 2 hilos.
- Asignar un número de esclavo diferente para cada equipo.
- Misma velocidad de transmisión para todos los componentes.
- Resistencia de principio y final de red.

### 3.6-APLICACIÓN PRÁCTICA. DISEÑO DEL PROGRAMA INFORMÁTICO

Una vez determinadas las variables que se desea estudiar, que se dispone de una placa de laboratorio con los equipos más comunes en la industria y que se han estudiado la estructura de automatización y las comunicaciones, ya se cuenta con la información necesaria para proceder al diseño del programa de adquisición de datos.

### 3.6.1-Descripción

Para el desarrollo del programa se utiliza el software facilitado por el fabricante, en este caso, TIA Portal V16. TIA Portal “Totally Integrated Automation” es el software Sismatic de Siemens con el que es posible manejar toda la automatización desde un mismo programa, es decir, mediante esta plataforma pueden programarse los PLC y las pantallas. El programa consiste en el control y medición de las variables seleccionadas previamente en el trabajo estableciendo una comunicación entre el PLC y el resto de los dispositivos. El funcionamiento es sencillo, se establece un orden de prioridades en el que el PLC va realizando llamadas de una en una al resto de equipos, en las que solicita algún dato que es devuelto por el aparato correspondiente. De esta forma, se recogen los valores de las variables.

### 3.6.2-Conexiones y comunicaciones entre los dispositivos de la placa

El programa se basa en la comunicación entre el PLC y el resto de los equipos de automatización presentes en la placa. El esquema de comunicación es el representado en la Figura 24. Esta red cuenta con un maestro, el PLC, y cinco esclavos que son el resto de los elementos.

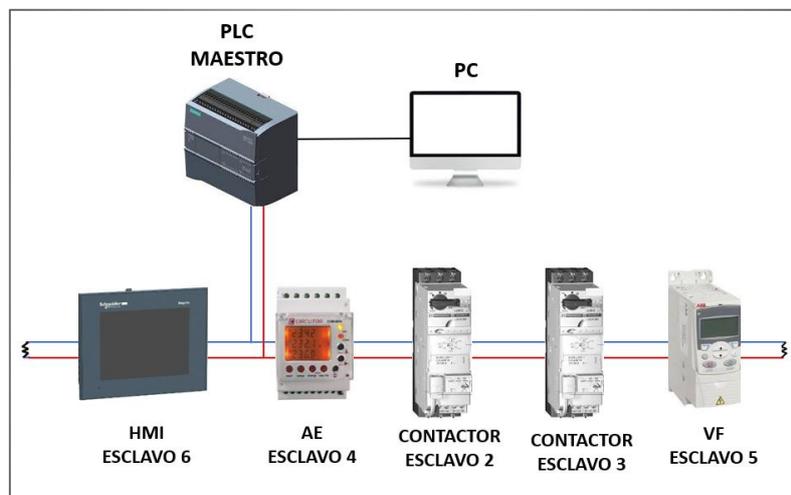


Figura 24: Esquema de conexión RS485

En primer lugar, tenemos los aparatos a nivel de campo: la pantalla HMI, el analizador de energía, los contactores y el variador de frecuencia. En segundo, el PLC a nivel de célula. Y, por último, el ordenador, que en el caso de esta aplicación práctica se encuentre en dos niveles, el de planta y el de oficina. En el nivel de planta porque en él se muestran los comandos y gráficos de la aplicación de automatización SCADA, que permite controlar a distancia los procesos de la planta industrial. Y en el de oficina ya que es el dispositivo que se emplea para analizar y manejar los datos obtenidos.

El objetivo del programa es que los datos lleguen hasta el nivel de oficina con el fin de poder estudiarlos. Para ello, se establece una comunicación jerárquica entre ellos, según

se indica en la Figura 24, siendo el PLC el punto de unión entre los niveles de campo y oficina, es decir, es el equipo que se encarga de coordinar las acciones de recoger la información y dejarla a disposición de los trabajadores.

**Comunicación Campo-Célula.** La comunicación se establece mediante la conexión del PLC a los equipos como se indica en la Figura 24. El funcionamiento es el siguiente:

1. El PLC envía una solicitud a únicamente uno de los esclavos.
2. El esclavo recibe y procesa la solicitud.
3. El PLC recibe la respuesta del esclavo y está disponible para repetir el ciclo.

**Comunicación Célula-Campo.** La comunicación se realiza mediante Ethernet entre el PC y el PLC. A través del software facilitado por el fabricante se programa el PLC desde el PC para obtener los valores de las variables elegidas con anterioridad en el. Una vez recibidas, sus valores pueden analizarse desde el PC.

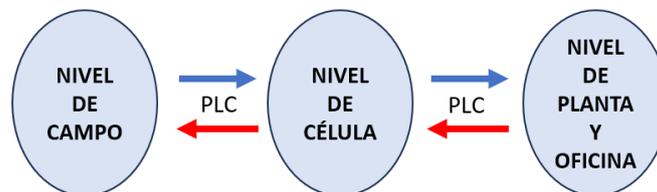


Figura 25: Comunicación entre los niveles de la estructura de automatización

### 3.6.3- Parámetros de diseño

Por lo que respecta a los parámetros de diseño se han establecido de la siguiente manera:

- Velocidad: 9600 Baudios.
- Paridad (detección de errores): par.
- Asignación de número de esclavo: según la Figura 23.
- Conexión de dos hilos, Figura 23.

### 3.6.4- Configuración de las variables. Direcciones de memoria

Dentro de los dispositivos los datos se encuentran en direcciones de memoria. Una dirección de memoria es un identificador para una ubicación de una única memoria, que con otros equipos como una CPU es posible almacenarlos, modificarlos etc. Para poder obtener los datos de las variables de estudio, el PLC realiza llamadas a los dispositivos esclavos en las que indica la dirección de memoria de dónde quiere leerse la información. Sin embargo, no es posible leer todos los parámetros de un dispositivo en la misma llamada, a menos que se encuentren en direcciones de memoria consecutivas. En otras palabras, únicamente pueden registrarse en la misma llamada aquellas variables cuyas direcciones de memoria en el dispositivo se encuentren seguidas unas de las otras ya que no es posible hacer solicitudes con saltos entre memorias.

## Diseño de un sistema de adquisición de datos aprovechando la infraestructura de automatización industrial existente para el estudio y optimización de la gestión energética en entornos industriales

Para optimizar el número de llamadas que realiza el programa se han agrupado las variables que se encuentran en direcciones consecutivas en bloques de datos. La información relativa a las direcciones de memoria puede encontrarse en los datasheets de los equipos, Figuras 26, 27, 28, 29, 30 y 31.

Las agrupaciones realizadas reciben los siguientes nombres: ae armónicos, ae consumo B1, ae consumo B2, ae energía, ae líneas y variador.

Por un lado, se encuentran las medidas del analizador de energía, todas son variables de tipo Dint ya que la longitud que ocupa cada una de ellas, según el datasheet del analizador, son 16 bits. En las Figuras 26, 27, 28, 29 y 30 se muestran las variables recogidas por cada bloque de datos.

ae armónicos		
	Nombre	Tipo de datos
1	Static	
2	C3	*Armonic rms...
3	rms	DInt
4	A2	DInt
5	A3	DInt
6	A4	DInt
7	A5	DInt
8	A6	DInt
9	A7	DInt
10	A8	DInt
11	A9	DInt
12	A10	DInt
13	A11	DInt
14	A12	DInt
15	A13	DInt
16	A14	DInt
17	A15	DInt

Figura 26: Variables “ae armónicos”

ae líneas		
	Nombre	Tipo de datos
1	Static	
2	L3	*Senyal*
3	I	DInt
4	P	DInt
5	Q	DInt
6	fdp	DInt
7	L2	*Senyal*
8	I	DInt
9	P	DInt
10	Q	DInt
11	fdp	DInt
12	L1	*Senyal*
13	I	DInt
14	P	DInt
15	Q	DInt
16	fdp	DInt

Figura 27: Variables “ae líneas”

ae consumo B1		
	Nombre	Tipo de datos
1	Static	
2	C1	*consumo B1*
3	P	DInt
4	Q ind	DInt
5	Q cap	DInt
6	cos phi	DInt
7	FdP	DInt

Figura 28: Variables “ae consumo B1”

ae consumo B2		
	Nombre	Tipo de datos
1	Static	
2	C2	*consumo B2*
3	S	DInt
4	Max demand	DInt

Figura 29: Variables “ae consumo B2”

ae energia		
	Nombre	Tipo de datos
1	Static	
2	E activa	DInt

Figura 30: Variables “ae energía”

Por otro lado, las variables del variador de frecuencia. Todas excepto “Estado” de tipo bool debido a que se trata de variables registradas en un único bit. Por lo que respecta a “Estado” es la lectura completa del registro donde se encuentran los valores que se desea medir.

Variador			Tipo de datos
	Nombre		
1	Static		
2	VF		"VF"
3	Estado		Bool
4	Marcha		Bool
5	Acelerado		Bool
6	Decelerando		Bool
7	Sentido de giro		Bool
8	Estado		DInt

Figura 31: Variables variador

### 3.6.5-Estructura del programa. Estados

El programa se estructura en ocho estados, de esta forma, se establece la prioridad necesaria en la red para que solo se encuentre comunicándose con el PLC un único equipo en cada instante; ya que como se ha mencionado anteriormente solo se dispone de una vía de comunicación.

De forma general, los estados funcionan de la siguiente manera: el PLC solicita la información de alguna variable a un esclavo, y hasta que no se recibe la respuesta con el dato demandado de nuevo en el PLC no se avanza al siguiente. En otras palabras, los estados están diseñados de modo que la condición para pasar de uno a otro sea haber recibido respuesta por parte del autómatas a la orden/solicitud del PLC y así evitar que varios dispositivos traten de utilizar la red de comunicación al mismo tiempo.

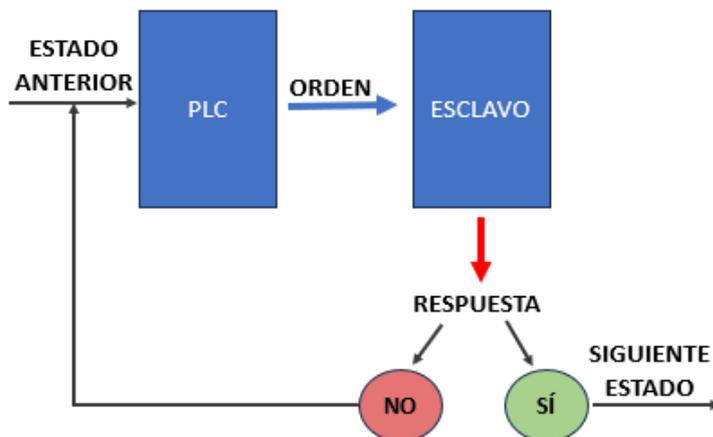


Figura 32: Funcionamiento de los estados del programa

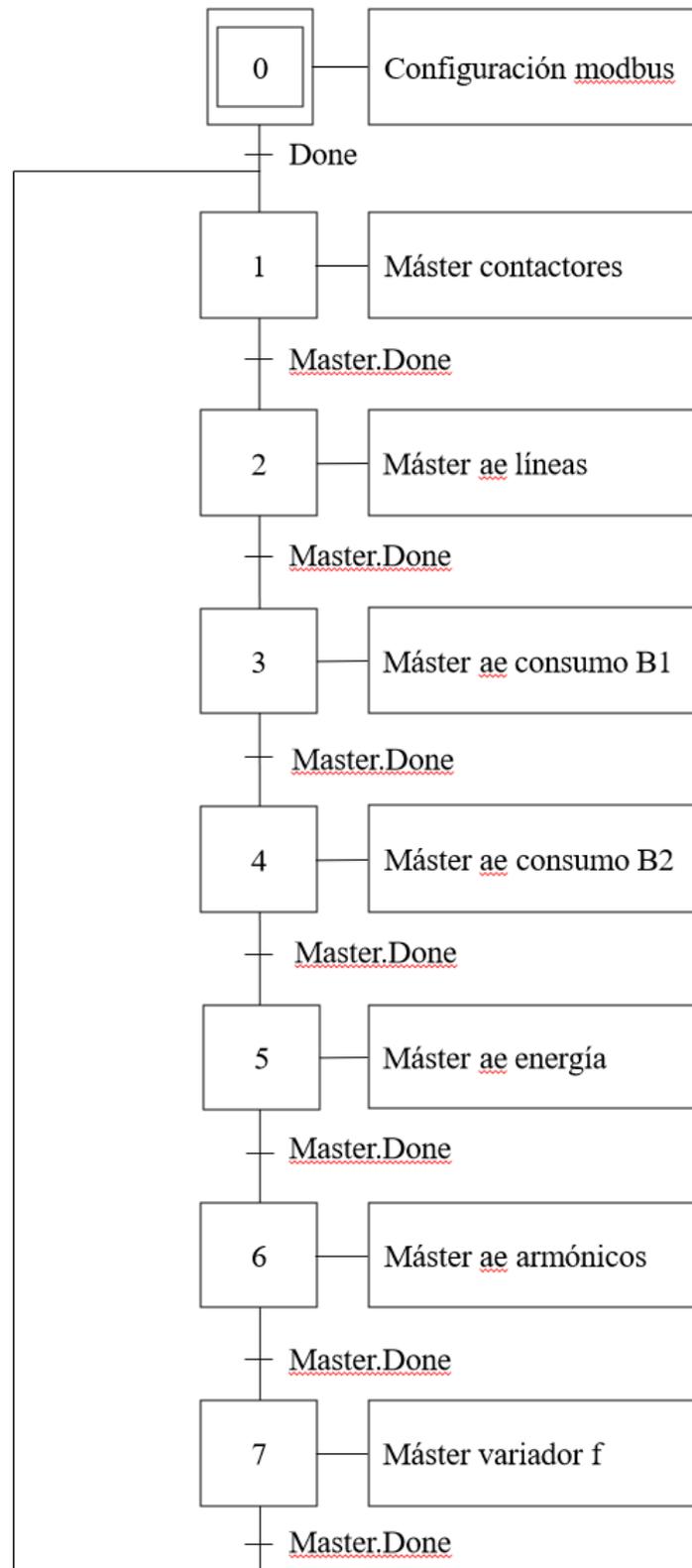


Figura 33: Grafcet programa informático

Una transición tiene el aspecto que se representa en la Figura 34. Se inicializa con la variable estados, y hasta que no se active la variable “Done”, que indica que la acción relativa a ese estado ha sido realizada, no cambia al siguiente.

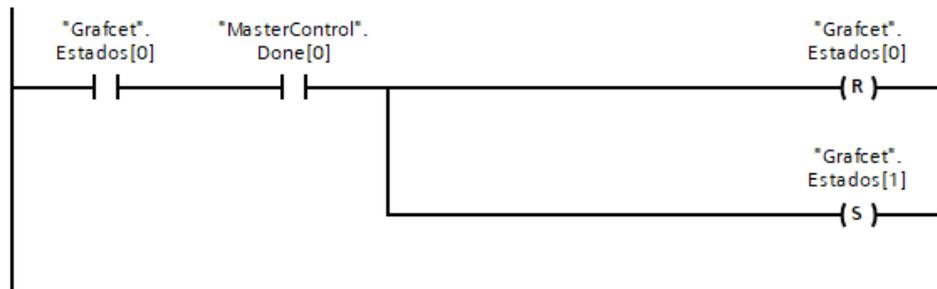


Figura 34: Transición 0-1

Además de cambiar de un estado a otro, el programa cuenta con algunas funciones auxiliares que ayudan a la ejecución de determinadas partes del código.

A continuación, se procederá a describir cada uno de los estados y funciones auxiliares para entender el funcionamiento del programa.

### 3.6.5.1- Estado 0. Configuración del MODBUS.

En el estado 0 se realiza la configuración del MODBUS con los parámetros establecidos en el apartado 3.6.3, subrayados en la Figura 35. Por otro lado, también se indica el puerto y la variable que lo inicia, “FirstScan”.

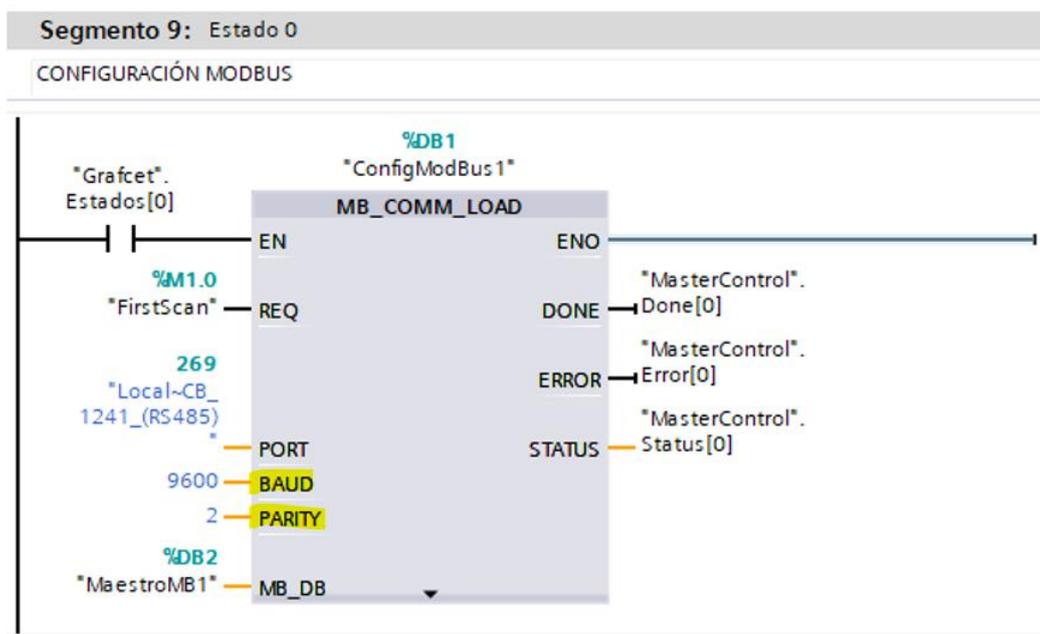


Figura 35: Programa. Estado 0

Para la configuración del MODBUS se ha creado un bloque de datos con las variables necesarias para monitorear y controlar la comunicación entre los dispositivos, Figura 36.

MasterControl		
	Nombre	Tipo de datos
1	Static	
2	Done	Array[0..7] of Bool
3	Status	Array[0..7] of UInt
4	Error	Array[0..7] of Bool
5	Busy	Array[0..7] of Bool

Figura 36: Bloque de datos MasterControl

- “DONE”: indica si se ha realizado la acción relativa al segmento del programa.
- “STATUS”: refleja el estado de la comunicación.
- “ERROR”: muestra si se ha producido algún error y el tipo.
- “BUSY”: señala si el sistema está ocupado o no.

### 3.6.5.2-Configuración de las llamadas a esclavos

La configuración de todas las llamadas de los esclavos se realiza de la misma forma, variando solo las entradas subrayadas en la Figura 37 que difieren en función del equipo y de los datos que se deseen obtener.

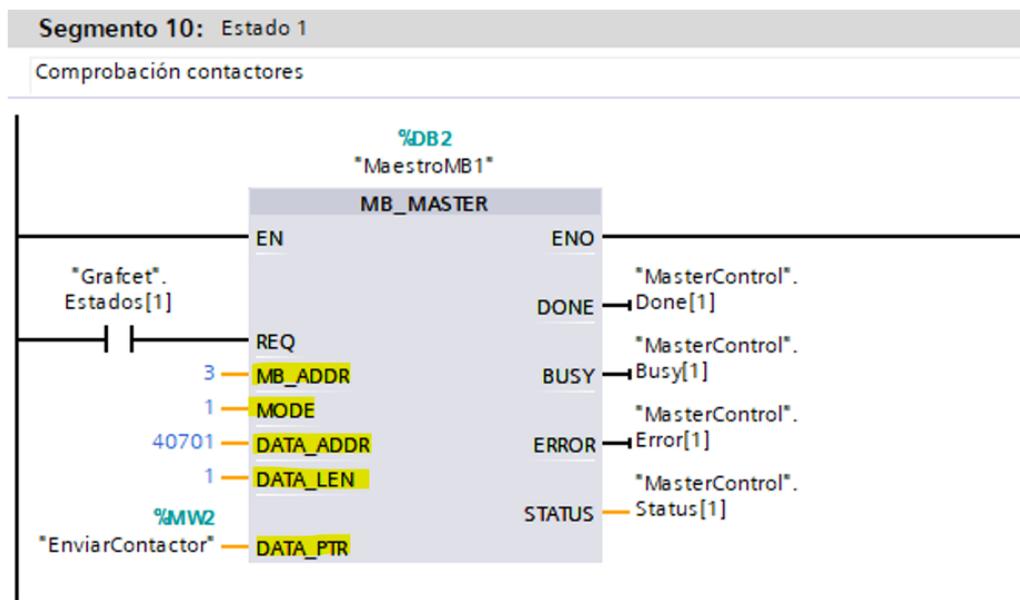


Figura 37: Programa. Estado 1

- “MB\_ADDR”: hace referencia al número del esclavo con el que se desea establecer comunicación.
- “MODE”: indica el modo, 0 lectura, 1 escritura.
- “DATA\_ADDR”: dirección de la memoria a la que se pretende acceder.

- “DATA\_LEN”: longitud de los datos leídos o enviados.
- “DATA\_PTR”: variable donde se registran los valores o se encuentra el dato que se desea enviar al esclavo.

El resto de las variables son iguales en todas las llamadas y son las que forman el bloque de datos “MasterControl” descrito previamente.

### 3.6.5.3-Estado 1

Durante el estado 1 se llama a los contactores para comprobar si circula corriente o no enciendo las bombillas aguas abajo de ellos. Para ello es necesario establecer el modo escritura y hacer uso de una de las funciones auxiliares mencionadas previamente.

En la Figura 38 se muestra como pulsando el interruptor dos se enviará al contactor la señal de cerrarse para que circule corriente y encender la bombilla.

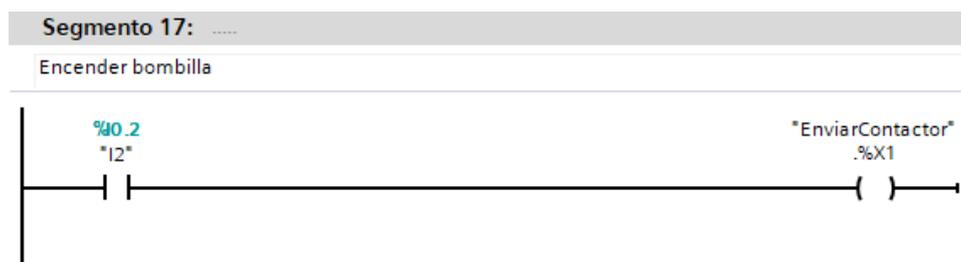


Figura 38: Función auxiliar. Encender bombilla

En conclusión, la utilidad de este estado reside en facilitar la detección de errores de comunicación, haciendo visual si existe fallo o no.

### 3.6.5.4-Estado 2

En el estado 2, se establece el modo lectura para registrar las variables relativas a las fases en el bloque de datos “ae líneas”:

- Intensidad.
- Potencia activa.
- Potencia reactiva.
- Factor de potencia

La longitud de los datos es de 8 bytes, la dirección de memoria es la 40003 y la variable de inicio “Estados [2]”.

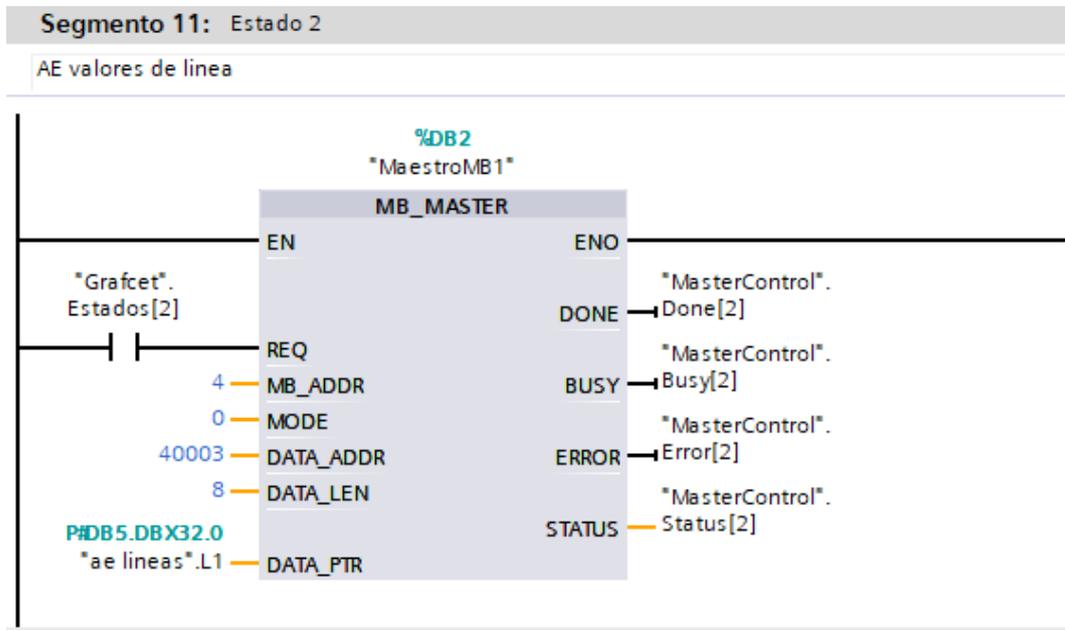


Figura 39: Programa. Estado 2

### 3.6.5.5-Estado 3

El estado 3 tiene el mismo funcionamiento que el 2, sin embargo, en este caso las variables se registran en “ae consumo B1” siendo la longitud total de los datos diez bytes, la dirección 40031 y la variable de inicio “Estados [3].

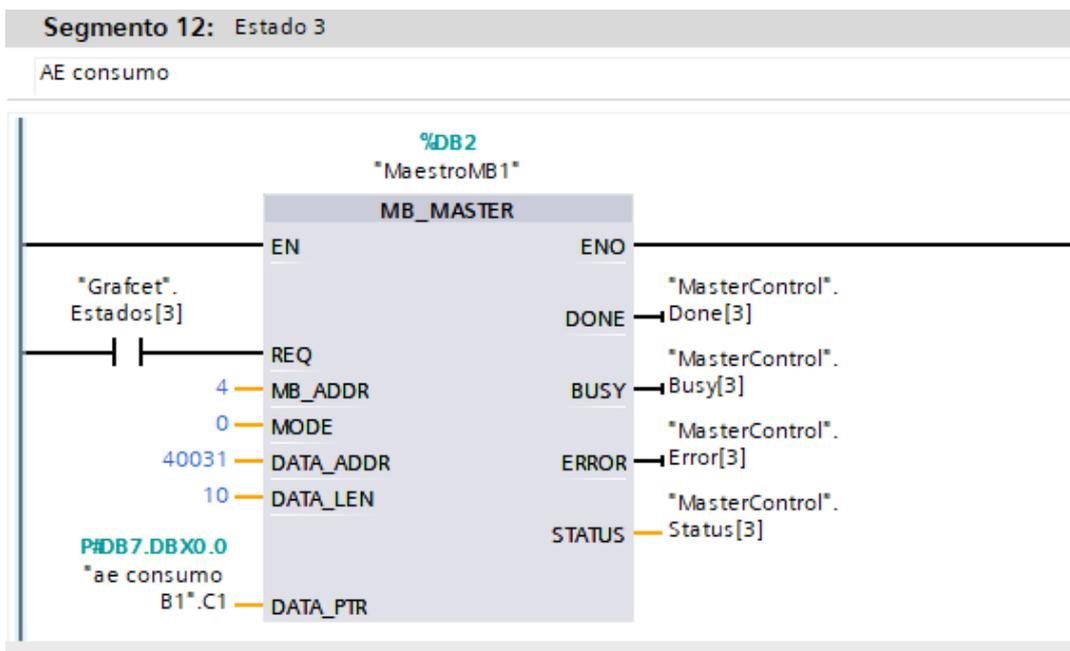


Figura 40: Programa. Estado 3

Las variables medidas en este estado son las siguientes:

- Potencia activa global.
- Potencia reactiva inductiva global.
- Potencia reactiva capacitiva global.
- Coseno de phi.
- Factor de potencia global.

#### 3.6.5.6-Estado 4

Se mantiene la misma idea que en los dos estados anteriores. Las variables se registran en “ae consumo B2” con una longitud total de datos de cuatro bytes y una dirección de memoria 40067, siendo “Estados [4]” la variable de inicialización.

Parámetros registrados en este estado:

- Potencia aparente global.
- Máxima demanda global.

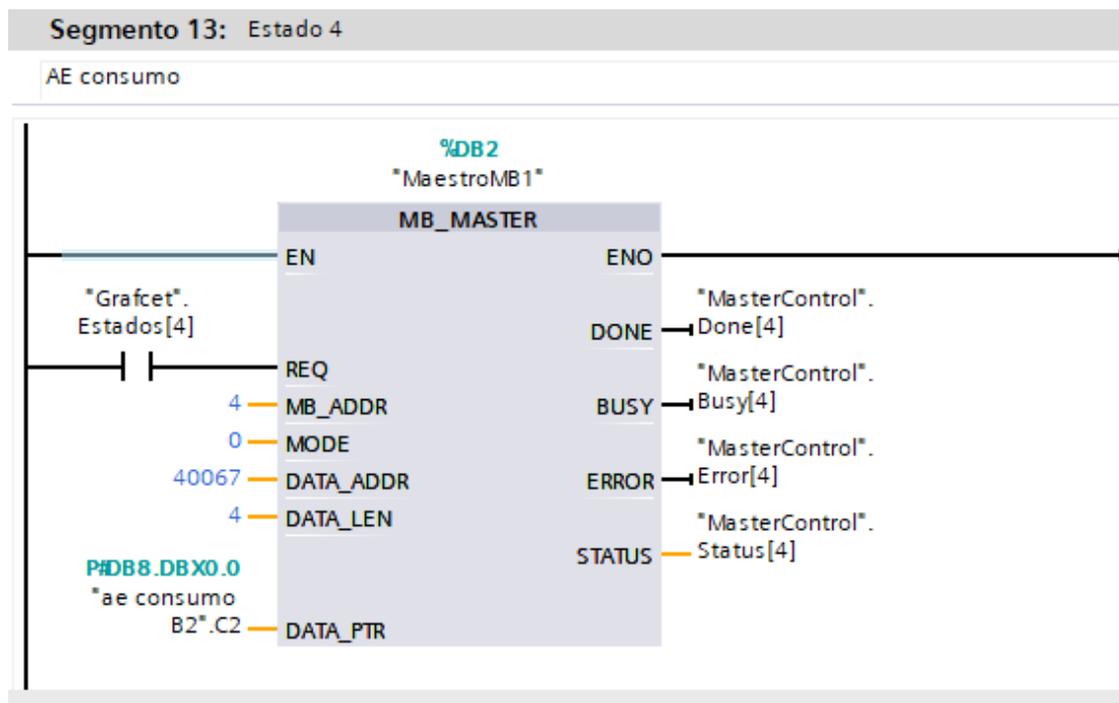


Figura 41: Programa. Estado 4

#### 3.6.5.7-Estado 5

Idéntica filosofía que en los estados 2, 3 y 4. En este caso se registra únicamente el consumo de energía activa.

La dirección de memoria es la 40061 y la longitud total de los datos registrados es de 2 bytes. Por otro lado, la variable de inicialización es “Estados [5]”.

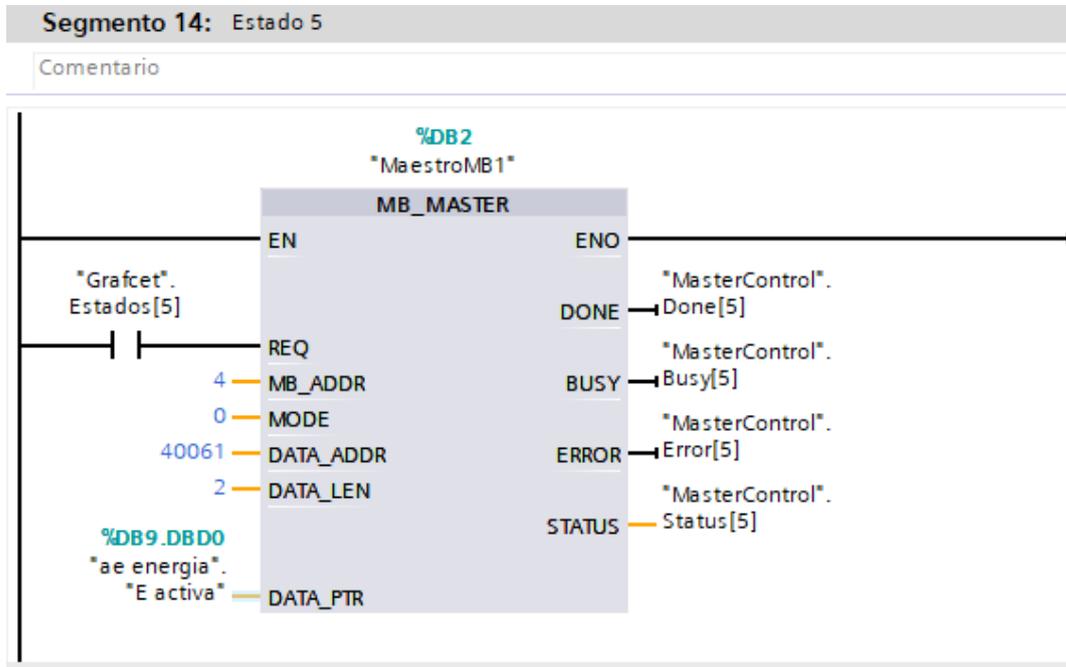


Figura 42: Programa. Estado 5

### 3.6.5.8-Estado 6

Homólogamente a los estados anteriores excepto el 0 y 1, se registran las variables, en este caso los armónicos, en “ae armónicos” siendo la dirección de memoria 40501, la longitud total de los datos es de treinta bytes y la variable de inicialización “Estados [6]”.

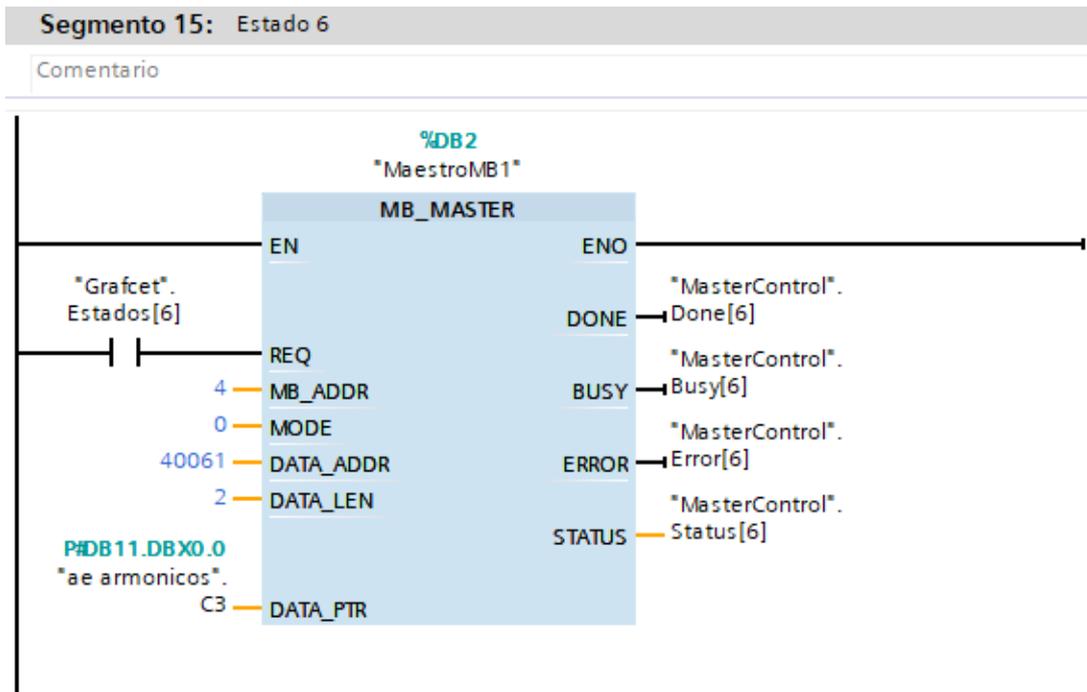


Figura 43: Programa. Estado 6.

### 3.6.5.9-Estado 7

En el estado 7 se llama al variador de frecuencia en modo lectura, accediendo a la dirección de memoria 40033 y leyendo una longitud total de datos de dos bytes.

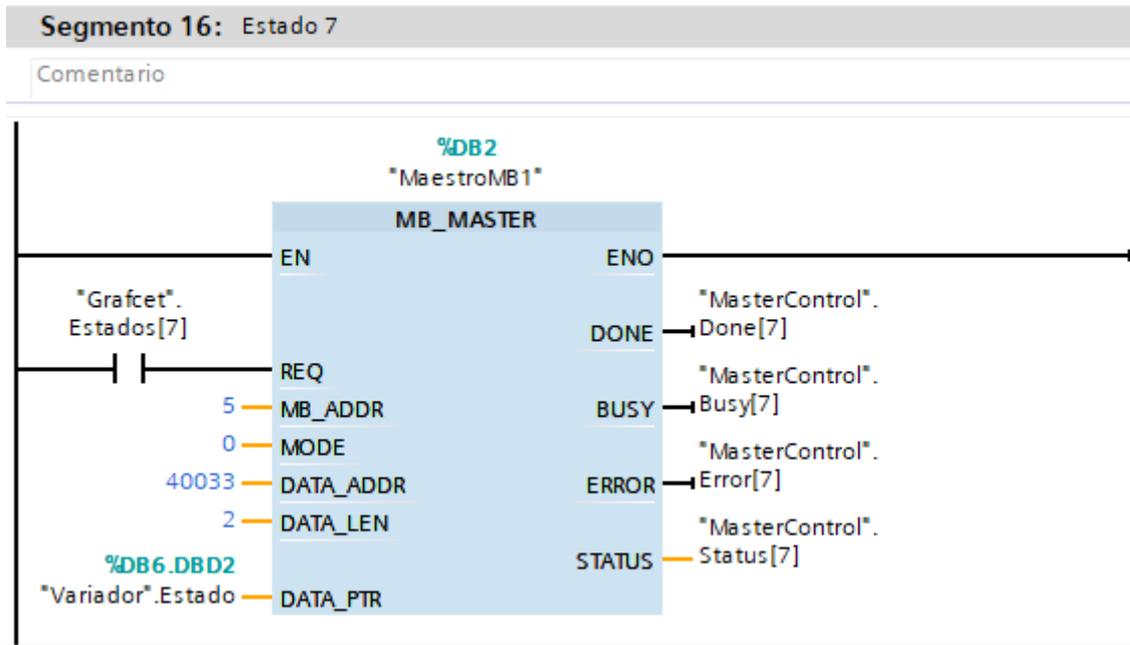


Figura 44: Programa. Estado 7

La lectura realizada se registra en la variable “Estado” del bloque de datos “Variador” ya que se lee la dirección de memoria completa. Los valores de las variables deseadas son del tamaño de un bit y no son consecutivos, ocupan las siguiente posiciones dentro de la memoria.

- Marcha: bit 3.
- Acelerado: bit 5.
- Decelerando: bit 6
- Sentido de giro: bit 11.

Debido a ello, es necesario crear una función que permite guardar cada bit en su variable correspondiente. Esta función recibe el nombre "guardar valores vf"

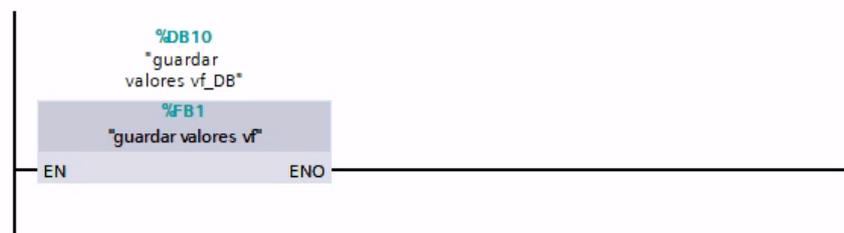


Figura 45: Llamada a la función auxiliar “guardar valores vf”

En las Figuras 46 y 47 se muestra el código de la función “guardar valores vf”. Por ejemplo, en el segmento 1 se asigna a la variable “marcha” el valor del bit 3.

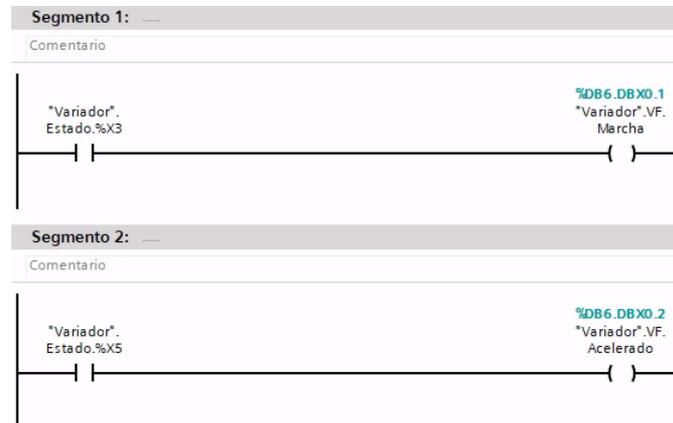


Figura 46: Función guardar valores 1

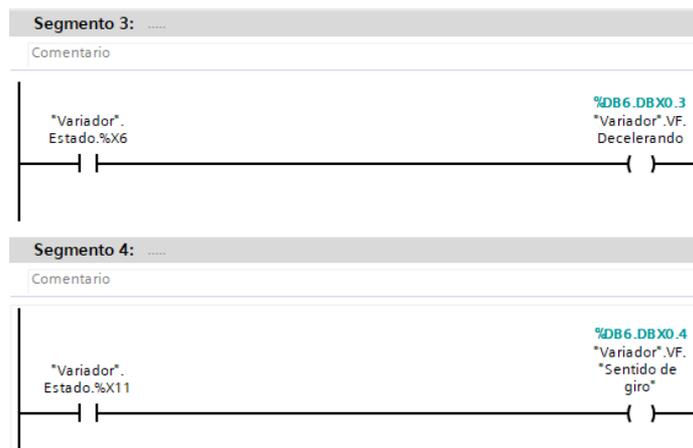


Figura 47: Función guardar valores 2

### 3.7- ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA ELECCIÓN DE UNA BASE DE DATOS

Como se ha mencionado con anterioridad, no es únicamente importante medir los parámetros de consumo energético, sino que también es relevante guardarlos para poder realizar estudios eligiendo el periodo de tiempo que se desee o para comparar el historial de valores de forma continua y detectar anomalías, entre otras posibles aplicaciones.

En la actualidad, la información se registra en bases de datos. Una base de datos es un “Una base de datos es una recopilación organizada de información o datos estructurados, que normalmente se almacena de forma electrónica en un sistema informático.” [16] Este

modelo de registro de datos será el utilizado en el presente trabajo para almacenar la información obtenida mediante el programa informático.

A continuación, se procederá a elegir una base de datos adecuada para la aplicación de este proyecto. Para ello, se ha realizado un análisis de las posibles alternativas.

### 3.7.1- Tipos de bases de datos

Dentro de las bases de datos existen distintas alternativas en función de la función para la que están previstas. Con el fin de poder elegir una modalidad de base de datos adecuada se estudian los distintos tipos que existen y sus usos. En rasgos generales, pueden distinguirse dos grandes grupos, las bases de datos SQL y las NoSQL, que defieren en su complejidad, estructura y tratamiento de los datos. Además, dentro de ellas es posible identificar más tipos. Seguidamente, se muestran las distintas categorías de sistemas de gestión de datos:

- **Bases de datos relacionales.** Son un tipo de bases de datos que almacena y permite el acceso a la información que se encuentra relacionada mediante tablas. Las tablas están organizadas por columnas y filas que utilizan claves para relacionarse entre ellas. Cada fila es un registro con una ID única, la clave, y cada columna contiene los atributos de los datos, teniendo así una estructura SQL. Este tipo de bases de datos es el más utilizado a nivel industrial ya que brindan una gran flexibilidad con respecto a la consulta de datos y son adecuadas para las aplicaciones que requieren realizar operaciones en tiempo real.
- **Bases de datos NoSQL.** Son bases de datos diseñadas específicamente para tratar grandes volúmenes de datos, con un bajo tiempo mínimo de retraso en la transmisión de datos y modelos flexibles. Para ello, no se utiliza la estructura SQL sino que se optimiza el espacio que ocupan los datos dentro de ella. Estas bases de bases de datos cuenta con una gran escalabilidad y un alto rendimiento. Dentro de las bases NoSQL pueden encontrarse distintos tipos. Clave-valor, utilizadas en industrias con IoT. Documentos, los datos en ellas se presentan como documentos. Gráficos, para aplicaciones en las que los datos estén altamente conectados, como redes sociales. En memoria, se emplean para usos que requieren un tiempo de respuesta muy breve. Buscar, bases desarrolladas con el objetivo de ayudar a la resolución de problemas.
- **Bases de datos orientadas a objetos.** Una base de datos orientada a objetos es un tipo de base datos en la que la información está representada a través de objetos y están diseñadas para trabajara mediante lenguajes de programación como Python o Java. La información se organiza en bloques orientados relacionados entre sí: los datos de cada objeto y sus atributos se guardan en un mismo registro, de esta

forma se consigue agrupar toda la información dentro del objeto. Un objeto puede ser una persona o una cosa real que desempeña funciones determinadas. Por otro lado, los atributos son las propiedades o características relativas al objeto. Las bases de datos orientadas a objetos suelen utilizarse cuando se está trabajando ya con lenguajes de programación de objetos, debido a que de este modo los objetos del código se integran con facilidad en este tipo de base de datos.

- **Bases de datos con grafos.** Son bases de datos creadas con el único objetivo de crear y manipular grafos. Los grafos están formados por bordes, las relaciones, nodos, puntos de datos, y propiedades que se utilizan para almacenar y representar datos que mediante una base relacional no sería posible. Se estudia la cercanía entre bordes y nodos y así se obtienen los datos que presentan una mayor relación entre ellos. Dentro de este tipo de base de datos podemos encontrar dos tipos. Gráficos de propiedades, permite modelar en función de las relaciones entre la información y, de esta forma, poder consultarla y analizarla. Grafos RDF, se utilizan para representar metadatos complejos y datos principales.
- **Bases de datos en memoria.** Son un tipo de base de datos que registra toda la información en la memoria principal de un ordenador. Con estas bases de datos la CPU tiene acceso directo a los datos que se almacenan en una memoria RAM, con una velocidad de acceso muy pequeña, lo que quiere decir, que el ordenador es capaz de leer o escribir los datos mucho más rápido que en el resto de bases de datos que requieren de un almacenamiento secundario. Las bases de datos en memoria resultan adecuadas para aplicaciones de IoT ya que con este tipo de industria es necesario procesar los datos a tiempo real.

Una vez se conocen los distintos tipos de bases de datos es posible seleccionar el que mejor se ajusta a las características de la aplicación presentada en este proyecto. Las bases de datos NoSQL, orientadas a objetos y con grafos son demasiado complejas para este uso por las siguientes razones:

- **Bases NoSQL.** Se utilizan para un gran volumen de datos, en este caso no existe una gran cantidad de información. Por otro lado, no es necesaria tanta escalabilidad.
- **Bases de datos orientadas objetos.** El programa informático no se ha realizado mediante lenguaje de programación de objetos como Java o Python, por tanto, no tiene sentido utilizar este tipo de base de datos. Además, resultaría complejo establecer los parámetros de consumo de energía como objetos con sus respectivos atributos.

- **Bases de datos con grafos.** Son demasiado complejas y en este uso es interesante registrar los valores numéricos. Asimismo, muchas son para metadatos complejos que se escapan de esta aplicación.

Las dos posibilidades restantes son las bases de datos SQL y en memoria. Las bases en memoria son para usos en los que la característica más importante es el tiempo que se tarda en acceder a los datos, usos como el mencionado previamente IoT, sin embargo, esta aplicación se ha realizado para el modelo de Industria 3.0. Por ello, se ha descartado el modelo de bases en memoria y se ha elegido el SQL.

Las bases de datos relacionales cumplen las características para esta aplicación, es decir, son sencillas y permiten el análisis de los datos en tiempo real. Además, ya son las más utilizadas en la industria, lo que facilita aún más su implementación ya que una gran cantidad de fábricas cuentan con ellas. En la Figura 48 se muestra un resumen de las funciones de las bases de datos SQL.

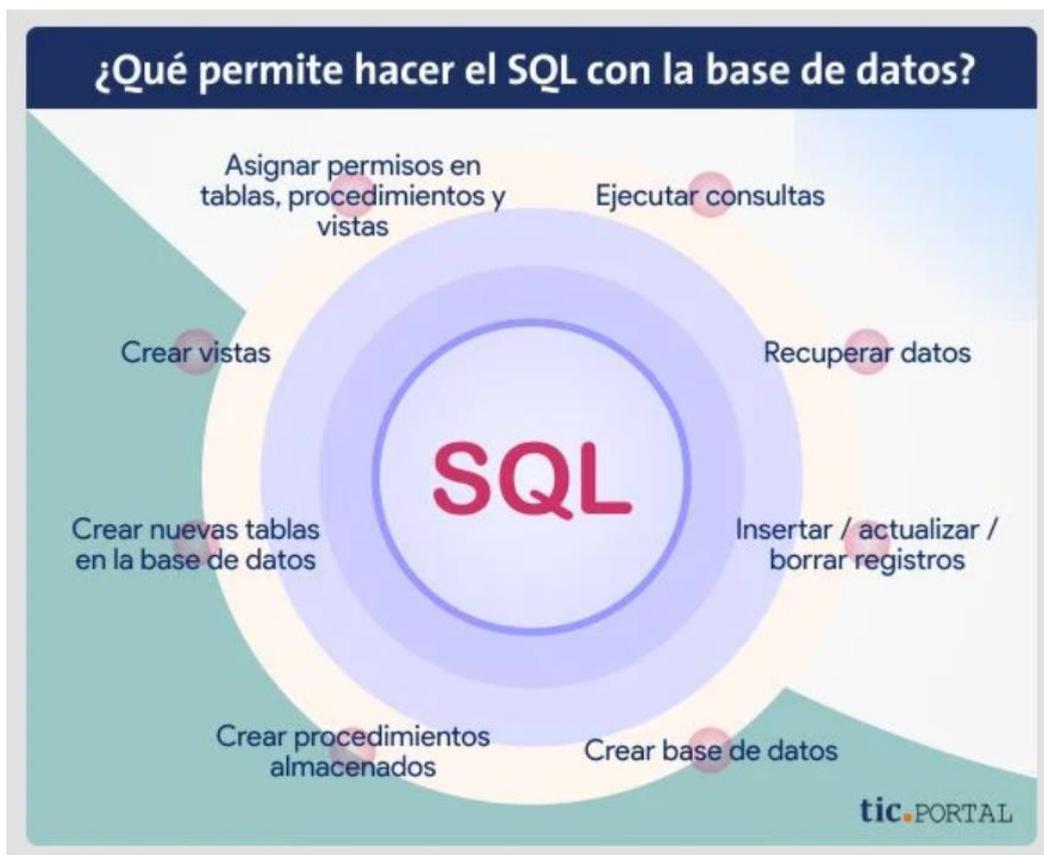


Figura 48: Bases de datos SQL. [17]

### 3.7.2 Bases de datos SQL. Elección del software.

Dentro de las bases de datos SQL existen diversos programas facilitados por empresas de este sector. Por ejemplo, Oracle Database, MySQL, PostgreSQL, Microsoft SQLserver, Google Cloud SQL o IBM Db2 entre otras.

Para la aplicación práctica en la placa de laboratorio el software más adecuado sería Excel, a pesar de no ser una base de datos en su esencia. Las razones por las que se ha elegido esta plataforma son las siguientes:

- **Datos numéricos.** La información recogida acerca de los parámetros de consumo energético son valores numéricos y Excel es una plataforma que trabaja con este tipo de datos.
- **Hoja de cálculo.** Excel es un programa que posibilita la manipulación de datos, generalmente numéricos, mediante la relación entre sus filas y columnas. Esta plataforma ofrece una amplia gama de funciones matemáticas, estadísticas o lógicas que permiten calcular de forma sencilla los parámetros que se necesiten. En este caso, resulta muy útil para calcular los valores del consumo energético en distintos periodos de tiempo.
- **Visualización de datos.** Por un lado, la herramienta de creación de gráficas en Excel es muy simple y rápida y puede facilitar en gran medida la obtención de curvas de carga. Por otro, las tablas dinámicas permiten analizar un volumen importante de datos de una forma rápida, sencilla e interactiva.
- **Volumen de datos.** La cantidad de información que se registra no tiene ni un gran volumen ni una gran complejidad, por tanto, con el soporte de Excel es suficiente; no se requiere una base de datos robusta con mucha capacidad.
- **Personalización y flexibilidad.** Excel permite crear hojas de cálculo en función de las necesidades del usuario. Además, los datos pueden organizarse y formatearse de una manera simple sin necesidad de tener grandes conocimientos de tratamiento de datos y programación.
- **Nivel de usuario.** Excel es una de las plataformas de cálculo más expandidas hoy en día, siendo utilizada en prácticamente todas las empresas. Por ello, su uso resulta adecuado para aplicaciones industriales. De esta forma, a nivel de oficina no es necesario contar con personal especializado en el tratamiento y funcionamiento de bases de datos, cualquier trabajador puede acceder a este programa de forma sencilla.

En la misma línea que la decisión tomada para la aplicación práctica del laboratorio, para una industria se elegiría la combinación Microsoft SQL y Excel. En una planta industrial,

donde en función del tamaño y nivel de producción el volumen de la información será mayor o menor, utilizar Microsoft SQL como base de datos es una buena opción, ya que, si la cantidad de datos registrada es muy grande, solo con Excel no sería suficiente. Por ello, sin perder de vista el objetivo principal de facilitar la manipulación y el cálculo de datos de consumo energético, la base de datos de Microsoft se combinaría con Excel debido a que la importación de datos entre estos programas es sencilla, a raíz de que son softwares ofrecidos por la misma plataforma. Podrían utilizarse otras bases de datos como MySQL o PostgreSQL, sin embargo, la comunicación entre Excel y estas plataformas no es tan directa.

En conclusión, una de las mejores opciones para registrar y tratar los datos es la plataforma Excel, y, si se cuenta con un gran volumen de información, la combinación MicrosoftSQL-Excel.

## **CAPÍTULO 4: RESULTADOS**

### **4.1-COMPARACIÓN DE LA ALTERNATIVA PROPUESTA CON LA SITUACIÓN ACTUAL**

Como se ha descrito al inicio del presente trabajo, en las auditorías energéticas las medidas se llevan a cabo durante el periodo de tiempo que dure dicha inspección y el auditor es el encargado de tomar los valores mediante el uso de equipos externos a los propiamente instalados en la planta industrial. Estas circunstancias derivan en una serie de inconvenientes a la hora de realizar estudios sobre el consumo de energía y detectar posibles puntos de mejora. En primer lugar, las mediciones suelen durar aproximadamente un mes, teniendo que realizarse una estimación para el resto del año, extrapolando los valores obtenidos. De esta forma, resulta complejo estudiar realmente la situación energética en que se encuentra la planta, ya que en la mayoría de las ocasiones la producción varía en función de la época del año. En segundo lugar, los datos cuentan con una menor fiabilidad y precisión dado que parte de las mediciones son llevadas a cabo por el auditor lo que implica una mayor posibilidad de error debido al factor humano. Además, en muchas ocasiones no es posible medir algunas de las variables deseadas y deben realizarse cálculos teóricos. Por último, cabe destacar la dificultad para contrastar las medidas de mejora implantadas tras la auditoría, debido a que, hasta llegar a realizarse otro estudio, únicamente se cuenta con la factura eléctrica como método para comprobar si ha mejorado el consumo. Sin embargo, revisando esta factura no es posible saber qué medidas han tenido éxito y cuáles, por el contrario, no han sido efectivas.

La alternativa de sistema de adquisición de datos propuesta en el presente proyecto pretende ayudar a solventar parte de la problemática expuesta previamente entorno a las auditorías energéticas, ofreciendo grandes ventajas respecto a la situación actual:

- **Flexibilidad del periodo de estudio.** Al utilizar los equipos de control industrial, las mediciones pueden realizarse durante todo el periodo de trabajo de la máquina que estos controlen, todos los días de funcionamiento. Este hecho posibilita la obtención de datos exactos que permitan evaluar el consumo de la planta tanto mensual y anualmente como por franjas horarias o como se desee.
- **Curvas de carga y consumos disgregados.** Al contar con aparatos para prácticamente cada una de las cargas de la instalación, resultará considerablemente más sencillo obtener la curva de carga de cada uno de los sistemas, sabiendo así la máquina con mayor o menor consumo en cada etapa del proceso productivo.
- **Fiabilidad de los valores.** Los datos son registrados por dispositivos sin necesidad de la intervención humana. De esta forma se reduce considerablemente el margen de error, aportando una mayor fiabilidad y precisión a los valores obtenidos.

- **Mayor cantidad de datos.** Como se ha mencionado previamente, los autómatas pueden registrar constantemente las variables de estudio deseadas, debido a ello, la cantidad de datos recogida será superior al proceso de recolecta actual de una auditoría.
- **Mayor fiabilidad en el análisis.** los estudios sobre la producción y el consumo de energía contarán con una mayor precisión debido a la fiabilidad y cantidad de los datos recogidos mediante este nuevo sistema. En este sentido, si mejora la calidad de los estudios, también habrá una mayor posibilidad de acierto a la hora de implantar medidas para ahorrar en el gasto energético.
- **Detección de anomalías.** Registrando los parámetros en una base de datos es posible crear un historial de cada uno de los procesos, pudiendo detectar de forma más sencilla datos anómalos que indiquen posibles pérdidas de energía o el mal funcionamiento o deterioro de un equipo.
- **Feedback inmediato.** No únicamente es relevante aplicar medidas sino también ser capaz de comprobar su efectividad. Por lo tanto, al contar con una plataforma de adquisición de datos registrando continuamente valores, esta tarea se simplifica ya que el feedback es constante e inmediato. De esta manera, al realizar pequeños ajustes en las medidas podrá saberse fácilmente si contribuyen a la reducción del consumo o no.
- **Fácil acceso a la información.** La información es más accesible, ya no será necesario realizar mediciones con aparatos externos para conocer valores concretos ya que estos se registran de forma continua en la base de datos.
- **No es necesaria una inversión.** Para implantar esta alternativa no es preciso invertir en infraestructura ya que se aprovecha la ya presente en las instalaciones.

En términos generales, un sistema de registro de datos que utilice la infraestructura de automatización ya existente en una planta industrial se presenta como una posible buena alternativa a los procesos convencionales de medición en auditorías energéticas.

## **CAPÍTULO 5: CONCLUSIÓN**

Como se ha nombrado previamente en la introducción, la Unión Europea sufre una crisis energética focalizada en el consumo excesivo de energía y en la imposibilidad de asegurar el suministro con los recursos energéticos actuales. Además, las principales fuentes energéticas son de origen fósil, contribuyendo así al deterioro del medioambiente. Por esta razón, es de vital importancia encontrar diversas estrategias que ayuden a mitigar los desafíos energéticos, como, por ejemplo, la transición a fuentes de energía renovables o la introducción del concepto de eficiencia energética en todos los ámbitos, especialmente el industrial. En este sentido, en el presente proyecto se ha pretendido aportar una alternativa que permita mejorar la optimización de la eficiencia energética de las plantas industriales. Para ello, se estudió el proceso de una auditoría energética con el fin de encontrar posibles áreas de mejora, obteniendo como resultado las carencias que sufre el proceso de medición de parámetros. A raíz de esta consecuencia y teniendo en cuenta la estructura de automatización de una planta industrial, se decidió que la alternativa propuesta consistiría en el desarrollo de un sistema de adquisición de datos que aprovechara la infraestructura ya existente para suplir las fallas del procedimiento de toma de medidas actual de una evaluación energética.

Para diseñar el sistema de adquisición de datos propuesto, un programa informático que registre los valores tomados y una base de datos donde almacenarlos, se han realizado análisis sobre los equipos con mayor presencia en plantas industriales, sobre las variables cuyo estudio resulta imprescindible para conocer el consumo de energía y sobre las alternativas de bases de datos. Los resultados de dichos estudios junto con el material de laboratorio han permitido desarrollar una aplicación práctica mediante la cual mostrar el funcionamiento de la alternativa sugerida. Como consecuencia, se ha diseñado un programa informático mediante el software TiaPortals que permite solicitar los parámetros de consumo energético a los equipos presentes en la placa de laboratorio, detallada en el capítulo tres. Para la base de datos, la opción elegida es la combinación de MicrosoftSQL y Excel, ya que permite un fácil manejo de los datos y simplicidad a la hora de realizar cálculos o crear gráficos.

En definitiva, la alternativa propuesta resulta una buena opción para tratar de contribuir a mejorar el proceso de optimización del gasto de energía, además de las ventajas que introduce respecto a la situación actual. Por ello, el presente proyecto contribuye a alcanzar los ODS número 7 y 12 mencionados previamente, “Energía asequible y no contaminante” y “Producción y consumo responsables” respectivamente.

## **CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA**

[1]: Energy statistics - an overview. (s/f). Europa.Eu.

[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy\\_statistics\\_-\\_an\\_overview](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview)

[2]: Revista Internacional del Mundo Económico y del Derecho Volumen III. (2011). 1–12.

[3]: Gamez, M. J. (2015, septiembre 17). Objetivos y metas de desarrollo sostenible. Desarrollo Sostenible.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

[4]: Buscar. (s/f). Europa.eu.

<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/indexsearch?query=consumo+energ%C3%A9tico>

[5]: Alonso, A. S. (2022, septiembre 30). La UE aprueba una reducción del consumo y un límite a los beneficios de las empresas. Euronews.

<https://es.euronews.com/my-europe/2022/09/30/la-ue-aprueba-una-reduccion-del-consumo-y-un-limite-a-los-beneficios-de-las-empresas>

[6]: La energía renovable. (s/f). Europa.eu.

<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/70/la-energia-renovable>

[7]: La eficiencia energética. (s/f). Europa.eu.

<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/69/la-eficiencia-energetica>

[8]: RD 56/2016. (2020, septiembre 28). Real Decreto 56/2016 de 12 de febrero.

<https://www.rd56-2016.es/>

[9]: Procedimiento de auditorías Procedimiento de auditorías energéticas en el sector industrial energéticas en el sector. (s/f). Madrid.org.

<https://gestion3.madrid.org/bvirtual/BVCM005912.pdf>

[10] Circutor CVM-Mini Manual Usuario, “Circutor,”

<http://circutor.es/es>.

[11] Tesys U, “Tesys”

<https://www.se.com/es/es/>

[12] VijeoDesigner Manual de usuario, Schneider

<https://www.se.com/es/es/>

[13] S71200 Manual de Sistema, “Siemens”

[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/593/109741593/att\\_895707/v1/s71200\\_system\\_manual\\_es-ES\\_es-ES.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/593/109741593/att_895707/v1/s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf)

[14] Manual de Usuario ACS310, “ABB”

[https://library.e.abb.com/public/c5e8c4fce08c4c0694060806fa1fe39a/ES\\_ACS310\\_UM\\_D\\_A5screen.pdf](https://library.e.abb.com/public/c5e8c4fce08c4c0694060806fa1fe39a/ES_ACS310_UM_D_A5screen.pdf)

[15] What is modbus RS485 communication? (s/f). Otomasyonavm.com.

<https://www.otomasyonavm.com/en/what-is-modbus-rs485>

[16] Qué es una base de datos (s/f). Oracle.com.

<https://www.oracle.com/es/database/what-is-database/>

[17]: Portal, T. I. C. (2019, julio 9). Base de datos. TIC Portal.

<https://www.ticportal.es/glosario-tic/base-datos-database>



# **DOCUMENTO 2: PRESUPUESTO**

**ÍNDICE**

**Índice del Presupuesto**

1. Introducción .....	78
2. Costes salariales .....	78
3. Coste material .....	79
4. Coste total .....	79

## 1-INTRODUCCIÓN

En este apartado se pretende plantear una aproximación del presupuesto del diseño y aplicación del sistema de adquisición de datos propuesto. En el cálculo de este coste se considerará únicamente la parte de la aplicación práctica realizada en la placa de laboratorio, ya que dadas las circunstancias del proyecto no se cuenta con datos reales sobre una planta industrial. Asimismo, en un caso real la inversión sería prácticamente nula debido a que se utilizaría la infraestructura ya presente en las instalaciones.

Para evaluar el presupuesto se tendrán en cuenta los costes salariales, las licencias de los softwares y el precio de los materiales utilizados.

## 2- COSTES SALARIALES

En la realización del presente proyecto ha participado un ingeniero industrial recién titulado. Para poder estimar el coste por hora se ha considerado una aproximación para el sueldo de un ingeniero junior. Partiendo de esta información se ha calculado el coste unitario basándose en el calendario laboral de la Comunidad Valenciana.

Trabajador	Salario anual	Coste unitario
Ingeniero Jr.	27 000,00 €	14,80 €/h

Teniendo en cuenta el número de horas invertidas por cada trabajador, el precio unitario y la Seguridad Social (Coste directo), el coste total salarial sería de 6 346,24€, cuyo detalle aparece en el cuadro adjunto:

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio(€)	Coste directo(%)	Coste Total(€)
Estudio	h	130	14,80	34	2 578,16
Diseño	h	80	14,80	34	1 586,56
Laboratorio	h	20	14,80	34	396,64
Redacción	h	90	14,80	34	1 784,88
<b>TOTAL:</b>					<b>6 346,24</b>

### 3-COSTE MATERIAL

En el presente apartado se evalúe el coste de los equipos que intervienen en el proyecto. Para ello se ha considerado la vida útil estimada de cada uno de los elementos.

Elemento	Precio de adquisición	Periodo de amortización	Coste unitario
Ordenador	1 000,00€	6 años	0,02€/h
Portátil	780,00€	5 años	0,02€/h
Pantalla HMI	435,00€	8 años	0,01€/h
IA	31,52€	15 años	0,01€/h
CV mini	343,26€	8 años	0,01€/h
Tesys U	137,94€	3 años	0,01€/h
ACS310	222,29€	5 años	0,01€/h
PLC S1200	128,70€	8 años	0,01€/h

Se ha aproximado a 0,01€/h los valores considerablemente pequeños.

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio (€)	Coste Total (€)
Ordenador	h	20	0,02	0,40
Portátil	h	250	0,02	5,00
Pantalla HMI	h	20	0,01	0,20
IA	h	20	0,01	0,20
CV mini	h	20	0,01	0,20
Tesys U	h	20	0,01	0,20
ACS310	h	20	0,01	0,20
PLC S1200	h	20	0,01	0,20
<b>TOTAL:</b>				<b>6,60</b>

### 4-COSTE TOTAL

El coste total del presente proyecto, englobando los costes salariales y materiales asciende a 6 352,84 € de presupuesto de ejecución material. Añadiendo los gastos generales y el beneficio industrial, que suponen un 15% y 6% del presupuesto de ejecución material respectivamente, se obtienen 7 686,94 € de presupuesto de ejecución por contrata. Por último, aplicando un 21% de IVA se alcanza una cifra de 9 301,19 € de presupuesto de inversión.

Concepto	Coste Total (€)
Costes salariales	6 346,24
Coste material	6,60
<b>Presupuesto de ejecución material</b>	<b>6 352,84</b>
Gastos generales (15%)	952,93
Beneficio industrial (6%)	381,17
<b>Presupuesto de ejecución por contrata</b>	<b>7 686,94</b>
IVA (21%)	1 614,26
<b>Presupuesto de inversión</b>	<b>9 301,19</b>



# **DOCUMENTO 3:**

## **ANEXO I**

